



# EN BÚSQUEDA DE LA OPTIMIZACIÓN

HERRAMIENTAS Y MÉTODOS

ISBN: 978-607-8262-11-3





*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez  
Sello Editorial  
Av. Universidad Tecnológica No. 3051  
Col. Lote Bravo II  
C.P. 3265  
Tels. (656) 649.06.00 a 26  
Ciudad Juárez, Chihuahua  
utcj.edu.mx*

*Director de Obra: Iván Juan Carlos Pérez Olguín*

*Coordinación Editorial: Idalí Meléndez Domínguez*

*Diseño de Portada: José Castro Castruita*

*ISBN: 978-607-8262-11-3*



# EN BÚSQUEDA DE LA OPTIMIZACIÓN

---

HERRAMIENTAS Y MÉTODOS

---

2018

Dr. Iván Juan Carlos Pérez Olguín  
(DIRECTOR DE OBRA)



# Índice

Editorial..... 6

Capítulos	Autores	Página
Instrumento de medición cualitativa para incorporación de plataformas tecnológicas en la educación media superior	María Inés Borunda Aguilar Erwin Adán Martínez Gómez Iván Juan Carlos Pérez Olguín Andrés Hernández Gómez Roberto Romero López	7-18
Renovación de certificación IVA IEPS, mediante la creación del listado de materiales estructurado	Consuelo Catalina Fernández Gaxiola Darío Uriel Fierro Márquez Iván Juan Carlos Pérez Olguín	19-24
Reingeniería y programa permanente de mejoramiento de la productividad en planta de prefabricados de concreto	Mario Ruiz Esparza Trujillo Iván Juan Carlos Pérez Olguín Francisco Durán Hernández	25-30
Control de inventarios mediante la utilización del sistema SAP	Diana Lizeth Yáñez Méndez Julio Cesar Briones Benavente Consuelo Catalina Fernández Gaxiola	31-37
Reducción de residuos e insumos de limpieza en cuarto limpio mediante cambio en método de trabajo	Claudia Rodríguez Arciniega Iván Juan Carlos Pérez Olguín Francisco Durán Hernández	38-43
Máquinas expendedoras inversas: El futuro para el reciclado de plásticos PET en México	Omar Alejandro Almeda Terrazas Efrén Eduardo Robles Hernández Iván Juan Carlos Pérez Olguín Javier Martínez Romero Salvador Noriega Morales	44-57
Estandarización de métodos de medición en las áreas de inspección de recibo, moldeo y troquelado	Iván Juan Carlos Pérez Olguín José Trinidad Emiliano Silos Francisco Durán Hernández José G. Terrones Lucero	58-65
Gestión de cargas detenidas	Erika Francis González Juárez Consuelo Catalina Fernández Gaxiola Iván Juan Carlos Pérez Olguín	66-70
State of art of lower limb exoskeleton for assistance (Estado de arte de exoesqueleto para asistencia de extremidades inferiores)	Jorge Acosta Tejeda Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro Israel Ulises Ponce Monárrez Ángel Israel Soto Marrufo	71-83
Propuesta para el mejoramiento de procesos productivos: Caso de estudio	Lorenzo Antonio Hernández González Iván Juan Carlos Pérez Olguín Francisco Durán Hernández	84-87
Evento de mejora continua en área de resguardo de material no conformante	Clara Saraí Galicia Ortega Iván Juan Carlos Pérez Olguín Francisco Durán Hernández	88-93
Manejo, control y disposición final del fundente: Residuos peligrosos	Héctor Alejandro Esquivel Rosales Iván Juan Carlos Pérez Olguín Francisco Durán Hernández	94-101
Rediseño de estación de trabajo considerando factores ergonómicos mediante un estudio de movimientos	José Jonathan Armendáriz Guzmán Iván Juan Carlos Pérez Olguín Francisco Durán Hernández	102-109

<b>Capítulos</b>	<b>Autores</b>	<b>Página</b>
Recap on bio-sensorial stress detection methods and technology	Florencio Abraham Roldán Castellanos Luis Carlos Méndez González Iván Juan Carlos Pérez Olguín	110-121
Estudiantes y su dependencia a los teléfonos móviles: Caso UTCJ	Perla Ivette Gómez Zepeda Domingo Salcido Ornelas Jorge Armando Cárdenas Morales René Meléndez Sepúlveda	122-125
Sistema de visión industrial para piezas en procesos con dispositivo móvil o single board computer: Revisión de literatura	Arturo Heriberto Alanís Pérez Iván Juan Carlos Pérez Olguín Manuel Iván Rodríguez Borbón Luis Asunción Pérez Domínguez Luis Alberto Rodríguez Picón	126-137
Materiales no orgánicos como materia prima en productos textiles: Revisión de literatura	Daniel Iván Chávez López David Oliver Pérez Olguín Delfino Cornejo Monroy Alejandra Flores Ortega Claudia Selene Castro Estrada	138-148
Diseño de placa aislante estructural en losas tipo vigueta y bovedilla a través desing thinking	Rogelio Puebla Márquez Manuel Iván Rodríguez Borbón Soledad Vianey Torres Arguelles Salvador Noriega Morales	149-162

# Editorial

La presente obra reúne 18 documentos de investigación aplicada y de revisión de literatura los cuales fueron elaborados de forma conjunta por alumnos y docentes de la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y la Universidad Autónoma Intercultural de Sinaloa.

Girando la temática de los documentos en torno a la optimización de los métodos y los procesos productivos, con el objetivo fundamental de mejorar la manera de realizar una actividad o proceso, ya que uno de los grandes retos a los que se enfrentan las organizaciones, en un mercado competitivo, es hacer sus procesos ágiles y eficientes, optimizando los recursos, sin menoscabo de la calidad de los productos y servicios.

Adicionalmente, el presente documento, busca divulgar en la comunidad interesada los proyectos de investigación realizados, algunos de los cuales resuelven problemáticas reales con herramientas y filosofías de ingeniería industrial, los cuales impactan de forma benéfica a las organizaciones donde fueron realizadas las investigaciones. Además de que se presentan investigaciones de revisión de literatura que son la base de estudios de posgrado de estudiantes que actualmente están cursando los niveles de Maestría y de Doctorado.

En espera de que este libro los incentive a reflexionar y disfrutar cada uno de los temas incluidos, y con ello sean ustedes los autores de publicaciones futuras, nos despedimos, ...

Los Autores

# Instrumento de medición cualitativa para incorporación de plataformas tecnológicas en la educación media superior

María Inés Borunda Aguilar

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Erwin Adán Martínez Gómez

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Jesús Andrés Hernández Gómez

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Roberto Romero López

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Resumen:** Se analiza el impacto del uso de las plataformas educativas en el proceso de enseñanza-aprendizaje en el nivel medio superior, desde el punto de vista del desempeño estudiantil y docente. Se remarca la relevancia de la aplicación de las TIC's en los procesos de enseñanza-aprendizaje, así como los cambios en los modelos pedagógicos, que se han visto plasmados en los entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje (EVEA). Los EVEA se apoyan en sistemas informáticos basados en el protocolo triple W, que incluyen herramientas adaptadas a las necesidades específicas de la institución, mismas que responden a las necesidades de su espacio formativo particular plasmado pedagógicamente. Por lo que, en el presente documento, se muestran los resultados obtenidos de la investigación de campo acerca del uso e interacción de las plataformas educativas LMS (Learning Management System), en cuanto la percepción y la formación de los docentes y estudiantes en relación con la competencia digital y el uso de diferentes dimensiones con el desarrollo de las TIC's. Obteniendo un instrumento conformado y validado con las variables referidas en la interacción, uso y manejo de las LMS, obteniendo como resultado la validación por el Alpha de Cronbach y por el Índice Kappa, estudio aplicado a estudiantes de la carrera de Informática con la finalidad de minimizar la brecha digital.

**Palabras clave:** LMS, plataformas educativas, TIC's, educación tecnológica, alpha de Cronbach e índice Kappa.

---

## 1. Introducción

Debido al cambio y evolución constante de la tecnología, así como de los modelos educativos, se hace indispensable tener sistemas de actualización de la labor docente donde se incorporen los avances tecnológicos para incentivar el proceso enseñanza - aprendizaje. De ahí que las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's) se han convertido en la columna vertebral para el manejo eficiente de la educación, favoreciendo el surgimiento de la sociedad de la información [1]. Sin embargo ¿Están realmente preparados, los docentes, en el uso y manejo de las TIC's?

El tema de la capacitación de los profesores requiere cada día mayor atención, como lo menciona [2] quien establece como una de las oportunidades para la educación virtual el continuar con los procesos sistemáticos de formación y entrenamiento en el uso pleno de las TIC's, particularmente por parte de los docentes. El mismo autor menciona que no basta con los programas iniciales de alfabetización informática, se debe llegar a la actualización y mejora continua.

El modelo *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) que surge para identificar los conocimientos

requeridos para integrar las TIC's en la docencia (Shulman, 1986) engloba 3 tipos de conocimientos: conocimiento del contenido, conocimiento tecnológico y conocimiento pedagógico que, entremezclados, desarrollan el modelo enseñanza-aprendizaje desde el uso de las TIC's (Figura 1).

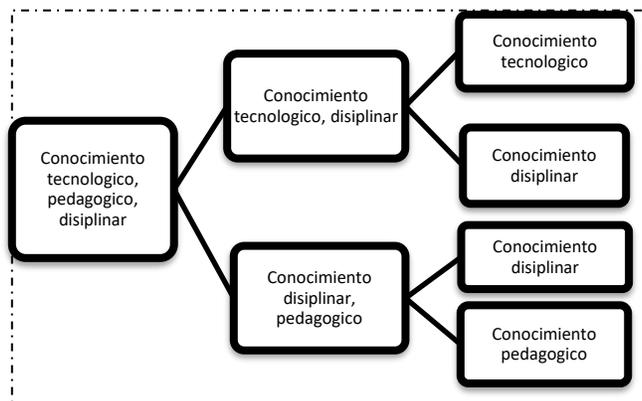


Figura 1. Modelo TPACK.

Utilizar esta herramienta para la creación de conocimiento, disminuye los índices de reprobación, donde el conocimiento adquirido es un medio de superación y progreso [4]. Para concretar estos beneficios es necesario que los estudiantes tengan la posibilidad de acceder a estas tecnologías y que cuenten con los conocimientos para llevar a cabo un uso eficiente de ellas [5].

Anteriormente se consideraba que el desarrollo de las capacidades y habilidades era lo único requerido para utilizar las TIC's, pero hoy en día se considera más importante la finalidad que se le da al uso de ellas por parte de las personas [6]; es decir, saber que están haciendo los alumnos con los recursos obtenidos, donde invierten su tiempo y que uso le dan a la tecnología (personal, educativo, formativo, ocio, ...). De ahí surge la necesidad de desarrollar un pensamiento crítico, reflexivo e innovador en los estudiantes para saber cómo transformar y desarrollar los avances tecnológicos en beneficio de la educación.

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un instrumento de evaluación, validar el instrumento, determinar la concordancia de los expertos y analizar el impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje, con el uso e incorporación de las plataformas educativas. Lo anterior para mejorar el desempeño docente y estudiantil, describiendo los resultados obtenidos en el caso de estudio de los alumnos de nivel medio superior del área de informática, evaluándose el nivel de absorción y el desarrollo de las TIC's.

## 2. Objetivo

Incorporar en el proceso enseñanza-aprendizaje el uso, manejo y desarrollo de las TIC's. mediante:

- Diseño y validación de un instrumento de evaluación por expertos.
- Aplicación del instrumento de evaluación en la institución sujeta a estudio.
- Análisis de los datos recolectados mediante el estadístico alpha de Cronbach.
- Análisis del instrumento de evaluación mediante el índice Kappa.
- Análisis de los datos para obtener conclusiones aplicables a las variables analizadas.

## 3. Marco teórico y conceptual

A través de la revisión del estado del arte, los obstáculos que enfrentan los docentes, para el desarrollo de su función formativa son: problemas con los objetivos académicos, recursos disponibles, tiempo de clase asignado, capacitación y resistencia al cambio.

Pittinsky [7] señala que los procesos de enseñanza-aprendizaje de las instituciones de educación no han experimentado grandes transformaciones en cuanto a la cultura educativa, pues las estructuras tradicionales no han desaparecido; sin embargo, se han producido cambios importantes en la forma en que los estudiantes aprenden en nuestros días, debido principalmente al uso de la tecnología. Aunque América Latina ha sido ya escenario de avances significativos hacia el cambio educativo, aún tiene mucho trabajo por realizar, ya que todavía existen bajos niveles de eficacia, eficiencia y pertinencia, pues la calidad alcanzada por los sistemas educativos no cubre del todo las expectativas esperadas por las nuevas exigencias de la sociedad respecto a la inclusión de las TIC's [8].

Por otro lado, se percibe que el estudiante es un sujeto activo, que tiene a su alcance muchos recursos informáticos y que, a pesar de que el sistema educacional es a veces unidireccional y rígido, ya no se conforma con recibir de una sola fuente de información; al contrario, los estudiantes ahora tienen la posibilidad de comparar e investigar cuando no están convencidos de la información que reciben [9]. Así, los procesos de enseñanza rígidos y secuenciales que no están en armonía con las necesidades reales y la naturaleza actual de vida de los estudiantes [10].

De lo anterior se desprende que es necesaria una fuerte apuesta para preparar a los docentes a fin de que usen de forma efectiva las TIC's en el aula [11]; además, para equilibrar la brecha e integrarse en este nuevo ambiente

digital, se deben desarrollar diferentes capacidades tecnológicas y didácticas [12], lo que implica que los profesores estén preparados para utilizar las tecnologías con suficiente naturalidad, para comprender la contribución de los recursos digitales al aprendizaje y para gestionar la enseñanza de manera innovadora [13].

Lo esencial y fundamental es el aprendizaje y adquisición de conocimientos de los estudiantes. Las numerosas inversiones hasta el momento pueden parecer poco productivas por ese diagnóstico de escasa penetración [14]; sin embargo, un estudio realizado por Pozuelo [15] demostró que la capacitación en competencias digitales del profesorado es un factor clave en el impulso del cambio metodológico en la labor docente, y pone de manifiesto que los docentes más capacitados tecnológicamente utilizan las TIC's con mayor frecuencia, introducen más cambios y promueven la competencia TIC's en los estudiantes [9].

Una de las mayores potencialidades de las TIC's radica en el desarrollo de competencias tecnológicas, digitales e informacionales, pues su uso por los docentes facilita la generación de dichas competencias en los estudiantes [16]. Actualmente, el paradigma educativo está centrado en el estudiante y el aprendizaje, lo que implica cambios en las tareas profesionales del docente; por ello, se debe adaptar su perfil profesional a las nuevas exigencias del contexto, en especial por las derivadas de las TIC's [17].

Cabero, Duarte y Barroso [18], así como diversas directrices de organismos internacionales, como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [19] y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [20], indican que es necesario que un docente desarrolle diversas competencias digitales, las cuales se definen como el uso seguro y crítico de las tecnologías de la sociedad de la información (TSI) para el trabajo, el ocio y la comunicación. Se sustenta en las competencias básicas en materia de TIC's: el uso de ordenadores para obtener, evaluar, almacenar, producir, presentar e intercambiar información, comunicarse y participar en redes de colaboración a través de internet.

El punto focal de este estudio es el rendimiento académico y esto se justifica con González [21], que indica que existen diversos aspectos que influyen en dicho rendimiento, los cuales pueden ser personales y contextuales. Punto de partida para obtener las variables de medición propuestas en el presente estudio. En el enfoque contextual incluyen: variables socioambientales, variables institucionales y variables instruccionales [9]. Siendo el estudio de Duran, de gran ayuda para determinar las variables de medición.

Las TIC's, junto con la formación profesional docente, propician el cambio al mejorar el desempeño de los estudiantes, promover el trabajo colaborativo y aumentar el desempeño laboral [22]. El internet, las computadoras, y los teléfonos móviles son actualmente recursos indispensables en la mayoría de las actividades, principalmente en los procesos de enseñanza-aprendizaje [23], con el uso de estas tecnologías se enriquecen las estrategias docentes y estudiantiles al facilitar la búsqueda de información, y recursos didácticos que ayuden y fomenten la investigación de los alumnos incurriendo en el desarrollo de su conocimiento. Enseñando a nuestros alumnos a aprender-aprendiendo.

Los Learning Management Systems (LMS), están orientados hacia la comunicación e interacción entre los participantes y el seguimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje, son aplicaciones informáticas desarrolladas con fines pedagógicos. Facilitando la comunicación pedagógica entre los docentes y los alumnos. Utilizando el Internet como plataforma de trabajo. Facilitando la distribución de material educativo en formato digital, la planificación, implementación, desarrollo y evaluación de los módulos [24]. Existen tres tendencias sobre los entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje, considerando siempre la flexibilidad didáctica, usabilidad y flexibilidad tecnológica:

- Entornos centrados en la creación, gestión y distribución de contenidos que además incorporan herramientas de comunicación.
- Entornos cerrados en la comunicación y las actividades de enseñanza-aprendizaje que incluyen herramientas para gestionar materiales.
- Entornos de trabajo en grupos para comunidades académicas que agregan funcionalidades utilizables en la enseñanza-aprendizaje.

Cabe resaltar que el modelo de enseñanza-aprendizaje se centra en el alumno, establece que cada estudiante es diferente, con diversos intereses, características, condiciones, personalidad, estrategias para crear o adquirir, ritmos de aprendizaje. Por lo cual se necesita de una actividad conjunta y ayuda pedagógica para la contribución del conocimiento [25].

La Unesco [26], establece 5 atributos clave para llevar a buen término una innovación educativa, basados en la literatura reportada sobre el papel y las necesidades de los profesores:

1. Ventaja relativa, es necesario demostrar al profesor que el aprendizaje enriquecido por medio de las TIC's es más efectivo que los enfoques tradicionales.
2. Grado de compatibilidad, es necesario demostrar que el uso de las TIC's no se opone a los puntos de vista, los valores o los enfoques educativos de actualidad.

3. Complejidad, es necesario demostrar que es viable implementar las TIC's en la enseñanza.
4. Prueba empírica, dar a los educadores la oportunidad de probar las TIC's en entornos no amenazantes, para lo cual, se necesita tiempo y apoyo técnico.
5. Observabilidad, dar a los profesores la oportunidad de observar el uso de las TIC's aplicadas con éxito en la enseñanza.

La Figura 2 presenta gráficamente el proceso de formación de los docentes a través de la vertiente alineada a la innovación educativa, cabe mencionar que cada una de ellas tiene un grado de importancia significativa para el desarrollo y proceso de adaptación en el seguimiento en el camino de la innovación educativa.

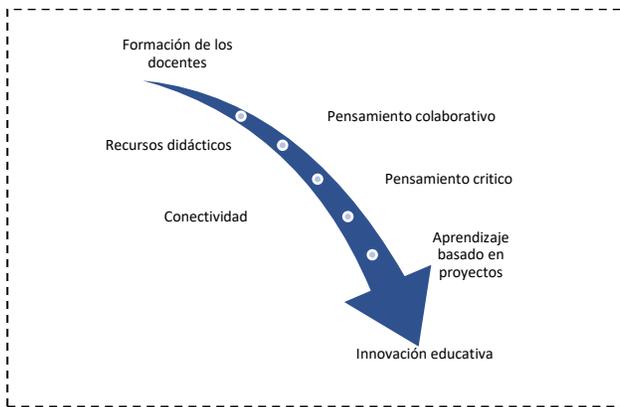


Figura 2. Camino a la innovación educativa.

#### 4. Desarrollo

##### 4.1. Uso de internet en México

Para este estudio es importante identificar el acceso a internet e identificar los rangos de edad de mayor uso del mismo. Basados en datos estadísticos del año 2011. Se tiene que el 37.2% de los habitantes son usuarios de internet y el 41.9% tienen acceso a una computadora. También, se muestra que el 30% de los hogares disponen de una computadora y el 23.3% tienen acceso a Internet, lo cual representa un incremento del 4.9% y del 3.2%, comparado con los indicadores del 2010 [27].

La Figura 3 muestra los usuarios de Internet por rango de edad en México. En la Figura 3 se observa que la población que más accede a Internet, con un 64.6%, es la conformada por los usuarios cuyas edades fluctúan entre los 12 y 34 años, grupo compuesto por estudiantes, profesionistas y trabajadores que utilizan TIC's en sus actividades [5].

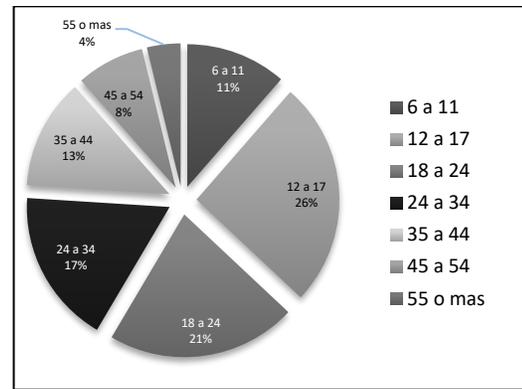


Figura 3. Usuarios de Internet en México.

##### 4.2. Población sujeta a estudio

Con el objetivo de conocer el grado de utilización y absorción de las TIC's, en beneficio de la disminución del índice de deserción por reprobación, en el nivel medio superior, se llevó a cabo un estudio de los alumnos de la carrera de informática en este caso terceros y quintos semestres del turno matutino en el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica en Ciudad Juárez, Chihuahua. Donde se desea mostrar la importancia del uso de las Plataformas LMS. La Figura 4, describe de forma resumida las características las LMS.

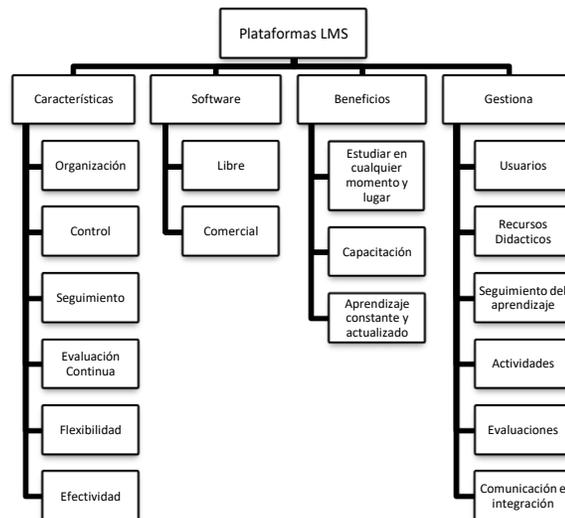


Figura 4. Descripción de plataformas LMS.

##### 4.3. Tipo de estudio

La investigación es cuantitativa - descriptiva correlacional, de acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista [28]. Porque se determinan las relaciones significativas entre un conjunto de variables de mediación y el desempeño académico.

#### **4.4. Método**

Para esta investigación se propone una metodología de encuesta, que se realizará en una plataforma digital, para un acceso directo, sencillo y posteriormente para simplificar la adquisición, ordenamiento y procesamiento de los datos.

#### **4.5. Definición de las variables**

Las variables seleccionadas a estudio son enumeradas a continuación:

1. Variables socioeconómicas:
  - a) Equipo de cómputo disponible.
  - b) Acceso a internet.
2. Variables actitudinales, divididas en los componentes afectivo, cognoscitivo y conativo del docente:
  - a) Asertividad expresiva.
  - b) Proactivo.
  - c) Dominio del tema.
  - d) Accesorias y tutorías.
  - e) Trato profesional.
3. Variables actitudinales, divididas en los componentes afectivo, cognoscitivo y conativo del alumno:
  - a) Asertividad expresiva.
  - b) Proactivo.
  - c) Motivación.
  - d) Adquisición de conocimiento.
  - e) Habilidad de aprendizaje autónomo.
4. Restricciones de infraestructura del plantel:
  - a) Equipo de cómputo disponible.
  - b) Ancho de banda.
  - c) Condiciones ambientales propicias en los laboratorios.
  - d) Soporte Técnico.
5. Plataformas educativas:
  - a) Estructura Simple.
  - b) Navegabilidad.
  - c) Retroalimentación.

#### **4.6. Modelo de respuesta del cuestionario**

El modelo de respuesta elegido como instrumento es la escala de Likert. Como lo menciona Maldonado [29], la escala tipo Likert es un instrumento de medición o recolección de datos cuantitativos, es un tipo de escala aditiva que corresponde a un nivel de medición ordinal; consiste en una serie de ítems o juicios a modo de afirmaciones ante los cuales se solicita la reacción del sujeto. El estímulo que se presenta al sujeto representa la propiedad que el investigador está interesado en medir y las respuestas son solicitadas en términos de grados de acuerdo o desacuerdo que el sujeto tenga con la sentencia en particular. Son cinco el número de opciones de respuesta más usado, donde a cada categoría se le asigna un valor numérico que llevará al sujeto a una puntuación total producto de las puntuaciones de todos los ítems. Dicha

puntuación final indica la posición del sujeto dentro de la escala.

Una recomendación realizada con la finalidad de evitar sesgo es utilizar la escala de Likert en sentido inverso en algunas de las variables del instrumento de evaluación (cuestionario).

#### **4.7. Creación cuestionario**

Para el diseño del cuestionario se utilizó el diseño visual ya que desempeña un importante papel en la solución del cuestionario, comprobándose en otros estudios cómo el empleo de estímulos no verbales puede mejorar los resultados obtenidos por los sujetos [30]. Para ello se consideraron el elemento visual, el elemento funcional y el elemento emocional. Los cuestionarios se caracterizan por:

- Ser relevantes y claros.
- Estar basados en el núcleo de la investigación.
- Ser comprensibles y evitar ambigüedades producidas por expresiones negativas.
- Cada variable debe contener una idea única en correspondencia con una variable.
- Deben ser discriminantes, que sirvan para diferenciar a los sujetos frente a la actitud.
- Se estructuran desde variables genéricas a específicas.
- Se obtiene el cuestionario como resultado del juicio de los expertos, de las pruebas de validez y fiabilidad resultantes de la primera muestra poblacional tomada.

#### **4.8. El número de respuestas**

Como modelo de respuesta del cuestionario se toma la escala de Likert o método de evaluaciones sumarias. Sus respuestas polinómicas contienen un número de 5 niveles en escala de intensidad por cada variable, recibiendo puntuaciones más altas cuanto más favorables son a la actitud. Finalmente se obtiene la media de la suma total de las puntuaciones obtenidas por sujeto, los cuales orientan sus respuestas apoyándose en los siguientes grados de intensidad:

1. Aprobación plena.
2. Aprobación simple.
3. Aprobación condicionada.
4. Desaprobación simple.
5. Desaprobación plena.

Haciendo uso de tres bloques de organización de las respuestas potenciales para la escala seleccionada:

- Bloque 1: (1) Nunca, (2) Muy rara vez, (3) En ocasiones, (4), Frecuentemente y (5) Siempre.
- Bloque 2: (1) Absolutamente en desacuerdo, (2) Muy en desacuerdo, (3) Indiferente, (4) De acuerdo y (5) Totalmente de acuerdo.
- Bloque 3: (1) Muy malo, (2) Malo, (3) Regular, (4) Bueno y (5) Excelente.

#### 4.9. Prueba piloto

La institución Conalep Juárez 1 (Conalep 026), fue seleccionada para la realización de la prueba piloto con los grupos 301, 501 y 502 del área de informática, el test de variables se desarrollará con normalidad y con una temporalización de 15 minutos aproximadamente.

#### 5. Selección de expertos para evaluación y validación del cuestionario

Para la selección de expertos responsables de determinar la validez del cuestionario desarrollados, se determinó considerar docentes y psicólogos. Para el caso de los expertos académicos se consideró para su selección la pertenencia al ámbito de investigación y al ámbito laboral relacionado con la docencia en instituciones de educación superior. Para la elección de los psicólogos se consideró la pertenencia al ámbito laboral relacionado con la docencia, con conocimiento previo en la realización de instrumentos de medición de variables y la pertenencia a la institución educativa sujeta a estudio (Conalep 026). En base a lo anterior, la selección resultante fue:

Docentes e investigadores de nivel universitario:

- Director de tesis.
- Codirector de tesis.
- Director de proyecto.

Psicólogos de nivel medio superior (Conalep 026):

- Administrativo orientación.
- Jefe de planeación y proyecto.
- Docente.

Quienes revisaron cada uno de los cuestionamientos presentes en el cuestionario bajo los siguientes criterios de validez:

- Aporta información exacta y relevante.
- No da lugar a interpretaciones.
- Las preguntas deben ser válidas para el conjunto de directivos académicos y psicólogos.
- Reducción del número de variables.
- Modificación de escala: sustitución del criterio de valoración por el de acuerdo con una afirmación.
- Modificación de la redacción y uso de un lenguaje más adecuado al destinatario.

#### 6. Implementación

Se consideraron para esta prueba a los alumnos del área de informática, considerando quintos y terceros semestres, siendo estos 3 grupos con un total de 86 estudiantes, tomando 32 estudiantes aleatoriamente para seleccionar la

muestra. La implementación y uso de la plataforma educativa es el punto central de las variables a considerar con el instrumento. Para seleccionar la muestra se utilizó un muestreo aleatorio simple con un nivel de confianza del 95% que corresponde a un valor de  $z = 1.96$ . El cuestionario quedó integrado por 36 reactivos. Construidos en base en los pasos mencionados por Arribas [31], los cuales se enlistan a continuación:

1. Definición del constructo o aspecto a medir.
2. Propósito de la escala.
3. Composición de los ítems.
4. Número de ítems.
5. Contenido.
6. Definición y ordenación.
7. Prevención de los sesgos en su cumplimentación.
8. Codificación de las respuestas.
9. Puntuación de los ítems.
10. Proceso de validación.
11. Prueba piloto o pretest cognitivo.
12. Evaluación de las propiedades métricas de la escala.

Para la recolección de los datos se utilizaron métodos virtuales, es decir el llenado fue en línea con tiempo aproximado de 15 minutos. Utilizando la escala de reactivos múltiples (Figura 5).

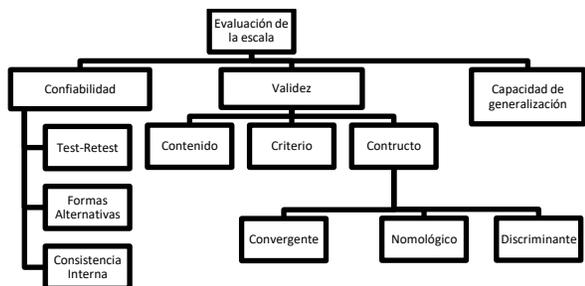


Figura 5. Evaluación de la escala de reactivos múltiples [32].

Para la validación de los datos se determinaron los estadísticos del coeficiente del alpha de Cronbach y el índice de Kappa. Quedando reservados los resultados del análisis factorial para una publicación futura.

#### 6.1. Varianza compartida y varianza única

Sean unas variables de una escala de actitudes, donde la puntuación de cada sujeto encuestado es la suma de las respuestas a todas las variables, según la clave de corrección diseñada:

1º Utiliza alguna plataforma académica durante sus clases.

Muy de acuerdo = 5      De acuerdo = 4

2º Utiliza alguna plataforma de almacenamiento en la Web.

Muy de acuerdo = 1      De acuerdo = 2



Con un resultado de 0.91 en el índice Kappa, el coeficiente kappa muestra concordancia de fuerza muy buena, obteniendo la segunda validación del instrumento.

### 7. Resultados

Los resultados del presente estudio validan el instrumento con el índice Kappa, y el alpha de Crombach, arrojando los siguientes resultados.

En relación con el manejo e interacción de las TIC's en el entorno estudiantil y docente, se encontró que la totalidad de los alumnos de la muestra tienen acceso a equipos de cómputo e Internet en su institución y tiene conocimiento de las plataformas educativas, es este caso de Schoology.

El estudio encontró que existe relación de la competencia digital en cuanto a la formación en TIC's, así como un vínculo directo del uso de las TIC's entre docentes y estudiantes. Los estudiantes consideran importante el uso de las plataformas educativas como material adicional, así como recursos didácticos para complementar sus clases, ya que les ayuda a comprender mejor las actividades explicadas por el docente, y fomentan el autoaprendizaje asistido.

Los alumnos prefieren entregar los trabajos de manera digital, en la plataforma académica, ya que genera un ahorro significativo al no imprimir los documentos y les ayuda a entregar trabajos de mayor calidad, sin necesidad de preocuparse por las dimensiones del mismo, considerándola como una herramienta fundamental para su preparación académica, además de tener la seguridad del respaldo de su calificación, al demostrar al docente que ha entregado los trabajos en tiempo y forma, evitando situaciones de conflicto por posibles errores sistemáticos. Consideran el uso de las plataformas educativas como una ventaja, sobre los módulos que no las llevan en práctica.

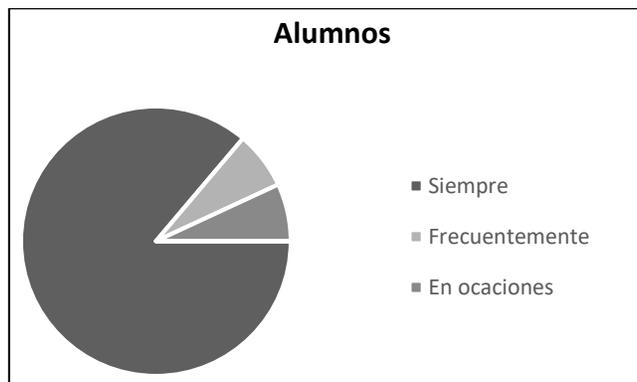


Figura 6. Uso de la plataforma educativa por parte de los alumnos.

El nivel socioeconómico de los alumnos no es una limitante para que puedan acceder fuera de la escuela a la plataforma, ya que la mayoría puede acceder desde su hogar.

En la mayoría de los casos, los temas expuestos por el docente requieren tiempo adicional para comprender mejor los temas, sin embargo, el uso de tutoriales, videos o algún otro recurso didáctico, podría ayudar a que el alumno resuelva sus dudas fomentando la adquisición de conocimiento de manera autónoma. Dicho material se puede adicionar en plataforma educativa.

Sin duda la falta de internet y el equipo de cómputo en mal estado afecta directamente a que los alumnos puedan acceder a la plataforma.

La dificultad para utilizar la plataforma por los alumnos se presenta en la siguiente Figura 7, donde podemos visualizar que en la mayoría está en absolutamente en desacuerdo, que sea complicada para utilizar.

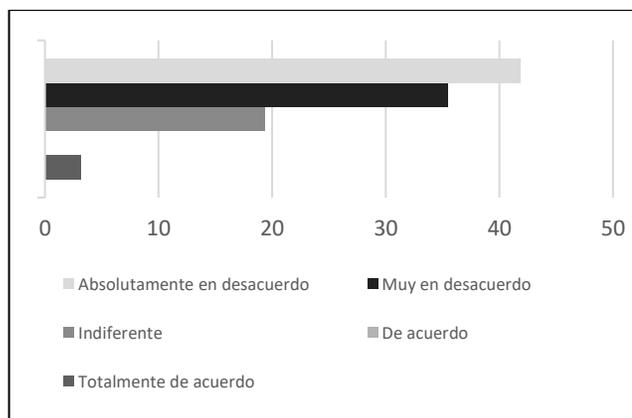


Figura 7. Tendencia si es complicada de utilizar la Plataforma Educativa.

Entre los beneficios observados al utilizar las plataformas académicas, tenemos:

- Trabajos resguardados.
- Acceder desde cualquier lugar.
- Puedo acceder con el celular.
- No requiero tener mi mochila.

Es sumamente importante asimilar la magnitud de alcance que tiene los jóvenes, con las plataformas académicas, ya que desde su celular pueden acceder desde cualquier lugar. Si están esperando en alguna fila, pueden acceder y realizar alguna actividad, incluso un examen. Los docentes pueden manipular los tiempos de entrega, monitorear las entregas e incluso la plataforma le puede arrojar las calificaciones de los exámenes, sin duda es el camino al cambio para disminuir la brecha digital en la educación.

Los alumnos consideran como primera opción, cuando no entienden el tema, preguntar a sus compañeros, antes que, al maestro. Uno de los problemas que presentan para la incorporación de la plataforma, es el tiempo de respuesta para reparar el equipo de cómputo en el plantel y la infraestructura del equipo de refrigeración.

Consideran a los docentes accesibles para contestar sus dudas, con amplio conocimiento de los temas impartidos, sin embargo, no consideran que tengan un trato equitativo para todos. Lo cual da pie a una futura investigación de medición, en cuanto afecta un trato discriminatorio, no equitativo e incluso marginal, para el desempeño académico de los estudiantes. Recordemos que igualdad y equidad o son no es lo mismo. Igual es tratar a todos por igual, equidad es tratar a cada uno según su necesidad.

Como afirma Antonio Medina Rivilla y Eufasio Pérez Navío, prologuistas del libro, los ciudadanos de la sociedad del conocimiento requieren dominar habilidades propias de esta nueva época, pero para hacerlo es menester conocer cuáles son, cómo fortalecer las que se poseen y, sobre todo, cómo desarrollar las que faltan, y el contexto escolar es un lugar adecuado para lograrlo, un paso es la incorporación de las plataformas académicas en el modelo de enseñanza-aprendizaje.

## 8. Discusión

En la medida en que las instituciones educativas involucren al alumno en la generación de su propio conocimiento, mediante estrategias adecuadas aprovechando los recursos basados en los servicios TIC's, será mayor la posibilidad de cerrar la brecha digital, incrementando de esta manera las oportunidades de minimizar la deserción estudiantil por reprobación.

## 9. Conclusiones

Las plataformas educativas, son un elemento fundamental en la sociedad de la información, por consiguiente, aquellos docentes que impulsen el desarrollo de su infraestructura, y la adecuada preparación para utilizarlas eficientemente, tendrán una mayor capacidad de decisión e influirán en la construcción de la sociedad del conocimiento.

El estudiante tiene la predisposición de utilizar la plataforma académica como un recurso didáctico en sus módulos y además la visualizan como una ventaja en los módulos que la llevan actualmente. Esto es de suma importancia para implementar su uso, la aceptación por parte del usuario final.

No es posible depositar todas las esperanzas en el uso de las tecnologías para solucionar los problemas educativos, sin embargo, deben involucrar los trabajos de investigación, formación, contenidos y sobre todo la voluntad de los participantes.

## 10. Referencias

- [1] Tello-Leal, (2014). La brecha digital: índices de desarrollo de las Tecnologías de la Información y las comunicaciones. En México Ciencias de la Información Vol. 45, No. 1, enero - abril, pp. 43 - 50, 2014.
- [2] Facundo, A.H. (2004). Tecnologías de Información y las Comunicaciones y Educación Superior Virtual en Latinoamérica y el Caribe. Evolución, Características y Perspectivas. Bogotá: IESALC; 2004. 74 P.
- [3] Shulman, Lee S. (19986) Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. Educational Researcher, Vol. 15, No. 2 (Feb., 1986), pp. 4-14.
- [4] Guerra, M., Nicolai, C., Jordán, V. y Hilbert, M. (2008). Panorama Digital 2007 de América Latina y el Caribe: Avances y desafíos de las políticas para el desarrollo con las Tecnologías de Información y Comunicaciones. Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Publicación de las Naciones Unidas.
- [5] Tello-Leal, E. y Sosa, C.M. (2008). Impacto social de la brecha digital en alumnos universitarios de programas educativos de TI. Nivel de absorción de las tecnologías información y comunicación en México. Trabajo presentado en Primer Congreso Internacional de Educación Media Superior y Superior (CEMSS2008). México, 30-45.
- [6] Castaño-Muñoz, J. (2010). La desigualdad digital entre los alumnos universitarios de los países desarrollados y su relación con el rendimiento académico. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento, 7(1), 1-11.
- [7] Pittinsky, Matthew (2006). La universidad conectada. Perspectivas del impacto de internet en la educación superior. Málaga: Aljibe.
- [8] De Pablos, Juan (2009). Tecnología educativa. La formación del profesorado en la era del Internet. Málaga: Ediciones Aljibe.
- [9] Durán Beatriz Zempoalteca (2017) Teaching training in ICT and digital competences in Higher Education System Universidad Autónoma de Querétaro; Jorge Francisco Barragán López, Universidad Autónoma de Querétaro; Juan González Martínez, Universidad de Girona, España and Teresa Guzmán Flores, Universidad Autónoma de Querétaro.
- [10] Levy, Pierre (2007) Cibercultura. La cultura de la sociedad digital. Eikasía. Revista de Filosofía, año II, 11 (julio 2007). <http://www.revistadefilosofia.org>.

- [11] Brun, Mario (2011). Las tecnologías de información y comunicación en la formación inicial docente de América Latina. Santiago de Chile: CEPAL.
- [12] Small, Gary y Vorgan, Gigi. (2008). El cerebro digital. Cómo las nuevas tecnologías están cambiando nuestra mente. España: Urano.
- [13] SITEAL. (2014). Informe sobre tendencias sociales y educativas en América Latina 2014. Políticas TIC en los sistemas educativos.
- [14] Rosario, Honmy y Vásquez, Luis. (2012). Formación del docente universitario en el uso de TIC. Caso universidades públicas privadas. (U. de Carabobo y U. Metropolitana). Pixel-Bit, núm. 41, pp. 163-171. Recuperado de <http://acdc.sav.us.es/ojs/index.php/pixelbit/article/view>.
- [15] Pozuelo, Jaione (2014). ¿Y si enseñamos de otra manera? Competencias digitales para el cambio metodológico. Caracciolos, vol. II, núm. 1, pp. 1-21. Recuperado de <http://www3.uah.es/caracciolos/index.php/caracciolos/article/view/17/27>.
- [16] Area, Manuel; Hernández, Víctor; Sosa, Juan. (2016). Models of educational integration of ICT in the classroom. Revista Comunicar, vol. XXIV, núm. 47, pp. 79-87. <https://doi.org/10.3916/C47-2016-08>.
- [17] Pozos, Katia y Mas, Oscar (2012). The digital competence as a cross-cutting axis of higher education teachers' pedagogical competences in the European higher education area. Procedia-Social and Behavioral Sciences. vol. 46, pp. 1112-1116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.257>
- [18] Cabero, Julio; Duarte, Ana; Barroso, Julio (1999). La formación y el perfeccionamiento del profesorado en nuevas tecnologías: retos hacia el futuro. En J. Ferrés y P. Marqués (coords.). Comunicación educativa y nuevas tecnologías. Barcelona: Praxis.
- [19] UNESCO (2011). Marco de competencias TIC para los docentes [Internet]. Segunda Edición. Paris: Ediciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura; 2011. [citado 2 Dic 2013] Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002134/213475E.pdf>.
- [20] OCDE (2012). Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. Recuperado de <http://www.oecd.org>.
- [21] Gonzales Ornelas, Virginia (2001). Estrategias de Enseñanza-aprendizaje.
- [22] Unesco. (2008). Estándares de competencia en TIC para docentes. Recuperado de <http://www.eduteka.org/pdfdir/UNESCOEstandaresDocentes.pdf>.
- [23] Buela-Casal, G., Castro, A. (2009). Las tecnologías de información y comunicación y la evaluación de la calidad en la educación superior. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento, 6(2), 1-6.
- [24] Wong Manuel (2012), Entornos Virtuales de Enseñanza y Aprendizaje – EVEA.
- [25] Onrubia Javier (2005), Aprender y enseñar en entornos virtuales: actividad conjunta, ayuda pedagógica y construcción del conocimiento.
- [26] Unesco. (2008). Estándares de competencia en TIC para docentes. Recuperado de <http://www.eduteka.org/pdfdir/UNESCOEstandaresDocentes.pdf>.
- [27] INEGI (2010). Estadísticas sobre disponibilidad y uso de tecnología de información y comunicaciones en los Hogares, 2010. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI). Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/encuestas](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/encuestas).
- [28] Hernández Sampieri, Roberto Carlos Fernández Collado, Carlos, Baptista Lucio Pilar (2010). Metodología de la investigación. Editorial: McGraw Hill Colección: 5ª Edición / Rústica / Castellano / Libro ISBN13:9786071502919.
- [29] Maldonado Luna, Sandra Margarita (2017). Manual Práctico Para El Diseño De La Escala Likert.
- [30] Goldin-Meadow, S. (2006). Talking and thinking with our hands. Psychological Science, 15 (1), 34-39.
- [31] Arribas, Martin (2004), Diseño y validación de cuestionarios, Instituto de Salud Carlos III. Pabellón 11.
- [32] Hernández, Omar. (2009) Curso básico de Investigación de Mercados.
- [33] Nunnally, J. (1978). Psychometric theory. Nueva York: McGraw-Hill.
- [34] Gliem, Rosemary R. (2003). Calculating, Interpreting, And Reporting Cronbach's Alpha Reliability Coefficient for Likert-Type Scales.
- [35] Gerbing, D. W. y Anderson, J. C. (1988). An updated paradigm for scale development incorporating unidimensionality and its assessment. Journal of Marketing Research, 25, 186-192.
- [36] Novick, M. R. y Lewis, C. (1967). Coefficient alpha and the reliability of composite measurements. Psychometrika, 32, 1-13.
- [37] López de Ullibarri, I. (1999). Pita S: Medidas de concordancia: el coeficiente kappa. Cad aten primaria 1999; 6: 169- 71. Disponible en [www.fisterra.com](http://www.fisterra.com) [consultado el 01/ 10/07].
- [38] Cerda, Jaime (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. Rev. chil. pediatr. v.79 n.1 Santiago feb. 2008.

## ANEXO

Este cuestionario tiene la finalidad de recabar tu opinión sobre el uso que le das a las plataformas académicas. Tu información nos permitirá determinar la efectividad de uso de una plataforma académica en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Por favor contesta sinceramente a los siguientes enunciados. Tus respuestas serán 100 % confidencial.		
1	Utilizas alguna plataforma académica, en alguno de tus módulos	Si No
2	Puedo reforzar lo aprendido en clase, cuando dispongo de material adicional en la plataforma educativa.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
3	¿Las actividades propuestas a través de la plataforma coinciden con la explicación realizada por parte de tu docente?	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
4	Los recursos propuestos a través de la plataforma te han ayudado a mejorar la comprensión de las actividades explicadas por tu docente.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
5	Cuando uso la plataforma educativa, realizo los trabajos de mayor calidad para obtener una mejor calificación.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
6	Elaboro excelentes trabajos sin necesidad de gastar dinero cuando utilizo la plataforma educativa.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
7	¿Considera que la plataforma educativa te ha dado ventajas en el cumplimiento de los objetivos de los módulos, comparado con otros grupos que no han implementado las nuevas tecnologías?	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
8	Seleccione la frecuencia con que utiliza las herramientas de la plataforma educativa desde su hogar.	Siempre Frecuentemente En ocasiones Muy rara vez Nunca
9	Para trabajos y proyectos, prefiero entregarlos directamente en la plataforma educativa.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
10	Para trabajos y proyectos, prefiero entregarlos directamente al profesor impresos.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
11	Con que frecuencia hago uso de la plataforma educativa desde mi hogar.	Siempre Frecuentemente En ocasiones Muy rara vez Nunca
12	Para trabajos y proyectos, prefiero entregarlos directamente al profesor escritos a mano.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
13	Para trabajos y proyectos, prefiero enviarlos al profesor utilizando correo electrónico.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
14	Las herramientas de la plataforma académica te brindan la seguridad de que las calificaciones obtenidas de trabajos, actividades y exámenes no serán modificadas.	Siempre Frecuentemente En ocasiones Muy rara vez Nunca
15	La explicación dada por el profesor en clase es clara y pertinente al tema expuesto.	Siempre Frecuentemente En ocasiones Muy rara vez Nunca

16	Considero que ciertos temas expuestos por el profesor requieren más tiempo para eliminar las dudas.	Siempre Frecuentemente En ocasiones Muy rara vez Nunca
17	¿Considera usted que la explicación dada por el docente, para cada tema es suficiente?	Siempre Frecuentemente En ocasiones Muy rara vez Nunca
18	Considera que la mala conectividad de Internet afecta el uso el uso de la plataforma educativa.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
19	Considera que las fallas en el equipo de cómputo afectan el uso el uso de la plataforma educativa.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
20	Considera que la plataforma Schoology es complicada para utilizar.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
21	Cuando utilizo alguna plataforma educativa, tengo mis trabajos resguardados en la nube.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
22	Puedo acceder desde cualquier lugar a la plataforma educativa.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
23	Cuando no entiendo el tema, le pido al docente que me vuelva a explicar.	Siempre Frecuentemente En ocasiones Muy rara vez Nunca
24	Cuando no entiendo el tema, le pido a un compañero que me explique el tema.	Siempre Frecuentemente En ocasiones Muy rara vez Nunca
25	Cuando no entiendo el tema, yo lo investigo en Internet.	Siempre Frecuentemente En ocasiones Muy rara vez Nunca
26	Cuanto se presenta algún problema con el equipo de cómputo, en el laboratorio, los encargados lo resuelven inmediatamente.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
27	Cuanto se presenta algún problema con el equipo de cómputo, en el laboratorio, los encargados lo resuelven en una semana.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
28	Cuanto se presenta algún problema con el equipo de cómputo, en el laboratorio, los encargados lo resuelven en más de un mes.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
29	Considero en excelentes condiciones el equipo de cómputo e Internet del Plantel.	Muy bueno Bueno Regular Malo Muy malo
30	Considero el sistema de refrigeración del laboratorio de alta calidad.	Muy bueno Bueno Regular Malo Muy malo
31	Con que frecuencia investigas los temas vistos en clase para despejar tus dudas.	Siempre Frecuentemente En ocasiones Muy rara vez Nunca
32	Mis docentes son a accesible para contestar mis dudas.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
33	Mi docente tiene amplio conocimiento del tema.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente

		Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
34	Mis docentes tienen trato equitativo conmigo y con todos mis compañeros.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
35	Mis docentes imparten clases dinámicas.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo
36	Mis docentes se conducen de manera profesional con el grupo.	Totalmente de acuerdo De acuerdo Indiferente Muy en desacuerdo Absolutamente en desacuerdo

# Renovación de certificación IVA IEPS, mediante la creación del listado de materiales estructurado

Consuelo Catalina Fernández Gaxiola

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Darío Uriel Fierro Márquez

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Iván Juan Carlos Pérez Olgún

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Resumen:** En este documento se muestra una problemática del área de aduanas y almacén de la empresa maquiladora Productos Especializados y Manufacturas Juárez S.A de C.V, ubicada en Ciudad Juárez, Chihuahua; la cual cuenta con la certificación aduanera IVA IEPS otorgada por el Servicio de Administración Tributaria, que brinda beneficios arancelarios a la empresa al momento de realizar importaciones, esta certificación esta por vencer a fines de diciembre del presente año y debido a que la organización no cuenta con un listado de materiales estructurado se tiene el riesgo de que esta certificación no sea renovada, y por lo tanto generará gastos arancelarios y de manejos de saldos por parte externa a la organización, calculados en \$5,000 dólares anuales (ya que se contrataría una empresa externa). Para poder acreditar la renovación de esta certificación, es necesario implementar un listado de materiales estructurado en la organización, esto para que los saldos y exportaciones hechas por el departamento de aduanas sean congruentes física y sistemáticamente como lo marca la ley aduanera en su artículo 59.

**Palabras clave:** Certificación IVA IEPS, variabilidad de procesos o productos y listado de materiales estructurado.

---

## 1. Introducción

Productos Especializados y Manufacturas Juárez S.A de C.V. es una empresa maquiladora especializada en la fabricación de casting de aluminio; en ella se da a notar el área de aduanas, la cual está enfocada a la exportación de productos terminados hacia Estados Unidos, en esta área se tienen oportunidades de mejora, ya que se ha detectado que la certificación IVA IEPS (Impuestos Especiales sobre Productos y Servicios) con la que se cuenta actualmente, está por vencer a finales de diciembre del presente año, en caso de que no se llegue a obtener la renovación, se generarían gastos adicionales que se calculan en \$5,000.00 dólares anuales, que se desglosarían de la siguiente manera: \$2,875.00 dólares anuales por cuestión de impuestos sobre materia prima y \$2,125.00 dólares anuales por contratación externa para manejo de saldos.

Asimismo, al momento de hacer las declaraciones de devolución de materia prima, estas no son congruentes con la exportación de productos terminados, lo cual puede llevar a la obtención de multas por parte del Servicio de Administración Tributaria, por incumplimiento de requisitos que marca la Ley aduanera, estas multas se estiman entre los \$1,200.00 y \$2,500.00 dólares, según el nivel de ocurrencia y el tipo de incumplimiento.

Para obtener la renovación de esta certificación se planea generar un Listado de Materiales Estructurado para cotejar los saldos que genera el departamento de aduanas, conforme a lo establecido en el artículo 59 de la ley aduanera, así como eliminar el potencial riesgo de crear atrasos en entregas de cliente, para poder llevar a cabo esta mejora, se harán estudios de control sobre variabilidad en los productos, ya que esto puede afectar la cantidad de materia prima en los productos y generar una lista de materiales errónea.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Ley aduanera

Este proyecto se inicia, como consecuencia del proceso para obtener la renovación de la certificación brindada por el SAT y el manejo adecuado de los inventarios a nivel interno; la Ley Aduanera tiene como objetivo, la regulación de la entrada y salida de mercancías al país, así como de los medios de transporte que se utilizan para el manejo de la misma. Esta ley marca que están obligados al cumplimiento de lo citado, todos aquellos que introducen o extraen mercancías del territorio nacional, ya sean estos sus propietarios, poseedores, destinatarios, remitentes, apoderados o agentes aduanales.

El artículo 59 de la ley aduanera establece los siguientes requisitos, para todos aquellos que se dediquen a la importación o exportación de material dentro del territorio nacional (Ley Aduanera, 2013):

- I. Llevar los sistemas de control de inventario en forma automatizada, que mantengan en todo momento el registro actualizado de los datos de control de las mercancías de comercio exterior, mismos que deberán estar a disposición de la autoridad aduanera. Quienes introduzcan mercancías bajo régimen de importación temporal para elaboración, transformación o reparación en programas de maquila o de exportación; el régimen de depósito fiscal; o el de elaboración, transformación o reparación en recinto fiscalizado, deberán llevar el sistema de control de inventarios a que se refiere el párrafo anterior, en forma automatizada.
- II. Obtener la información, documentación y otros medios de prueba necesario para comprobar el país de origen y de procedencia de las mercancías, para efectos de preferencias arancelarias, marcado de país de origen, aplicación de cuotas compensatorias, cupos y otras medidas que al efecto se establezcan conforme a la ley de comercio exterior y tratados internacionales de los que México forme parte y proporcionarlos a las autoridades aduaneras cuando estas lo requieran.
- III. Entregas al agente aduanal que promueva el despacho de las mercancías, una manifestación por escrito y bajo protesta de decir verdad con los elementos que en los términos de esta ley permitan determinar el valor en aduana de las mercancías.
- IV. Estar inscritos en el padrón de importadores y, en su caso; en el padrón de importadores de sectores específicos o en el padrón de exportadores sectoriales que están a cargo del Servicio de Administración Tributaria, para lo cual deberán encontrarse al corriente en el cumplimiento de sus obligaciones fiscales, así como acreditar ante las autoridades aduaneras que se

encuentran inscritos en el Registro Federal de Contribuyentes y cumplir con los demás requisitos que establezca el reglamento y los que establezca el Servicio de Administración Tributaria.

Lo dispuesto en este artículo no será aplicable a las importaciones efectuadas por pasajero, por empresas de mensajería y paquetería y por vía postal, cuando se efectúe el despacho de las mismas conforme al procedimiento que se estable en el artículo 88 de esta ley.

De acuerdo con la Ley Aduanera (2013) todos aquellos que se dediquen a la reparación o transformación de materiales dentro del territorio nacional, están obligados a manejar un sistema de control de inventarios de manera automática, que permita a las autoridades aduaneras tener la disponibilidad cuando estas la necesiten.

La forma de llevar un control de inventarios automatizado es a través del manejo de un ERP (Planificación de Recursos Empresariales, por sus siglas en ingles), combinado con un listado de materiales estructurados, la interacción de estas dos variables resulta en un sistema adecuado para el control de inventarios automatizado que marca la ley aduanera en su artículo 59 fracción I.

### 2.2. Listado de materiales estructurado

El listado de materiales estructurado es una herramienta útil para el diseño de un producto, ya que en él se encuentran definidos las cantidades, las descripciones, el número de parte de los componentes necesarios para la elaboración de un producto.

Heizer y Render (2009), mencionan las características principales que debe de contener un listado de materiales estructurado.

1. Enumeración de componentes.
2. Descripción de componentes.
3. Cantidad de componentes.
4. Categoría del material.

Tabla 1. Ejemplo de listado de materiales estructurado.

Número de Parte	Descripción	Cantidad	Tipo de Material
A60-71	Soldadura para panel	1	Comprado
R60-17	Ensamble inferior de rodillo	1	Subensamble
A60-72	Tuerca de seguridad	1	Comprado
R60-99	Ensamble de guía	1	Subensamble

El listado de materiales o BOM, tiene una gran relación con los sistemas ERP y con los inventarios de las empresas, ya que con esta lista se alimenta el ERP, para poder llevar un descuento de materiales correcto en forma y tiempo.

Hernández Muñoz, Roca, Andreu y Sierra (2000) mencionan que en la implementación de SAP R/3, las listas de materiales en la planificación se pueden utilizar de diferentes formas en diversas situaciones. Dependiendo del ramo, también pueden llamarse recetas, listas de ingredientes, ... Estas listas de materiales en SAP contienen datos básicos e importantes para numerosas áreas de la empresa como, por ejemplo:

1. Planificación de necesidades de material.
2. Suministro de material para la fabricación.
3. Cálculo del coste de producción.
4. Gestión de inventarios.
5. Finanzas.
6. Ventas.

### **2.3. Variabilidad de procesos o producto**

Para poder tener un listado de materiales estructurado confiable, es necesario contar con sistemas de producción lo bastante robustos para que tengan la menor fluctuación o variabilidad posible y que los materiales que se procesen dentro de ellos mantengan las mismas condiciones y no varíen entre ellos.

Heizer y Rendel (2009), mencionan lo siguiente sobre la variabilidad, la variabilidad es cualquier desviación de un proceso óptimo que entrega puntualmente un producto perfecto, todas las veces. Variabilidad es una palabra elegante para nombrar los problemas. Entre menor variabilidad haya en un sistema menor será el desperdicio.

Vilar Barrio (2005), hace mención sobre la variabilidad de procesos, un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen imposible fabricar dos productos exactamente iguales. Dicho de otra manera, las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una variabilidad. Esta variabilidad es claramente indeseable y el objetivo ha de ser reducirla lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites. El control estadístico de procesos es una herramienta útil para alcanzar este segundo objetivo. Dado que la aplicación es en el momento de la fabricación, puede decirse que esta herramienta contribuye a la mejora de la calidad de la fabricación y permite aumentar el conocimiento del proceso, además de reducir la variabilidad o tenerla dentro de unos límites.

Después de analizar la información antes presentada sobre la variabilidad de los procesos, podemos definir que la variabilidad son aquellas causas ajenas al proceso productivo que generan una irregularidad en los productos, la cual puede ser controlada y medida por medio del control estadístico del proceso como lo menciona Vilar Barrio (2005).

### **3. Definición del problema o identificación del problema**

El equipo de aduanas de la empresa Productos Especializados y Manufacturas Juárez S.A de C.V. ha detectado que la certificación IVA IEPS está por vencer, en los próximos meses y es necesario obtener la renovación de la misma, para seguir conservando los beneficios que brinda en cuestiones arancelarias; ya que, si no se logra la renovación de la acreditación, la empresaria estaría erogando gastos incensarios que se calculan en los \$5,000.00 dólares anuales, que están constituidos de la siguiente manera:

1. \$2,875.00 dólares anuales por cuestión de impuestos de importación de materia prima.
2. \$2,125.00 dólares anuales por contratación de una empresa externa para la gestión y manejo de saldos.

Esto sin tomar en cuenta las multas que se podrían llegar a generar por incumplimiento de la ley, hay que tomar en cuenta que para obtener la acreditación se necesita de varias cosas de aplicación para lograrla.

Las condiciones que necesita aplicar la organización están muy relacionadas entre sí, estas condiciones son la implementación de un sistema de planificación de recursos empresariales y un listado estructurado de materiales, pero la problemática de la organización aunado a la no obtención de la certificación radica en que la organización no cuenta con el listado de materiales que coteje los saldos trabajando de manera conjunta con el ERP.

Debido a que la organización no cuenta con un listado de materiales, los saldos de materiales no son congruentes físicamente contra lo declarado ante el Servicio de Administración Tributaria, lo cual como se menciona anteriormente podrá generar erogaciones innecesarias a la organización, por lo que es necesario elaborar un plan de acción para hacer un listado de materiales estructurado.

### **4. Plan de acción**

El listado de materiales estructurado es un proyecto para implementación a nivel planta, esto quiere decir que cada uno de los productos terminados tenga un listado de materiales confiable, los responsables para la creación de este listado es el equipo de ingeniería de la organización con el soporte del equipo de aduanas; ya que ellos son los afectados principalmente por el problema presentado y será donde se verán reflejados los resultados del proyecto.

Para poder llevar a cabo esto, fue necesario hacer una planificación de tareas y seguimiento de las mismas, las tareas se llevaron a cabo de la siguiente manera:

1. Solicitar apoyo al departamento de producción para identificación de los productos terminados con alta demanda.
2. Una vez identificados los productos con alta demanda, se hace un estudio de variabilidad.
3. Cuando sea obtenido el estudio de variabilidad, se procede a analizar los datos, para ver si el producto cuenta con fluctuación o no.
4. Después de haber definido si se cuenta con variabilidad y fluctuación, se hace un diagrama del proceso de transformación por el cual pasa el producto.
5. Al haber definido el mapeo de procesos, se definen los componentes como materia prima o subensamblé.
6. En caso de ser materia prima, se saca una muestra significativa para asignar un uso específico. Por el contrario, si es un subensamblé se vuelve a realizar un mapeo (se repite el proceso desde el paso 4), hasta que no se muestre un subensamblé.
7. Una vez obtenido los usos del material, se procede a hacer la estructura jerárquica del listado de materiales.

Para poder llevar un buen control de las tareas se elaboró un plan de ruta crítica, para monitorear los avances.

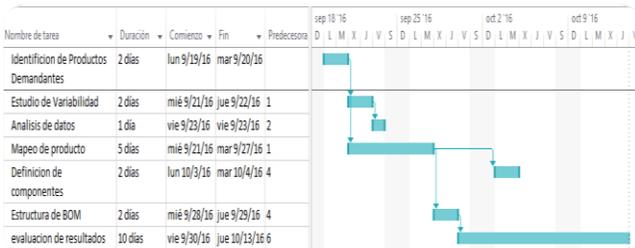


Figura 1. Cronograma de actividades del proyecto.

**Paso # 1:** Se pidió el apoyo del departamento de producción para encontrar el producto con alta demanda; ya que, al ser un alto corredor, tiende a tener el mayor consumo de materiales que los demás. Una vez entregada la información, se determinó que el modelo con más alta demanda es el 58005951001, con un promedio de 2,000 piezas semanales.



Figura 2. Modelo de mayor demanda (58005951001).

**Paso # 2:** Estudio de variabilidad, una vez que se encontró el modelo con el que se va a trabajar, se procede a la recopilación de los datos del peso, esto con el fin de elaborar un estudio de variabilidad, para demostrar que el peso entre las piezas que se producen tiene un comportamiento normal, que la variación entre ellas es menor y no afecta para la estructura del BOM.

Tabla 2. Datos colectados en estudio de variabilidad.

Muestra	Peso de muestra (lbs)	Peso nominal (lbs)	Diferencia
1	0.640	0.642	0.002
2	0.640	0.642	0.002
3	0.660	0.642	-0.018
4	0.640	0.642	0.002
5	0.640	0.642	0.002
6	0.640	0.642	0.002
7	0.660	0.642	-0.018
8	0.620	0.642	0.022
9	0.660	0.642	-0.018
10	0.640	0.642	0.002
11	0.660	0.642	-0.018
12	0.620	0.642	0.022
13	0.640	0.642	0.002
14	0.620	0.642	0.022
15	0.640	0.642	0.002
16	0.640	0.642	0.002
17	0.660	0.642	-0.018
18	0.640	0.642	0.002
19	0.620	0.642	0.022
20	0.660	0.642	-0.018

La Tabla 2 presenta la recolección de los datos, del peso de 20 diferentes muestras tomadas de diferentes lotes, así como la diferencia entre el peso de la muestra y el valor de peso nominal.

**Paso #3:** Verificación de datos. En la Figura 3 se muestra la gráfica de control I-MR, donde se observa que las muestras se encuentran dentro de límites de control definidos por esta herramienta.

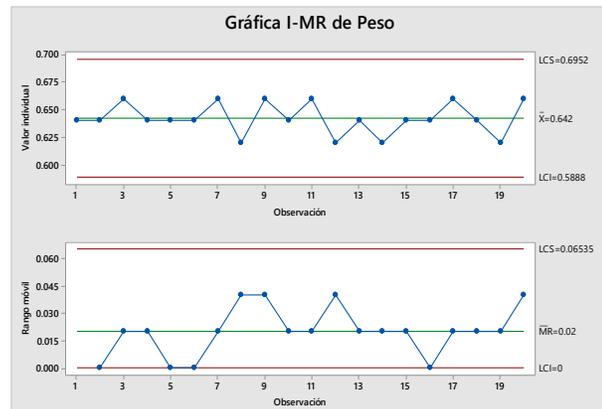


Figura 3. Gráfico de control I-MR.

Mediante este gráfico de control es posible concluir que la variable considerada importante para el proceso (peso) está dentro de control estadístico, por lo cual podemos llevar a cabo la definición del listado de materiales (BOM).

**Paso # 4:** Diagrama de proceso. En esta etapa del proyecto, es donde se definen las etapas de proceso, por las cuales pasa el producto y se va transformando hasta llegar a la etapa final, como se muestra en la Figura 4.

Para el producto en específico (58005951001), las etapas de transformación al cual es sometido son:

1. Formación de corazones.
2. Área de moldeo.
3. Área de fundición.
4. Área de pulido.

Estas son las cuatro etapas, principales por las que pasan los productos para su conformación final, pueden ser presentadas asimismo por el siguiente diagrama (Figura 4).

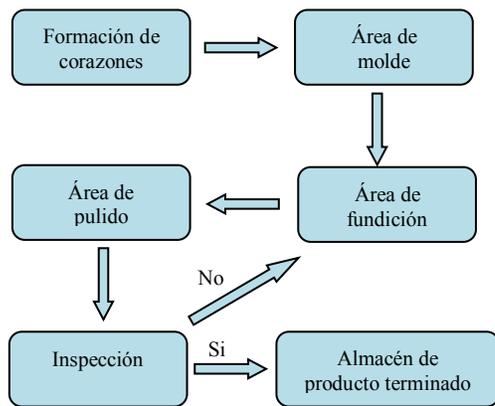


Figura 4. Etapas de transformación para producto de mayor demanda.

**Paso # 5:** Definición de categoría de materiales. A esta altura del proceso se analizan los materiales que conforman al producto y proceso, esto con la finalidad de asignarle una clasificación.

La clasificación de materiales utilizadas es la siguiente:

1. Manufactura interna, se considera a todo material que lleva un proceso dentro de la misma empresa, en el caso de que se presente este tipo de material se repite el Paso 4, hasta no contar con materiales de esta clasificación.
2. Material comprado, se considera a todo el material que se compra y por tanto no lleva un proceso interno; es decir, está listo para ser utilizado en el proceso.

**Paso # 6:** Definición de materiales. En esta etapa del proceso, es donde se definen los usos de los materiales por producto, una vez que se hizo la comprobación de variabilidad entre productos para descartar esta posibilidad de error.

Para poder asignar adecuadamente un uso correcto, al igual que en el Paso 2, se junta una muestra significativa y se hace un estudio de medias, para así poder asignar un uso dentro de un comportamiento normal y sea el uso adecuado para la organización.

**Paso # 7:** Estructura jerárquica. En esta etapa del estudio para crear el listado de materiales (BOM), es donde se definen los niveles desde el producto final, hasta la última materia prima que se utiliza, en esta estructura se hace una relación jerárquica entre los materiales, para saber la procedencia de cada uno de ellos.

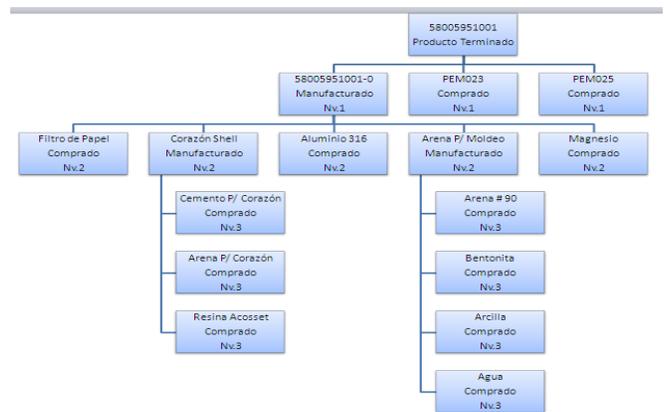


Figura 5. Estructura jerárquica del producto 58005951001.

## 5. Evaluación de mejoras

Dando paso para evaluar la mejora implementada, se pudo evaluar que las descargas elaboradas por el departamento de almacén y aduanas no eran congruentes en ellas. Una vez que se identificó esta inconsistencia, se llevó a cabo una simulación de descarga, con la información generada con la obtención del listado de materiales del número de parte 58005951001, con el fin de hacer congruentes las descargas.

En la Figura 6, se muestra la descarga simulada por parte del departamento de aduanas, con los datos proporcionados obtenidos de la creación del listado de materiales del número de parte 58005951001.

<u>NUMERO DE PARTE</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>NIVEL</u>	<u>CANTIDAD</u>
58005951001	COVER FOR FS UNILET	0	100 PZS
PEM0585	FILTROS DE MICA	2	25 PZS
MESH100	BENTONITA	3	112.5 LBS
PEM085	CEMENTO PARA CORAZONES	3	42.73 LBS
PEM023	CAJAS DE CARTON PARA EMPACAR	1	25 PZS
ALU316	LINGOTE DE ALUMINIO	2	64.2 LBS
AM3600	ARENA DE MOLDEO	2	112.5 LBS
PEM095	ARENA CON RESINA (ARCILLA)	3	37.5 LBS
PEM087	ARENA PARA CORAZONES	3	204.75 PZS
MG001	MAGNESIO	2	0.365 LBS
615-15	RESINAS	3	62.59 LBS

Figura 6. Simulación de descarga.

## 6. Resultados

Como se comentó anteriormente, la certificación IVA IEPS, con la que cuenta la empresa, está por vencer a finales de diciembre del presente año. Dicho de otra manera, el resultado que se espera es la acreditación o la aprobación por parte del Servicio de Administración Tributaria, órgano encargado de regular las exportaciones e importaciones de las empresas y que otorgar dicha certificación.

La auditoría de certificación se llevará a cabo el día 19 de diciembre del presente año, la cual tiene una duración aproximada de 2 a 3 días y se obtendrá la resolución por parte del Servicio de Administración Tributaria, los primeros días del mes de enero del año próximo.

Por supuesto en este documento se muestra detalle del proceso de 7 pasos solamente en el producto de mayor volumen; sin embargo, este proceso fue desarrollado en todos y cada uno de los números de parte manufacturados en Productos Especializados y Manufacturas Juárez S.A de C.V.

## 7. Conclusiones

En base a este documento presentado y al proyecto del listado de materiales que se generó, es posible concluir que el uso del listado de materiales por sí solo no es de gran relevancia para las organizaciones, sin embargo con la interacción que tiene con otros departamentos se vuelve una herramienta importantes para las organizaciones, ya que con él se puede manejar los niveles de inventarios, esta fue la utilidad que se aplicó en este caso, así como también da soporte en las áreas de planeación y compras, para gestionar los materiales necesarios para la elaboración de productos.

No obstante, no se debe olvidar que, para poder obtener un listado de materiales confiable, es necesario tener los procesos dentro de un control estadístico, esto con el fin de

que las variaciones, en particular las variaciones asignables, no afecten en la estructura del material de los productos que elabora la organización.

## 8. Referencias

- [1] Ley Aduanera (2013). "Diario Oficial de la Federación". México, D.F., 09 de diciembre de 2013.
- [2] Jay Heizer, Jay y Render, Barry (2009). "Principio de Administración de Operaciones". México. Editorial Pearson. ISBN-13 # 9786074420999.
- [3] Hernández Muñoz, José Antonio; Roca, Enric; Andreu, Salvador y Sierra, José Ramón (2000). "Implementación de SAP R/3". México. Editorial McGraw Hill. ISBN-13 # 9788448125646.
- [4] Vilar Barrio, José Francisco (2005). "Control Estadístico de los Procesos". Madrid, España. FC Editorial. ISBN-13 # 9788496169593.

# Reingeniería y programa permanente de mejoramiento de la productividad en planta de prefabricados de concreto

Mario Ruiz Esparza Trujillo

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Francisco Durán Hernández

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Resumen:** El actual documento presenta la forma adoptada en la planta Arquicrete Sistema Constructivo, perteneciente al Grupo Cementos de Chihuahua, ante la decisión de los directivos de reducir el personal operativo en un 50%, lo cual sin duda afectó en manera significativa la producción requerida, en esta planta se elaboran paneles prefabricados de concreto de diferentes espesores y ante este desreclutamiento de personal, se identificó el problema de sobre especialización del personal lo que causó problemas de adaptación al nuevo momento laboral, este problema de adaptación pudo ser modificado por medio de técnicas de mejoramiento continuo siendo estas la reingeniería y un programa permanente de mejoramiento de la productividad.

**Palabras clave:** Reingeniería y programa permanente de mejoramiento de la productividad.

---

## 1. Introducción

En la actualidad las empresas en general buscan mayor producción con menos recursos, esta ha sido una premisa que las teorías de mejora continua han apoyado y están operando en función de ello. La empresa Grupo Cementos de Chihuahua no es una excepción, y en busca de un mayor beneficio económico realizó el ajuste de personal operativo en el área de Arquicrete Sistema Constructivo, en un 50 por ciento, pasando de 4 a 2 operadores disponibles para las labores cotidianas, sería indispensable reconocer que el cambio ha permitido a los trabajadores vigentes desarrollar habilidades diversas, convirtiéndose en personal más capacitado y con talentos diversos que tal vez no habían explorado.

Debido al desreclutamiento implicado, entendido acorde a Robbins y Coulter (2000) como la técnica para reducir la mano de obra dentro de una organización, se han tomado medidas para adaptar los procesos de producción a las nuevas condiciones de trabajo. Estas principalmente se han derivado de la reingeniería y el programa permanente de mejoramiento de la productividad, herramientas que han

planteado las bases para la adecuación necesaria en este caso particular. Una vez aplicadas las adecuaciones necesarias se ha podido realizar la producción solicitada por los clientes de manera eficiente y eficaz, sobre todo considerando las condiciones, ya que no solo se logra la meta de cumplimiento de la producción, sino que además se lleva a cabo con el mínimo de recursos. El propósito principal de la reingeniería y el programa permanente de mejoramiento de la productividad ha sido, el poder redefinir las actividades del personal que se encuentra activo, maximizando su potencial laboral. Esto implica una ventaja competitiva para la empresa Grupo Cementos de Chihuahua; ya que, si sus costos de mano de obra se reducen, esto traerá como consecuencia un precio de producto más competitivo (bajo costo), lo cual la coloca como una empresa con grandes posibilidades de mercado.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Reingeniería

Esta filosofía fue popularizada en la década de los 90s, del siglo XX, de la mano de los consultores Michael Hammer y

James Champy, definiéndola como el tratar de conseguir una optimización de los recursos de la organización poniéndolos en coherencia con los objetivos a corto, mediano y largo plazo que emanan del plan estratégico de la empresa, normalmente encaminados a satisfacer las necesidades y exigencias de los clientes, de la forma más eficaz y rentable. La reingeniería trata de que el personal se olvide del funcionamiento de su organización por que todo está errado y, por tanto, vuelva a empezar con una organización nueva que arranca de cero (CETED/1997).

La reingeniería cuenta con cinco fases:

1. **Análisis:** aquí se procede a la identificación de las áreas a analizar, lo que permitirá descubrir las oportunidades de mejora del conjunto de la empresa.
2. **Definición:** es donde debe entenderse perfectamente el plan estratégico de la empresa y los objetivos de corto y largo plazo que defina el mismo, también se crean los equipos de trabajo que gobernarán y realizarán el proyecto, definiendo sus objetivos y los componentes de los mismos.
3. **Desarrollo:** prepara a la organización para el cambio, entrenando a las personas para el mismo, se realizan pruebas de funcionamiento y se preparan los nuevos procedimientos operativos.
4. **Implantación:** se caracteriza por la firma de los procedimientos finales por parte de todos los implicados, luego los miembros de los equipos deberán expandir el proyecto a lo largo y ancho de la organización.
5. **Proceso de mejora continua:** se basará en la instalación de un proceso vivo e inteligente de mejora que se conseguirá a través de la creación de equipos de mantenimiento de los procesos y sistemas.

Es importante que en la implementación de la reingeniería se considere que *empezar una organización de cero* debe darse por saltos que permitan atemperar a la organización de una manera apropiada, sin que la opción pueda convertirse en un problema más que en una solución (CETED/1997).

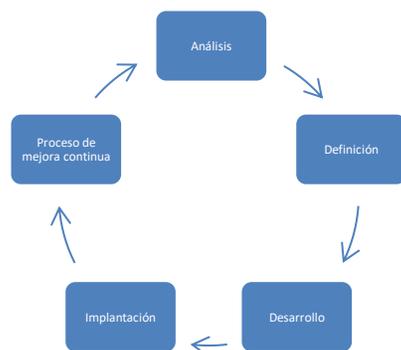


Figura 1. Cinco fases de la reingeniería.

## 2.2. Programa permanente de mejoramiento de la productividad

Su objetivo se fundamenta en implementar procesos de cambio con la filosofía de la mejora continua en empresas, consiste en un programa de actividades basado en una metodología estructurada, que proporciona la guía para implementar mejoramientos objetivos útiles y válidos para la empresa. Este programa se caracteriza por ser (CETED/1997):

- **Involucrativo:** es fundamental la participación activa de todos los trabajadores, la dirección. Las unidades operacionales y las acciones de involucramiento deben ser permanentes en cada etapa de aplicación.
- **Retributivo:** los trabajadores y dirigentes deberán recibir retribuciones y beneficios por su participación activa, retribuciones que satisfagan necesidades; esta retroalimentación permitirá hacer más efectiva su participación y el involucramiento.
- **Permanente:** debe entenderse dentro de la filosofía de la mejora continua y no para un problema particular, debe ser cíclico, y en cada ciclo ir adaptándose a nuevos estados más exigentes en la evaluación de la productividad, debe generar una capacidad de cambio permanente.
- **Preventivo:** tender a prevenir problemas, no solo será un conjunto de acciones correctivas una vez detectado el problema, en la medida de que el mismo tienda a la prevención, su aplicación reportará más beneficios.
- **Adaptivo:** debe estar en función de las características concretas de la organización y su ambiente, en base a esto a adaptar las etapas y estrategias a seguir en su aplicación.

Y tiene las siguientes etapas:

1. **Involucramiento:** su objetivo es lograr desde el inicio y durante todo el proceso, el compromiso y la participación activa de todos los trabajadores implicados desde la alta dirección hasta el nivel operativo.
2. **Diagnóstico:** lleva implícito la medición de los resultados a través de indicadores de productividad por una parte y de los factores inhibidores por otra. Con el fin de ver la influencia de estos factores en la productividad.
3. **Estrategia de solución:** diseño de forma colectiva la estrategia global de solución a los problemas diagnosticados.
4. **Instrumentación:** aplicación de la estrategia de solución.
5. **Evaluación y ajuste:** se basa en medir los avances de la instrumentación medir los indicadores de productividad y valorar si se alcanzan los estados deseados con el fin del aseguramiento real y sostenido

de la productividad. En esta etapa se abre un nuevo ciclo del programa permanente de mejoramiento de la productividad con nuevas metas.

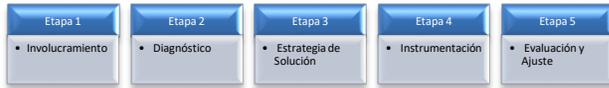


Figura 2. Etapas del programa permanente de mejoramiento de la productividad.

Debido a que esta estrategia considera la productividad, es importante definirla de manera concreta para poder dar base a las condiciones necesarias para su implementación. La productividad es la cualidad emergente de los procesos de producción que hacen que mejoren permanentemente y en todos los sentidos, es decir, en forma integral (Espejel Pacheco, 1993). Para que esta se presente es necesario que los responsables de implementarla estén dispuestos a:

- Querer mejorar.
- Poder mejorar (incluye el saber cómo y el tener con qué).
- Actuar en consecuencia.

Querer mejorar está directamente relacionado con la actitud de los trabajadores que intervienen en el diseño, esto resulta de factores como la motivación y la personalidad de cada individuo; poder mejorar depende de saber cómo mejorar y el tener los medios necesarios y suficientes para mejorar, el saber engloba conocimiento, experiencia y habilidades del trabajador, no solo para ejecutar bien sus tareas, sino también para estar en posibilidad de mejorarlas; el tener se refiere a contar con los medios necesarios. Por último, el actuar en consecuencia se refiere al papel de la dirección de la empresa, que tiene la responsabilidad de que los cuatro primeros factores actúen para lograr que la productividad se incremente.

### 3. Definición del problema o identificación del problema

A raíz del desreclutamiento del 50% del personal operativo ocurrido en el área de Arquicreteo Sistema Constructivo, de la empresa Grupo Cementos de Chihuahua, las actividades a realizar por los trabajadores fue modificada, de realizar funciones específicas a su puesto se procedió a asignar actividades multifunciones, lo cual en apariencia puede considerarse algo de índole común en las empresas, pero en este caso, en particular, el cambio a nivel laboral se presentaba como un verdadero problema, se encontraba una situación de cambio que generó incertidumbre entre los trabajadores respecto a su estabilidad laboral, por otra parte se manifestaba su resistencia al cambio estructural, ya que sus funciones aumentaban, así como las necesidades de

conocimientos de los procesos que no manejaban estaban siendo requeridos de inmediato.

El proceso de adaptación generó un ambiente hostil, con bastante resistencia, por lo cual se planteó como un problema de atención inmediata, para el personal directivo, los cambios estaban siendo en perjuicio de sus tiempos estimados y las actividades a realizar que estaban planeadas debían ser modificadas a las nuevas circunstancias, esto fue causa de conflictos ya que, sin los mismos recursos, se requería la misma producción.

Otro factor que desencadenó problemática fue el considerar el sindicato de trabajadores que protege el desarrollo laboral del personal operativo, quienes, en su intervención propia, manifestaban estar en contra de que se aumentaran las actividades que debe realizar el trabajador sin un cambio sustancial en su salario y puesto.

El problema requirió de acción inmediata por lo cual se determinó implementar la reingeniería, ya que esta estrategia proporcionaría las bases para las adecuaciones que se requieren, para dar continuidad a los cambios que deben realizarse y poder evaluar si los procedimientos tienen la continuidad necesaria para continuar con la producción sin problemas, además se opta por la implementación del programa permanente de mejoramiento de la productividad.

### 4. Plan de acción

Una vez aplicado el desreclutamiento, reducción del personal, se presentó la resistencia del personal a realizar un mayor número de actividades, esta resistencia al cambio es un factor que ataca a cualquier persona, sin importar su puesto, ni educación. Para la aplicación de la reingeniería como proceso a seguir para iniciar con los cambios estructurales, se inician sus cinco fases, en la primera fase, análisis, se identifica que el área de mejora se encuentra en la planeación de los procesos, adecuándolos a la nueva plantilla laboral, se identifican (por conocimiento empírico) las habilidades que han desarrollado los trabajadores vigentes, su capacidad de conocer con mayor facilidad algún proceso adicional y sus necesidades de capacitación en particular, definiendo esto como oportunidades de mejora.

En la Figura 3 pueden apreciarse las áreas que deben ser cubiertas por los operadores, los cuales fueron reducidos de 4 a 2, siendo estas las siguientes:

- Operador de equipo móvil.
- Operador líder.
- Operador de preparación de placa T.
- Operador de moldeo.

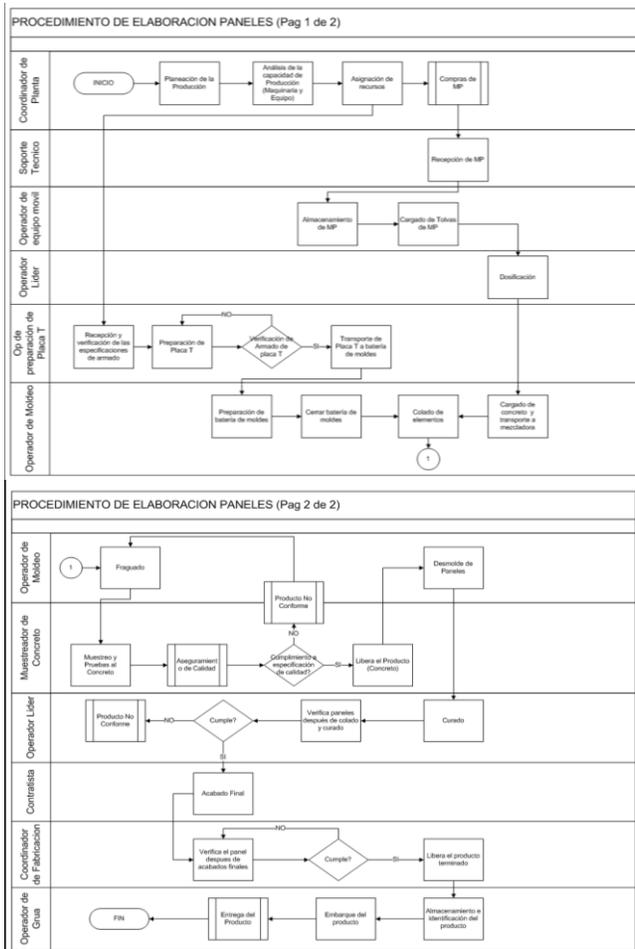


Figura 3. Procedimiento de elaboración de paneles.

En un inicio cada operación contaba con un trabajador, en la actualidad, dos operadores deberían cumplir con estas cuatro actividades. Una vez identificada esta información se procede a la segunda etapa, definición, donde se determina que el plan estratégico de la empresa es la reducción de costos para la competitividad comercial, por lo cual debe realizarse el proceso de adaptación con la mayor eficiencia para que esto no termine en costos innecesarios, que incumplan con el objetivo de reducción planteado con anterioridad, en este punto es importante mencionar que se considera la curva de aprendizaje y el tiempo que se invierte en este proceso, el cual no debe dejar de tomarse en cuenta ya que repercute en la producción directamente. Esto se plantea en la segunda junta para la adaptación a las nuevas condiciones (Figura 4).

En esta junta se encuentra como primordial acción el involucramiento empático del personal operativo, lo cual abre la oportunidad de proceder a la capacitación necesaria para adecuar los procesos a las nuevas condiciones. En la tercera etapa denominada desarrollo, se lleva a cabo el curso de *GCC renovado* el cual se estableció debido al

programa permanente de mejoramiento de la productividad, el cual manifiesta entre sus características ser involucrativo, teniendo como principal característica el buscar la participación de todo el personal en las decisiones de la empresa.



Figura 4. Junta para definición de plan estratégico.

Este curso tuvo la premisa de combatir la resistencia al cambio por medio de la información clara, en el entendido de lo importante de hacer partícipes de los cambios a todos los integrantes de una empresa lo cual les proporciona certidumbre y les permite conocer lo importantes que son para la misma, esto dará paso a la característica del programa permanente de mejoramiento de la productividad de tipo preventiva y adaptiva porque podrá evidenciar la información que al conocerse se convierte en una herramienta para que la empresa actúe en consecuencia.



Figura 5. Área de capacitación del curso GCC renovado.

Para la etapa de implantación de nuevas actividades laborales fue necesario redefinir la visión de la empresa y manifestarla a los colaboradores, con la intención de encontrar su empatía y compromiso a las nuevas condiciones, para lo cual se impartió el curso de *GCC renovado*, este curso fue el primero de los tres determinados para la implementación de los cambios, una vez expuestos los argumentos requeridos para esta transición se procedió al segundo curso, *teoría de los procesos*, el cual se realiza bajo la supervisión del personal directivo de producción y tiene la finalidad de capacitar a

todo el personal en todos los procesos operativos dando a conocer la teoría que corresponde a cada proceso y evaluando los conocimientos adquiridos.



Figura 6. Curso teoría de los procesos.

El tercer curso se desarrolla en diversas áreas, tomando las consideraciones necesarias para poder desarrollar las nuevas habilidades en cada una de ellas, se explica de manera práctica todo el proceso, este curso se torna vivencial ya que esta forma permite identificar dudas que en un curso teórico no habrían surgido.



Figura 7. Área de colados horizontales y verticales curso vivencial.

En la Figura 7 se puede identificar parte del proceso de producción, el cual estaba siendo realizado por el personal en capacitación con la supervisión de los encargados de producción, convirtiendo estas actividades propias de la labor diaria en una forma de aprendizaje vivencial.

En la etapa de proceso de mejora continuada, se acuerda realizar una retroalimentación semestral al personal, por medio de reuniones que permitirán conocer inquietudes, dudas y ambiente laboral que se esté desarrollando en ese periodo con el fin de tomar acciones correctivas y preventivas para la continuidad de la producción requerida. En conclusión, el programa permanente de mejoramiento de la productividad aporta en este caso su característica de permanente con lo que se podrá monitorear las situaciones que se presenten laboralmente en un periodo semestral.

### 5. Evaluación de mejoras

Al evaluar los procesos, se pudo percatar que la curva de aprendizaje que necesariamente se presenta, en esta nueva etapa laboral de la producción, no tuvo repercusiones significativas ya que este cambio se realiza en diciembre del 2015, lo cual estaba contemplando un tiempo de dos meses para adaptación ya que en enero y febrero de 2016, no se contaba con proyectos aprobados por lo cual este tiempo podría destinarse exclusivamente al proceso de capacitación y modificación de actividades. Al utilizar este tiempo que no es de poca cuantía, de forma correcta y apoyada en las técnicas de reingeniería y el programa permanente de mejoramiento de la productividad fue posible dar paso a las nuevas actividades sin tener la presión de tiempo y prueba-error sin el factor de emergencia.

### 6. Resultados

Al iniciar producción con el personal capacitado durante un tiempo de dos meses se observa que la tendencia de disminución de productividad esperada no es significativa arrojando los siguientes datos:

- Producción en el periodo abril a octubre de 2015, no considerando noviembre y diciembre ya que a la fecha no es comparable la producción de esos periodos al encontrarnos en fechas de noviembre de 2016.
- Producción del periodo abril a octubre de 2016, tomando en cuenta que los meses de enero y febrero no se contó con proyecto aprobado por lo cual la producción fue cero, siendo este periodo utilizado para la adecuación del personal a las condiciones laborales implementadas.

Tabla 1. Piezas producidas antes y después del desreclutamiento.

Periodo	Piezas Producidas en 2015	Piezas Produccion en 2016
Abril	210	200
Mayo	200	180

Junio	180	175
Julio	170	150
Agosto	200	186
Septiembre	210	190
Octubre	175	180

Se realizó una prueba de hipótesis de igualdad de medias para determinar si había un cambio en la cantidad de piezas producidas con la reducción del personal. Los periodos evaluados fueron de abril a octubre de 2015 y de abril a octubre de 2016.

Después de realizar la prueba t de dos muestras se obtuvo un valor  $P=0.194$ , lo que indica que no hubo cambio en el volumen de producción durante los periodos celebrados,  $\alpha=0.05$ .

Se procede a realizar un gráfico comparativo de los datos anteriormente presentados para la consideración de los resultados que se encuentran favorables al implementar el cambio en operadores de producción, ya que la variación en número de piezas producidas aun con la reducción de 4 a 2 personas no es significativa de un año a otro.

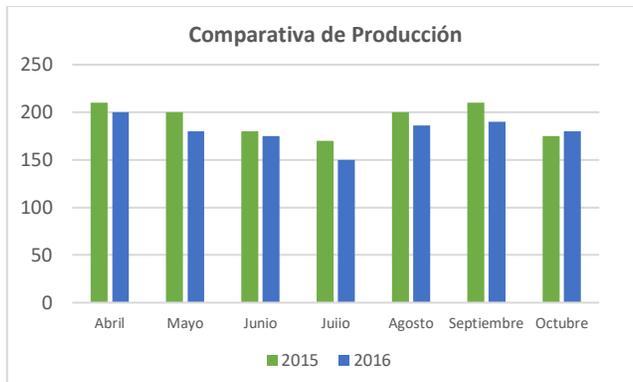


Figura 8. Comparativo de piezas producidas antes y después del desreclutamiento.

## 7. Conclusiones

A lo largo de este documento fue posible observar que los cambios estructurales y teóricos en las empresas tienen necesariamente repercusiones en su producción, por ello es necesario considerar que la resistencia al cambio es una filosofía de vida muy arraigada en las personas y que es posible modificarla si se utilizan las herramientas adecuadas, este proceso no es sencillo y que el tiempo requerido se puede tomar como pérdida económica, solo al evaluar los resultados es posible saber si este cambio se puede considerar una inversión, como es el caso expuesto en este documento ya que la variación en la producción no tiene un impacto significativo en la empresa y el hecho de

contar con personal operativo menor permanentemente, si representa un verdadero beneficio presentado en el corto plazo.

*“Ninguno de nosotros es tan bueno como todos nosotros juntos”*

Ray Kroc



Figura 9. Edificio construido con paneles prefabricados de concreto.

## 8. Referencias

- [1] Robbins, Stephen y Coulter, Mary (2000). "Administración". Sexta Edición. Editorial Pearson Educación. México. ISBN-10: 970170388X.
- [2] Espejel Pacheco, Arturo (1993). "La Productividad Como un Espiral de Mejora Continua". Revista UPIICSA, septiembre - diciembre.
- [3] CETED (1997). "Folleto Gerenciales". Año I. 1997 CETED.

### Páginas web:

- <https://es.scribd.com/doc/22053774/Herramientas-para-la-Mejora-Continua-de-la-Calidad>
- <http://www.liderempresarial.com/colaboradores-2/las-multihabilidades-de-un-gerente-de-desarrollo-humano/>
- <https://plusintegralconsultores.wordpress.com/2015/02/11/como-puedo-desarrollar-multihabilidades-en-el-personal/>
- <http://www.monografias.com/trabajos13/artmejo/artmejo.shtml>

# Control de inventarios mediante la utilización del sistema SAP

Diana Lizeth Yáñez Méndez

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Julio Cesar Briones Benavente

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Consuelo Catalina Fernández Gaxiola

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Resumen:** En este artículo se establece el procedimiento que se debe seguir para alimentar el sistema SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos), sistema utilizado a nivel mundial para llevar un adecuado control de inventarios, se caracteriza por ser confiable, exacto y seguro en los datos ya que no permite ningún tipo de manipulación. La empresa Optron de México, establecida en Ciudad Juárez, empresa dedicada a la fabricación de sensores para usos de detección, iluminación e indicación, la empresa fabrica alrededor de 3,500 tipos de sensores Led y fibra óptica que son utilizados en áreas industriales, médicas, militares y automotrices, su materia prima requerida para su proceso productivo es importada de varios países, por lo cual es importante tener un control de inventarios para evitar demoras. Es trascendental en empresas de esta clase y con este número de componentes llevar un adecuado control de los inventarios tanto de las mercancías que ingresan, así como la mercancía que sale a producción y que las existencias físicas puedan estar conciliadas con el sistema, para lograr esto se debe conocer el manejo del sistema SAP, y por lo cual se desarrolló la presente investigación.

**Palabras clave:** Importación, proceso logístico y control de inventarios.

---

## 1. introducción

Para poder llevar a cabo un correcto proceso productivo sin demoras y atrasos en la producción es primordial que exista un adecuado abastecimiento de las materias primas y materiales necesarios para llevarse a cabo, de no hacerse así esto conlleve a un incumpliendo con los clientes que esperan su mercancía en tiempo y forma, es necesario abastecer en forma correcta a las líneas de producción de los materiales necesarios para poder desarrollar su actividad en cada proceso, el no hacerse en forma adecuada podría derivar en un incumplimiento en las especificaciones y tiempos que el cliente ha solicitado.

Es por esto que es de fundamental lo referente a abastecer de materiales al almacén dentro de las necesidades del mismo proceso, por lo cual conlleva a que los materiales que llegan a la empresa puedan ser ingresados en tiempo y forma al sistema para que estén a disposición de las líneas de producción.

Es conveniente contar con saldo de materiales totalmente reales con las existencias físicas para poder hacer la programación de pedidos sin tener el peligro de quedar desabastecido el almacén.

## 2. Justificación

El establecer en forma concreta y grafica el uso del sistema SAP para el control de inventarios es de trascendental para la empresa ya que con esto se contribuirá a llevar un adecuado control de los inventarios de mercancías y que puedan coincidir lo físico con lo que refleja el sistema, esto le permitirá a la empresa tener mayor confianza en el manejo del almacén, así como un efectivo ahorro de tiempo.

Además, es vital contar con un documento que enumere las diferentes actividades que se deben desarrollar al usar el sistema mediante una clara explicación de cada uno de los pasos a seguir en las operaciones más comunes para la

empresa. Para cada uno de los movimientos de mercancías dentro del sistema se tienen distintas claves y pantallas, está es la razón por la que se realizó este proyecto, para dar a conocer cada uno de los pasos, así como las claves que deben llevarse a cabo para capturar la entrada de mercancías al sistema.

Esto ayuda a tener un control de inventarios de las mercancías, es más sencillo ya que cada movimiento capturado en el sistema coincide con los movimientos físicos que se han llevado a cabo, lo que se traduce en una manera más rápida y precisa al momento de realizar los inventarios.

### 3. Marco de referencia

En Ciudad Juárez, por su ubicación estratégica existen industrias maquiladoras que al amparo de programas de fomento a las exportaciones realizan importaciones de materias primas e insumos para elaborar sus productos que posteriormente serán exportados, es por esto que es indispensable contar con procesos logísticos que apoyen en todo el proceso productivo y a su vez que se pueda contar con un adecuado control de inventarios, por tal motivo es indispensable el apoyo de sistemas informáticos para poder desarrollar esta labor en forma eficiente.

“Logística es el conjunto de técnicas y medios destinados a gestionar flujos de materiales e información cuyo objetivo principal es la satisfacción de las necesidades en bienes y servicios de un cliente y/o mercado, en calidad, cantidad, lugar y momento” (Jordi Paulos, 2007).

Cadena de suministro básicamente son todas aquellas actividades y transformaciones que se llevan a cabo a determinado producto hasta que llega al consumo además es la que mantiene el control sobre las operaciones de las mercancías y estas van desde su almacenamiento, distribución y hasta que es entregada al cliente (Richard Chase, 2009)

Almacén Es el lugar destinado a guardar o de cierta manera proteger aquellos productos, materias o mercancías hasta que estos vayan a ser utilizados para un área de producción. La finalidad de que exista un almacén dentro de una empresa es que controla físicamente los inventarios de las mercancías que se tienen, además para proteger la materia de cualquier daño que se pueda suscitar dependiendo que tipo de mercancía sea como puede ser que necesite estar refrigerado, congelado, al aire libre e incluso dentro de una caja fuerte. Además, evita que haya un desabastecimiento de materia prima (Tejero, 2008).

Los inventarios son los registros de las mercancías almacenadas dentro de una empresa con el propósito de ser provistas a un área determinada como lo puede ser producción, y no solo es utilizada en grandes empresas sino también en las PYMES (Pequeñas y medianas empresas) la diferencia entre estas es que se llevan a cabo distintos inventarios en determinado tiempo (Acosta, 2008).

Existen diferentes tipos de inventarios como lo son: el físico, es en el cual se realiza el conteo de las mercancías que se encuentran en el momento que se lleva a cabo el inventario, y se detectan las diferencias entre las mercancías en existencia o en sistema y las físicas.

También se incluye el inventario cíclico que consiste en: “se efectúan a lo largo del año sobre cantidades pequeñas de producto. Este tipo de inventario permite repartir la carga de trabajo de manera más uniforme, no causa tantas interrupciones a las actividades del almacén y permite disponer de información más precisa sobre las existencias” (Acosta, 2008).

En el caso de la empresa se realiza el inventario según la clasificación de sus mercancías cada mes para las mercancías clasificadas como A que son las que se consideran de mayor costo y rotación, las mercancías B que se realiza cada tres meses y tiene rotación regular, las mercancías C se realiza cada cuatro meses y las D que tienen muy poca rotación es por esto que el inventario se lleva a cabo dos veces al año, y por último el inventario cíclico que se lleva a cabo según lo que indique el sistema, en el caso de la empresa a diario le marca una lista de números de parte que se deben contar.

#### **3.1. Sistemas de Control de Inventarios**

Son sistemas para contabilizar las mercancías existentes a partir de esto también establecen el costo de las mercancías que se han vendido, por la razón de que se tiene un almacén o bodega donde se encuentran las mercancías es necesario llevar un control de inventario, ya que se obtienen beneficios al llevar a cabo este control, primero se asegura que se venden productos de alta calidad y se tiene la seguridad de que se cuenta con el material necesario para la venta a un cliente, no se tendrán las mercancías detenidas y por lo tanto esto significa que no se tienen costos para la empresa por la rotación de mercancías y más que nada para tener un mejor control de entradas, salidas y lugar donde se encuentran. (Salas, 2010)

#### **3.2. Tipos de Sistemas de Control de Inventarios**

Primeramente, se encuentra el sistema periódico el cual se realiza cada cierto tiempo para conocer el costo de las mercancías vendidas, primero se hace el conteo físico de

cierto periodo tomando como base el inventario inicial y a este se le restan los returns (devoluciones) y salidas.

También se encuentra el sistema de inventario perpetuo que tiene un control mejor que el periódico ya que la información se mantiene actualizada, entre este se encuentra el método PEPS (Primeras entradas primeras salidas), método UEPS (Ultimas entradas, primeras salidas) (Salas, 2010).

El método utilizado en la empresa es el PEPS ya que esto consigue que el flujo de mercancías este mejor controlado al momento de realizar los inventarios.

### **3.3. SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos)**

El nombre de SAP proviene de: Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de datos. EL nombre SAP es al mismo tiempo el nombre de una empresa y el de un sistema informático. Este sistema comprende muchos módulos completamente integrados, que abarca prácticamente todos los aspectos de la administración empresarial. Cada módulo realiza una función diferente, pero está diseñado para trabajar con otros módulos.

La integración total de los módulos ofrece real compatibilidad a lo largo de las funciones de una empresa. Esta es la característica más importante del sistema SAP y significa que la información se comparte entre todos los módulos que la necesiten y que pueden tener acceso a ella. La información se comparte, tanto entre módulos, como entre todas las áreas.

SAP establece e integra el sistema productivo de las empresas. Se constituye con herramientas ideales para cubrir todas las necesidades de la gestión empresarial - sean grandes o pequeñas- en torno a: administración de negocios, sistemas contables, manejo de finanzas, contabilidad, administración de operaciones y planes de mercadotecnia, logística, etc. SAP proporciona productos y servicios de software para solucionar problemas en las empresas que surgen del entorno competitivo mundial, los desarrollos de estrategias de satisfacción al cliente, las necesidades de innovación tecnológica, procesos de calidad y mejoras continuas, así como, el cumplimiento de normatividad legal impuesta por las instituciones gubernamentales (Torres, 2008).

La empresa cuenta con el sistema SAP que es sumamente amplio y el más exacto que puede haber ya que cualquier anomalía en cuanto a cantidades que se quieran capturar las detecta. Además de que se ha trabajado con él durante más de 5 años en la empresa, es efectiva la manera en que puede capturarse la información ya que se tiene un mejor control en el área.

Es sumamente seguro utilizarlo ya que maneja información concreta, esto es un beneficio para aquellas empresas que trabajan con este sistema tan preciso y recomendado a quienes buscan tener un manejo eficaz y exacto de las mercancías.

Al utilizarlo se pueden hacer movimientos de todo tipo ya sea mover la mercancía de una planta a otra, cambiar el estatus de la misma ya de sea de disponible a restringido, devoluciones, inventarios, dar de baja números de parte agotados, entrada y salida de números de parte. Además, muestra la hora en que se realizó cada uno de los movimientos y que usuario fue quien lo llevo a cabo (Muñoz, 2000).

Esto beneficia a la empresa por el hecho de que el sistema es preciso y eficaz, además se mantiene un orden de cada mercancía y cada movimiento. Es necesario que cada empresa cuente con un control de inventarios y el sistema SAP es hasta ahora uno de los mejores y más confiables con los que se puede trabajar (Manual SAP).

Incluso se puede saber cada uno de los movimientos que se han realizado a partir del 2011 cuando comenzó a utilizarse este sistema dentro de la empresa. No solamente abarca este tipo de información sino también en donde puede encontrarse la mercancía ya sea que pueda estar en Q.C (Control de Calidad), que estén restringidas o que aún se encuentren en la bodega de El Paso (Muñoz, 2000).

## **4. Desarrollo**

El desarrollo de la investigación se centró en establecer un procedimiento a seguir en la captura de los movimientos de mercancías más comunes que se presentan dentro de la empresa Optron, ya que esto se desarrollaba en forma empírica pero sin seguir un procedimiento debidamente establecido y aprobado por las autoridades de la empresa, por lo que se decidió hacer un análisis de la situación que prevalecía en la empresa y determinar los diferentes pasos para llevar a cabo para la captura en el sistema de los diferentes movimientos de mercancías así como los datos y claves que se manejan.

El sistema debe ser actualizado a diario, tanto en las entradas, como las salidas deben capturarse lo más pronto posible para hacer eficientes y correctos los datos para que no haya discrepancias y puedan coincidir las cantidades. Por esta razón se deberán realizar cada una de las actividades como se indica a continuación:

**Embarque**

Para comenzar la primera de las actividades que se llevan a cabo en la empresa son capturar aquellos embarques que llegan a diario, se agrupan los packing list (lista de empaque) en una bolsa en la cual se pone la fecha en que llega, así como el nombre del supervisor de almacén, después de terminar la captura se pondrá el paquete de embarque donde este la mercancía.

**Lista de mercancía**

Dentro de la bolsa viene una lista que se manda desde la bodega localizada en El Paso, Texas, en cuya lista aparece cada una de las mercancías que se enviaron además del número de parte de la mercancía, cantidad y la unidad de medida de cada una. Con cada uno de la lista se tiene que verificar que vengan cada uno y que coincida la información, se palomean los números de parte que tengan la información correcta. Al terminar se debe poner una leyenda al final de esta que es: “Material recibido, todo en buenas condiciones”, anexo a esto se debe poner el nombre de la persona que se encarga de hacer la comparación de con la lista, así como la fecha.

**Relación de materiales**

Luego de que se agrega la información en la lista se pone en un cuaderno donde se encuentran las demás listas del año.

**Lista de mercancías certificadas**

El primer paso que se realiza es identificar cuáles son las mercancías certificadas y las que van a ir a calidad, para esto cada inicio de mes se envía un correo con la lista que será utilizada, dicho correo es enviado a las personas que están constantemente en contacto con las mercancías cuando llegan al almacén de la empresa, esto debido a que existe material para distintas áreas de almacén como son cables, comercial, discretos, suplisse (materiales que son utilizados por los mismos empleados), en esta lista vienen más de 3 mil números de parte con los proveedores que están certificados y se agregan una vez que haya 6 lotes consecutivos que no tengan rechazo de la mercancía.

Quando se agregan mercancías para ser certificadas se agregan en la parte superior izquierda o en el caso de que se hayan dado de baja por inconsistencias se agregan en la parte superior derecha. Para identificar cuales números de parte son certificados (Figura 1) se debe hacer como se muestra a continuación en la siguiente pantalla.

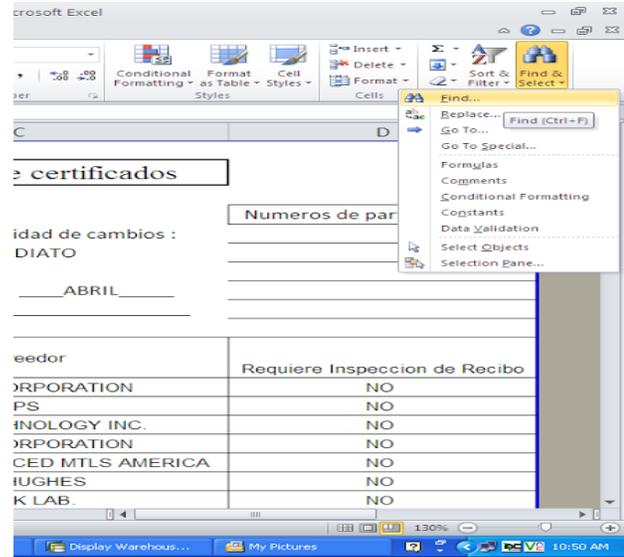


Figura 1. Búsqueda de números certificados (Elaboración propia).

En la siguiente pantalla (Figura 2) aparece el recuadro para buscar el número de parte según el packing list.

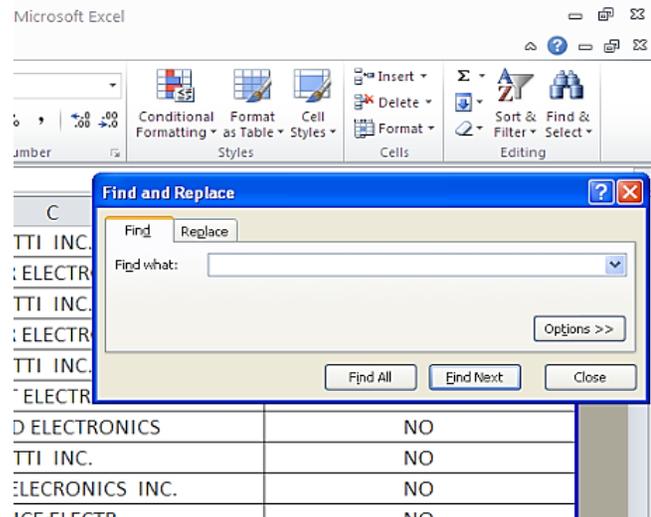


Figura 2. Pantalla de búsqueda (Elaboración propia).

Por la situación de que son más de 3 mil números de parte que se encuentran registrados en esta lista es por esta razón que se opta por buscarlos de esta manera que es rápida, se busca el número de parte para comprobar si es certificado o es de calidad.

Quando el número de parte y proveedor coinciden el número de parte es certificada para identificarlo se pone un sello de parte certificada al packing list.

**Inicio de sesión al sistema**

Se accede a la pantalla del SAP para iniciar sesión, se accede al icono de PRD para la planta de Optron de

México, para continuar aparece la pantalla del usuario que inicia la sesión, se debe poner el nombre de usuario y la contraseña, en seguida se presiona enter para continuar, en seguida aparece un mensaje al querer ingresar a la cuenta, esto es porque se puede acceder a una misma cuenta en dos computadoras al mismo tiempo, cuando aparece el mensaje se debe indicar en la opción 2 para poder continuar, en este caso la cuenta pertenece al capturista de datos del almacén, a continuación aparecerá la pantalla principal del sistema

**Captura de mercancías certificadas sin batch (Figura 3)**

El primero de los pasos para realizar la captura de las mercancías certificadas es identificar el número de parte, además se debe revisar el nombre del proveedor y la cantidad que aparecen en el packing list, el siguiente paso es revisar en la lista el número de parte que viene en el packing list y comprobar que el nombre del proveedor sea el mismo en la lista y en el packing, luego de haber realizado cada uno de los pasos anteriores, se pone el sello al de parte certificada al packing list .

Para comenzar la captura de la mercancía certificada primero se debe ingresar a la pantalla principal del SAP y se elige el icono MB52, posteriormente en la pantalla aparece la planta que en este caso es 2002 ya que es Optron de México y la locación debe ser 1003 que pertenece a planta 1 en la cual se encuentra el almacén, posteriormente se pone el número de parte de la mercancía

A continuación, se presiona F8 y a continuación aparece la pantalla de la mercancía certificada en donde además viene la cantidad que está disponible, así como también la que se encuentra en inspección y no tiene batch (lote), se procede a transferir las piezas a disponibles para recibirlas. Para esto se abre otra pantalla del SAP en la que se ingresa al icono MB1B que es para transferir las mercancías, de igual manera se pone la planta y locación que son las mismas mencionadas anteriormente y en el tipo de movimiento se pondrá la clave 321 que es para cuando las mercancías certificadas aparecen en inspección. Cuando estén llenos los recuadros se da enter para continuar, luego aparece la pantalla en la que se transfiere la mercancía.

A continuación, aparecen los campos que se deben llenar en la pantalla, en la locación se pone 1003 ya que es la planta 1 y en material se pone el número de parte que se quiere transferir, así como la cantidad, una vez llenados los campos anteriores se presiona F11 para que se guarde y capture la información, al terminar se pondrá una leyenda debajo de la pantalla y con esta se asegura que la captura se realizó correctamente.

Si se quiere verificar que la captura se llevó a cabo de debe ir a la pantalla MB52 y nuevamente se pone el número de parte, así como la planta y locación, al llenar los campos se presiona F8 para que el sistema nos de la información sobre este número de parte, en esta pantalla aparece que ya se realizó la captura y se movieron las piezas a disponibles.

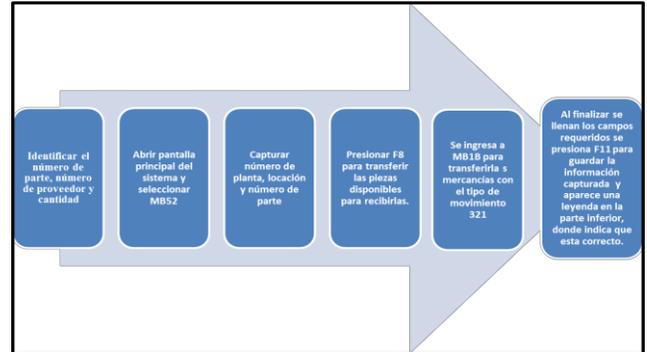


Figura 2. Diagrama de captura sin bath (Elaboración propia).

**Captura de mercancías con batch (Figura 4)**

El primer paso es identificar el número de parte en el packing list, una vez que se agrega el número de parte se tiene que identificar el nombre del proveedor y cantidad que aparecen el packing list, posteriormente se revisa en la lista, el número de parte que viene en el packing list, en seguida se debe comprobar que el nombre del proveedor sea el mismo en la lista y en el packing, Cuando se confirma que el número de parte es certificada se pone el sello correspondiente de parte certificada al packing list.

Para iniciar con la captura se debe abrir la pantalla principal del SAP y seleccionar la pantalla MB52, en esta pantalla de MB52 se debe poner la planta (2002) y locación (1003) además del número de parte, luego de llenar los campos se presiona F8 para ver la información, en seguida se puede observar la cantidad de material que está disponible para usarse pero que además cuentan con batch (lote), para continuar se abre otra pantalla en la que se selecciona el icono MB1B.

Para transferir las piezas que tienen batch (lote), se llenan los campos de planta (2002) y locación (1003) así como el número de parte de la mercancía y se presiona enter, en este caso las mercancías están disponibles pero tienen batch (lote) por esta razón se utiliza la clave 309, Para comenzar en esta pantalla se debe llenar el campo del número de material al que se le va cambiar el batch (lote), que se conforma de cinco ceros y otros cinco números, cuando se llena el campo del batch se presiona F11 para continuar, en seguida aparece la pantalla en donde se debe

cambiar el batch (lote) de 10 dígitos por el lote 01 y luego se presiona F11 y enter.

Al terminar la captura aparece un mensaje en la parte inferior izquierda en la que comprueba que se realizó la captura. Para verificar se abre la pantalla de MB52 y se mostrara que las piezas están disponibles y tienen el batch (lote) 01.

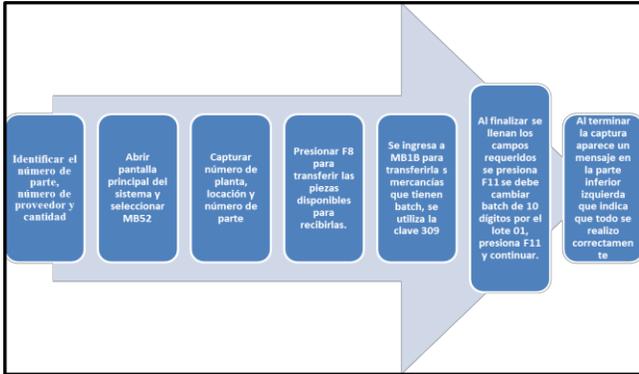


Figura 4. Captura de mercancías con batch (Elaboración propia).

**Mercancías con fecha de caducidad**

Al igual que con las demás capturas primero se identifica el número de parte en el packing list. A los productos que se les debe agregar fecha de caducidad son químicos o productos que deben mantenerse en refrigeración (silicón, jeringas, pastas, entre otros) o en estantes (pinturas).

En este caso se trata de dos botes de pintura por lo tanto lleva fecha de expiración, de la misma manera se revisa el nombre del proveedor, así como la cantidad que indica el packing list, una vez teniendo estos datos se continua en buscar el número de parte en la lista, se debe revisar que el nombre del proveedor sea el mismo para considerarla como certificada.

Para realizar la captura se debe ingresar a la pantalla inicial del SAP y luego seleccionar el icono MB52. al ingresar a la pantalla MB52, se deben llenar los campos de planta (2002) y locación (1003) además del número de parte que se desea capturar, en esta pantalla se muestra la información de la mercancía como lo son las cantidades que están disponibles y que tienen batch el cual se debe cambiar por la fecha de caducidad de la pintura, para continuar se abre otra pantalla en la cual se debe seleccionar el icono M1B1 en el cual se realiza el cambio de batch, enseguida se deben llenar los campos de movimiento que es la clave 309 para aquellas mercancías que están disponibles y que se les debe realizar el cambio de batch, de igual manera los campos de planta (2002) y locación (1003) deben ser llenados, una vez terminado esto se presiona enter, al ingresar a esta pantalla se deben

llenar los campos con el número de parte que se va capturar, y los diez dígitos del batch que son cinco ceros y otros cinco números que el sistema arroja automáticamente, al terminar los campos se presiona F11, para continuar aparece la pantalla en la que se realiza el cambio.

Para realizar el cambio de batch, se debe revisar el packing list en el que viene la fecha de expiración del producto, en este caso la duración del producto es solo de un año, en otros químicos se puede llegar hasta cinco años después de la fecha de manufactura, cuando se tiene la fecha de expiración se procede con cambiarlo en el sistema, primero se debe empezar con el número del mes, el día y para concluir con los últimos dos dígitos del año en que expira. Al terminar se presiona F11, una vez que se presiona F11 automáticamente el sistema arroja un mensaje en que se realizó la captura.

Para comprobar que la captura se llevó a cabo se debe ingresar a la pantalla MB52 en la que se deben poner el número de parte, planta y locación, una vez que aparece la pantalla se puede verificar que el cambio de batch se realizó correctamente y se actualizo la fecha de expiración.

**5. Resultados**

La presente investigación logró establecer en forma sencilla y grafica los pasos a seguir en la captura de la mercancías que ingresan al almacén mediante el sistema SAP, esto ayudo a que la empresa pueda tener un mejor control de sus materiales en existencia en el almacén, a su vez origino que las diferencias entre los reportes que marca el sistema y los que físicamente se encuentran almacenados sean los correctos, a su vez se puede tener plena confianza que al revisar algún material la cantidad que le arroja de existencias es la correcta lo que contribuye a poder planear las compras de materiales a los proveedores en tiempo y así evitar que las líneas de producción tengan que parar en un determinado momento por falta de materiales, todo lo antes mencionado contribuye a que el producto terminado puede salir en tiempo y forma y por lo tanto se hará la entrega al cliente en la forma en que se tenga programada lo que da como resultado un servicio al cliente excelente y que contribuye a un servicio de calidad que se refleja en las opiniones de los mismos clientes hacia la empresa.

Es interesante mencionar que antes de la presente investigación se detenían las líneas de producción hasta en 3 ocasiones por mes por falta de algún material que el sistema marcaba aún en existencia y actualmente no se han detenido ninguna línea a raíz de alimentar correctamente el sistema y estar monitoreando

periódicamente las existencias con lo físico y teniendo cuidado de realizar los pedidos de material cuando así lo indiquen las existencias en el almacén.

## 6. Conclusiones

La empresa no contaba con un procedimiento para la captura de las mercancías que llegan a la almacén lo que derivaba en que se hiciera en forma empírica, actualmente con este procedimiento se puede hacer más rápido reduciendo tiempos de captura y a su vez se puede obtener una información correcta y con mayor rapidez, esto ayuda a que el personal de almacén pueda ahorrar tiempo al momento de levantar su inventario físico y llevar a cabo sus pedidos de materiales, y todo esto eficiente la entrega de sus pedidos a los clientes.

Este trabajo es importante porque en un momento dado un cliente que no cuente con el conocimiento necesario se puede apoyar en dicho material para poder realizar la captura de los materiales que ingresan al almacén. Es necesario que la empresa que haga uso de la presente investigación determine el punto de reorden, que se refiere al nivel de inventario disponible necesario para satisfacer la demanda durante el tiempo de entrega, su cálculo es sencillo ya que la ademada y el tiempo de entrega son constantes, se debe tomar en cuenta también para poder reformularlo las existencias de seguridad o también llamado inventario de amortiguamiento para minimizar la posibilidad de un agotamiento de las existencias.

## 7. Referencias

- [1] Acosta, J. S. (2008). "Administración de Almacenes y Control de Inventarios". Enciclopedia virtual, México.
- [2] Jordi Paulos, R. D. (2007). "Logística Integral". Diaz de Santo. España. ISBN-10 # 8479783451, ISBN-13 # 978-8479783457.
- [3] Hernández J.A. (2000). "Manual SAP". México, McGraw Hill. ISBN-10 # 8448127447.
- [4] Richard Chase, R. J. (2009). "Administración de Operaciones". Interamericana Editores. México. ISBN-13 # 9789701070277.
- [5] Salas, H. G. (2010). "Inventarios: Manejo y Control". Starbook editorial, ISBN-13 # 9788492650347.
- [6] Tejero, J. J. (2008). "Almacenes: Análisis, Diseño y Organización". ESIC. ISBN-13 # 9788473565745.

# Reducción de residuos e insumos de limpieza en cuarto limpio mediante cambio en método de trabajo

Claudia Rodríguez Arciniega

Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Francisco Durán Hernández

Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

---

**Resumen:** En este trabajo se presenta un proyecto para la mejora del método de limpieza de los cuartos limpios localizados en la empresa Technology Solutions and Services S.A. de C.V., este proyecto fue establecido para resolver una problemática detectada en los cuartos limpios del área de celulares, donde se generan diariamente altas cantidades de residuos peligrosos, mezclas de residuos y gastos excesivos para artículos de limpieza. Lo anterior con el objetivo de reducir los residuos peligrosos generados y de disminuir los costos por consumo de artículos utilizados en la limpieza.

**Palabras clave:** Eliminación de desperdicios, disminución de residuos y utilización eficiente de recursos.

---

## 1. Introducción

La empresa Technology Solutions and Services S.A. de C.V., se dedica a la manufactura de celulares, básicamente a la restauración de las pantallas, dicho proceso es llevado en un 60% dentro de cuartos limpios, por tal motivo se requiere tener cuidados especiales para controlar los factores de humedad temperatura y partículas contaminantes que puedan generar riesgos al producto, entre los que se incluye la estática.

Sin embargo, al asegurar la calidad del producto y los procesos se dejan en segundo plano aspectos como la generación, manejo y disposición de residuos peligrosos, prueba de lo anterior es que se han detectado en el área mezcla de residuos peligrosos con basura común. Aunado a esto, se generan altas cantidades de desechos de materiales utilizados en la limpieza, debido a un método poco eficaz para la limpieza del cuarto.

Este problema impacta directamente en costos para la empresa ya que podría ocasionar multas por incumplimiento de normas nacionales y por incumplimiento en los estándares internacionales, entre los

que se incluyen el ISO-14001 (Ambiental) y OSHAS-18001 (Salud y Seguridad en el Trabajo).

En el presente trabajo se busca reducir en un 50% los costos por consumo de artículos para la limpieza, así como también implementar un método de limpieza eficaz y eficiente con el equipo e insumos adecuados para realizar esta actividad.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Definición de cuarto limpio

Un cuarto limpio, sala limpia o sala blanca (en inglés, clean room) es un lugar especialmente diseñado para tener bajos niveles de contaminación. Estos cuartos deben contar con parámetros ambientales estrictamente controlados en cantidad de partículas en el aire, temperatura, humedad, flujo de aire, volumen de aire, iluminación.

Normalmente se utilizan en la fabricación o investigación científica, debido al ambiente controlado en el que se tiene un bajo nivel de contaminantes como el polvo, microbios transportados por el aire, partículas de aerosol, y vapores químicos. Para ser exactos, un cuarto limpio tiene un nivel

controlado de contaminación que se especifica por el número de partículas por metro cúbico o pie cúbico a un tamaño de partícula específico (Air Quality de México, 2016).

## 2.2. Clasificación de cuartos limpios

Los tipos de cuarto limpio de acuerdo con el flujo de aire se pueden dividir en cuatro tipos:

- Convencional.
- Flujo unidireccional.
- Flujo mixto.
- Microambiente.

De acuerdo con la pureza del aire existen cuartos limpios de 100000, 10000, 1000, 100, 10 y hasta 1 partícula por pie cúbico. También conocidos como clase 100K (ISO-Class 8), 10K (ISO-Class 7), 1K (ISO-Class 6), 100 (ISO-Class 5), 10 (ISO-Class 4) y 1 (ISO-Class 3) respectivamente.

El cuarto limpio objeto de estudio, entra en la clasificación ISO-Class 6 (1000), de acuerdo con la pureza del aire. Para esta clasificación según el FED-STD-209E los límites permisibles de partículas y tamaño de las partículas, se encuentran en la Tabla 1 y Tabla 2. Con la norma ISO-14644-1 los límites permisibles de partículas y tamaño de las partículas se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 1. Clase límite según el FED-STD-209E para cuartos limpios.

Clase ISO	Máximo número de partículas en el aire (Partículas en cada m <sup>3</sup> )		
	Tamaño de partícula		
	> 0.1 µm	> 0.2 µm	> 0.3 µm
1	10	2	
2	100	24	10
3	1000	237	102
4	10000	2370	1020
5	100000	23700	10200
6	1000000	237000	102000

Tabla 2. Clase límite según el FED-STD-209E para cuartos limpios.

Clase ISO	Máximo número de partículas en el aire (Partículas en cada m <sup>3</sup> )		
	Tamaño de partícula		
	> 0.5 µm	> 1 µm	> 5 µm
1			
2	4		
3	35	8	
4	352	83	
5	3520	832	29
6	35200	8320	293
7	352000	83200	2930
8	3520000	832000	29300
9	35200000	8320000	293000

Tabla 3. Clasificación norma ISO-14644-1.

Clase	Tamaño de partícula medida (µm) (Partículas en cada m <sup>3</sup> )				
	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	5 µm
1	1240	265	106	35.3	
10	12400	2650	1060	353	
100		26500	10600	3530	
1000				35300	247
10000				353000	2470
100000				3530000	24700

## 2.3. Limpieza de cuartos limpios

Un paso importante para lograr el control microbiano dentro de un cuarto limpio es el uso de técnicas de limpieza definidas, junto con la aplicación de detergentes y desinfectantes. Tanto la selección correcta del producto como las técnicas de aplicación son importantes, especialmente en relación con algunas de las más nuevas tecnologías de cuartos limpios. De acuerdo con Abaco (2016), debe elaborarse un programa de limpieza y desinfección de locales en el que se tengan en cuenta los siguientes puntos:

1. Las distintas áreas con que cuenta la zona (vestuarios, salas de trabajo, ...) detallando, dentro de ellas, las diferentes partes que las constituyen como suelos, techos, paredes, puertas, ventanas, mobiliario y el orden en que debe realizarse la limpieza.
2. En qué momento deberá llevarse a cabo la limpieza (antes de entrar, durante la elaboración, acabada la jornada, acabada la especialidad, en períodos de paro más largos de lo habitual).
3. Quién realizará la limpieza (personal de sala, personal externo).
4. La elaboración de forma clara y detallada de una metodología a seguir para llevar a cabo estas operaciones por sencillas que parezcan, indicando:
  - a) Evacuación de los residuos resultantes durante la elaboración ya sean generales o medicamentosos, indicando en qué momento, por dónde, cómo.
  - b) Acceso de los materiales y productos a utilizar.
  - c) La preparación de los productos de limpieza en los que deberá especificarse quién lo prepara, cuándo, dónde, en qué recipiente, a qué concentración, con qué tipo de agua y a qué temperatura.
  - d) Cómo deberá realizarse, para lo que habrá que detallar:
    - Las partes por tratar y el orden de las mismas.
    - Los materiales y productos por utilizar (aspiradores, trapos, ...).

- La forma de realizarlo.
  - e) Desinfección y almacenamiento estableciendo quién es el responsable de la supervisión.
  - f) Los distintos tipos de productos utilizados para desinfección, productos que previamente habrán sido sometidos a estudio microbiológico y que para su aplicación se habrá tenido en cuenta evitar el desarrollo de cepas resistentes.
5. Conveniencia de establecer un plan de contajes microbiológicos posterior a las limpiezas, con el fin de validar y comprobar los procesos.
  6. Los programas de limpieza deberán estar aprobados por el Departamento de Control de Calidad.
  7. Una vez adoptado un plan de limpieza o desinfección, deberá ser modificado ante cualquier cambio, con el fin de que permanezca siempre actualizado.

#### **2.4. Limpieza de salas blancas: partes específicas**

Ingeniería e instalaciones (2016) realiza las siguientes recomendaciones aplicables para la limpieza de salas blancas:

- a) **Techos**, en general la limpieza se realiza lavando con una mezcla de agua corriente y agente neutro, seguido de un enjuague con agua corriente y secado. Para no degradar el revestimiento con los productos de limpieza, se aconseja:
  - Respetar las dosis.
  - Diluir en agua templada (alrededor de 20°C, siempre por debajo de 40°C).
  - Respetar la temperatura de aplicación (ideal 30°C, máximo 50°C para eliminar las grasas).
  - Respetar las presiones de aplicación (máximo 50 bars).
  - No sobrepasar el tiempo de aplicación (máximo 30 minutos).
  - Aclarar abundantemente con agua clara (presión máxima 50 bars a una temperatura inferior a 30°C), para las manchas persistentes, frotar con una esponja empapada del producto de limpieza adecuado, sin que llegue a modificar el aspecto del acabado y aclarar rápidamente con abundante agua clara.
- b) **Luminarias**, las luminarias deben ser limpiadas con un trapo especial para salas limpias humedecido con un agente limpiador compatible (para evitar atacar las lentes). El interior de las lentes debe ser limpiada de forma similar.
- c) **Paredes**, Las paredes deben ser limpiadas empezando por el techo y trabajando en líneas verticales hacia el suelo. Primero las paredes deben ser limpiadas con un aspirador o con una bayeta utilizando movimientos superpuestos, seguido por un trapo o bayeta

humedecidos con agente limpiador. Puede ser necesario un aclarado según el tipo de agente limpiador utilizado. La suciedad más fuerte debe eliminarse con agua caliente y jabón o detergente de tipo normal sin componentes abrasivos o corrosivos.

Las manchas persistentes, como pintura, adhesivo, tinta, huellas de bolígrafo y similares, se quitan en general con disolventes orgánicos en un ambiente bien ventilado y con las precauciones de empleo (por ejemplo alcohol, acetona, tricloroetileno, disolventes a base de nitro, mezclas de gasolina/benceno). Para quitar los residuos de adhesivos o pinturas persistentes, es preciso consultar con el proveedor del producto para encontrar los disolventes más indicados.

Los residuos de resinas condensadas (adhesivos a base de urea, melanina y fenol), adhesivos de reacción (adhesivos epoxídicos, de poliéster insaturado, de poliuretano, ...) no se pueden quitar después de su endurecimiento. Por lo tanto, es preciso intervenir antes de que se endurezca.

Después del tratamiento con disolventes, pueden aparecer unos halos que se eliminan con detergentes normales a base de amoníaco. Los residuos de parafina y siliconas se pueden quitar previamente de manera mecánica, prestando atención a no rayar las superficies. Los demás residuos se pueden quitar con la plancha caliente interponiendo papel absorbente.

- d) **Puertas, marcos y componentes**, limpiar primero la zona superior y los cantos laterales de las puertas mientras están entreabiertas, empleando un instrumento adecuado de aspiración o una mopa adhesiva, seguido de trapo. El trapo debe ser humedecido con un agente limpiador y la superficie aclarada en caso de que sea requerido por el agente limpiador. Tanto las puertas como las superficies asociadas deben ser limpiadas siguiendo el procedimiento mencionado para las paredes.
- e) **Ventanas**, las ventanas deben ser limpiadas empleando un trapo humedecido en un agente limpiador adecuado. La limpieza debe seguir un movimiento vertical de arriba abajo para humedecer las ventanas. Tras cada movimiento, el paño debe ser doblado para exponer una zona no usada. En caso de ambiente no aséptico, un trapo seco o bayeta debe ser empleado para secar la ventana de arriba a abajo tal como se ha descrito anteriormente.

### **3. Desarrollo**

#### **3.1. Situación actual**

Actualmente en la empresa Technology Solutions S.A. de C.V., se manejan dos cuartos limpios con flujo de aire

unidireccional, con recirculación de aire (el aire filtrado entra al cuarto, sale a través de paredes tipo ducto y se recircula a través de un plenum sellado con la ayuda de abanicos y filtros tipo HEPA, Figura 1). De acuerdo con la pureza del aire ambos cuartos limpios entran en la clasificación ISO-Clase 6 (1000), los parámetros para las partículas están dentro de los límites permisibles marcados por el US Federal Estándar 209E, así como del ISO-14644-1 y cuentan con las características plasmadas en la Tabla 4.

Tabla 4. Características de los cuartos limpios en TSSI sujeto a estudio.

Largo	7 metros
Ancho	5 metros
Alto	3 metros
Nivel de humedad	40%
Temperatura	25°C



Figura 1. Cuarto limpio en TSSI sujeto a estudio.

Diariamente son utilizados para limpiar un cuarto limpio los artículos plasmados en la Tabla 5.

Tabla 5. Insumos diariamente utilizados para la limpieza.

Insumo	Cantidad diaria utilizada	Concentración	Costo por cantidad diaria
Alcohol isopropílico	1.00 litro	99°	\$65.00 pesos
Alcohol etílico	0.25 litros	96°	\$15.00 pesos
Dielube 2040	0.054 litros	100%	\$32.40 pesos
ESD clean surface	0.50 litros	100%	\$92.50 pesos
Toallas para clean room	150 bolsas	N/A	\$840.00 pesos

Los costos asociados a la Tabla 5 se multiplican por 2 ya que la empresa cuenta con 2 cuartos limpios y ambos se limpian diariamente, la Tabla 6 muestra los costos anuales incurridos por la empresa por concepto de limpieza de los 2 cuartos limpios.

Tabla 6. Costo total diario y anual en artículos para la limpieza.

Costo diario en materiales de limpieza	\$2,089.80 pesos
Costo anual en materiales de limpieza	\$514,090.80 pesos

Para realizar dicha actividad se utilizan 3 operadores que cuentan con el equipo de protección personal plasmado en la Figura 2.



Figura 2. Equipo de protección requerido para cuarto limpio.

Dichos operadores están expuestos a lo siguiente:

- El tiempo de exposición a los químicos es de aproximadamente 45 minutos diarios durante los dos periodos de limpieza, uno a inicio de turno y otro a medio turno.
- Se utilizan al mismo tiempo todos los químicos para limpiar y no está completamente definido el proceso de limpieza para el cuarto.
- Al terminar la limpieza se depositan las toallas impregnadas con químicos en un contenedor de residuos peligrosos dentro del cuarto limpio y mezclándose un residuo con otro, dicho contenedor no cuenta con tapa y sale del cuarto limpio 2 veces a la semana.
- No se cuentan con programas de seguridad e higiene en las áreas de cuarto limpio; por lo tanto, el personal no cuenta con capacitación y adiestramiento en los riesgos derivados de su trabajo.

**4. Plan de acción**

Se propone colocar un bote con tapa para la segregación de residuos peligrosos y para la limpieza, se propone realizar la limpieza total del área dos veces por semana (una al inicio de la semana y otra a mitad de la semana), en las que sean limpiados primero los techos con un trapeador ESD, utilizando un litro de alcohol isopropílico, diluido en dos litros de agua y medio litro de limpiador ESD clean surface para cada cuarto limpio. Se deberán limpiar los techos, paredes, mesas de trabajo y por último los pisos (todo en ese orden).



Figura 3. Trapeador ESD para cuarto limpio.

La limpieza debe comenzarse del lado izquierdo del techo y debe finalizar del lado derecho, los movimientos del trapeador deberán hacerse en un solo sentido, de arriba hacia abajo, sin regresar hacia donde ya se ha limpiado.

Al terminar con la limpieza del techo se deben limpiar las paredes con el trapeador usando la misma metodología utilizada para el techo.

Las mesas son limpiadas con alcohol isopropílico y toallas blancas.

Para la limpieza del piso se deberá utilizar un trapeador distinto al del techo y paredes y se usará la misma metodología de limpieza.

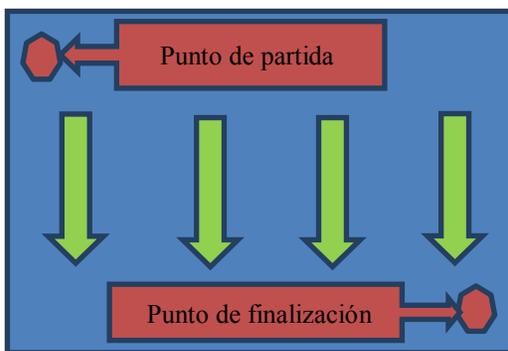


Figura 4. Método de limpieza con trapeador.

Cabe mencionar que para llevar a cabo la limpieza debe utilizarse adecuadamente el equipo de protección mencionado en la Figura 2, ya que, de no utilizarlo en el manejo de los químicos, se tiene el riesgo de ocasionar resequedad en piel y garganta, la empresa tiene registrados dos incidentes de resequedad en vías respiratorias y dolor de cabeza causados por inhalación prolongada de alcohol isopropílico. En la Figura 5 y la Figura 6 se presentan los riesgos a la salud de los químicos utilizados para las actividades de limpieza.



Figura 5. Riesgos a la salud del alcohol isopropílico.



Figura 6. Riesgos a la salud del ESD clean Surface.

Mediante las propuestas presentadas anteriormente es posible calcular nuevamente los costos diarios asociados a las actividades de limpieza, donde se puede observar una disminución de los insumos totales utilizados y la obsolescencia en esta actividad del uso del alcohol etílico y del dielube 2040 (Tabla 7).

Tabla 7. Propuesta de insumos a utilizar para limpieza de un cuarto limpio.

Insumo	Cantidad diaria utilizada	Concentración	Costo por cantidad diaria
Alcohol isopropílico	1.00 litro	99º	\$65.00 pesos

Trapeador ESD	N/A	N/A	\$1,575 pesos (costo anual por 2 piezas)
Repuestos trapeador ESD	1	N/A	\$46.00 pesos
ESD clean surface	0.25 litros	100%	\$46.25 pesos
Toallas para clean room	30 bolsas	N/A	\$160.00 pesos

Mostrándose en la Tabla 8 los costos anuales de la propuesta al considerar la limpieza de los 2 cuartos limpios.

Tabla 8. Costo total diario y anual en artículos para la limpieza considerados en la propuesta.

Costo diario en materiales de limpieza	\$634.50 pesos
Costo anual en materiales de limpieza	\$156,087.00 pesos
Costo anual de trapeador ESD	\$6,300.00 pesos
Costo anual total	\$162,387.00 pesos

## 5. Resultados

Con la implementación de esta mejora se espera que:

- Se disminuya en un 68.41% el costo por consumo de artículos de limpieza para el cuarto limpio, de \$514,090.80 pesos a \$162,387.00 pesos.
- Se disminuya la utilización de toallas en un 80% y a la par se disminuya en el mismo porcentaje la generación de residuos peligrosos en los cuartos limpios.
- Se eliminen los incidentes causados por irritación en las vías respiratorias de los empleados, actualmente se tienen reportados dos casos en enfermería por mareos e irritación de garganta a causa del uso de lo químicos, al bajar la concentración del alcohol isopropílico a un 30% mediante la dilución con agua y por la eliminación de 2 químicos para la limpieza.
- Se segreguen correctamente los residuos peligrosos y la basura común para así evitar mezclas y posibles multas por contaminación al ambiente.

## 6. Conclusiones

Para un negocio no solo debe ser importante el cuidado de los métodos, maquinarias y materias primas, hay que recordar que la mano de obra y el medio ambiente también forman parte de las 6Ms para la elaboración de los productos y procesos. Una empresa debe cuidar todos sus recursos con la misma prioridad llevando a cabo programas que le permitan estar mejorando continuamente e identificando los puntos más débiles de tus operaciones.

Al usar eficientemente los recursos no solo se disminuyen los costos de los procesos, sino también se contribuye con el cuidado del medio ambiente y en automático mejora la calidad de vida; ya que, para cada material, insumo o máquina utilizadas, hay detrás un proceso productivo de los proveedores que implican también la utilización de recursos naturales.

## 7. Referencias

- [1] FED-STD-209E. "Airbone Particulate Cleanliness Classes in Cleanrooms and Cleanzones". Recuperado de [www.everyspec.com](http://www.everyspec.com)
- [2] ISO-14001. "Environmental Management Systems Requirements with Guidance for Use" Recuperado de [www.iso.org](http://www.iso.org)
- [3] OHSAS-18001. "Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo" Recuperado de [www.bsigroup.com](http://www.bsigroup.com)
- [4] ISO-14644-1. "Cleanrooms and Associated Controlled Environments - Part 1: Classification of Air Cleanliness by Particle Concentration". Recuperado de [www.iso.org](http://www.iso.org)
- [5] Castaño, Carlos y Orozco, Alberto (2008). "Metodología para el Diseño de Cuartos Limpios". Recuperado de <file:///C:/Users/hp/Downloads/Dialnet/MetodologiaParaElDisenoDeCuartosLimpios-4749344.pdf>
- [6] Chemical Oil (2012). "MSDS Alcohol Isopropílico" Recuperado de [www.chemicaloil.com.mx/h\\_seguridad/ALCOHOLES/HDS\\_ALCOHOL\\_ISOPROPILICO.pdf](http://www.chemicaloil.com.mx/h_seguridad/ALCOHOLES/HDS_ALCOHOL_ISOPROPILICO.pdf)
- [7] Desco Industries (2015). "MSDS ESD Clean Surface". Recuperado de [www.alliedelec.com/m/d/77822f9564d5c19e193262fadfa4273a.pdf](http://www.alliedelec.com/m/d/77822f9564d5c19e193262fadfa4273a.pdf)
- [8] Air Quality de México (2016). "Cuarto Limpio". Recuperado de [www.aqdemexico.com/cuarto-limpio/](http://www.aqdemexico.com/cuarto-limpio/)
- [9] Abaco (2016). "Cuartos limpios". Recuperado de [abaco.com.co/cuartos\\_limpios.html](http://abaco.com.co/cuartos_limpios.html)
- [10] Rocha, Roberto (2016). "Limpieza de Cuartos Limpios". Recuperado de [robertochaconblog.wordpress.com/2016/03/19/limpieza-de-cuartos-limpios-2/](http://robertochaconblog.wordpress.com/2016/03/19/limpieza-de-cuartos-limpios-2/)
- [11] Ingeniería e Instalaciones (2016). "Limpieza de Salas Blancas". Recuperado de [ingelyt.com/wiki/limpieza-de-salas-blancas/](http://ingelyt.com/wiki/limpieza-de-salas-blancas/)

# Máquinas expendedoras inversas: El futuro para el reciclado de plásticos PET en México

Omar Alejandro Almeda Terrazas

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Efrén Eduardo Robles Hernández

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Javier Martínez Romero

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Salvador Noriega Morales

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

---

**Resumen:** Se presenta el estado del arte sobre máquinas expendedoras inversas o en inglés reverse vending machines (RVMs), enfocadas en el reciclado de residuos de envases, en su mayoría de botellas con material tipo PET. Se describe primeramente un panorama nacional y mundial del reciclado, pasando posteriormente a una descripción de los procesos que se utilizan para procesar el reciclado de los desperdicios. Después se analiza el enfoque PET, lo cual permite generar una idea sobre la importancia y el valor que tiene reciclar este tipo de plástico. Además, se realiza una descripción de RVM, el origen, la cadena de valor utilizada por diferentes instancias encargadas de estas máquinas, los tipos de máquinas utilizadas en el mercado, proveedores y países que actualmente están utilizando la tecnología. Por último, se describen los artículos de investigación, así como investigaciones documentadas de modelos de negocios propuestos con relación a la adquisición de RVMs, pasando finalmente a la descripción breve de patentes.

**Palabras clave:** Máquinas expendedoras inversas, reciclado de plásticos, modelo de negocio y PET (Tereftalato de Polietileno).

---

## 1. Introducción

Hoy en día, la sociedad forma parte de un mercado amplio con relación al consumo de productos, los cuales apuntan a necesidades que van desde lo más básico hasta lo más complejo. Además, los diseños que se realizan para los productos actuales contemplan una diversidad de materiales dependiendo de la aplicación que se requiera, ya sean plásticos, metales, cerámicos, materiales compuestos, entre otros. Por ende, es lógico visualizar que la vida final de un producto será en forma de desperdicio una vez que haya cumplido su intento de uso. Un desperdicio se puede definir como *un producto o material redundante con un valor marginal o nulo para el dueño y*

*que el mismo dueño quiere desechar* [1]. Entre todos los materiales que pueden ser utilizados para la fabricación de un producto y que pueden ser reciclados de forma masiva (con la ayuda de la población general) están los plásticos. Un ejemplo de material utilizado y desechado de forma diaria, siendo el caso de estudio, es el PET (Terftalato de Polietileno).

De acuerdo con la publicación de NTR Periodismo Critico, en México, solo se recicla el 15% anual de 800 mil toneladas de PET (Tereftalato de Polietileno) [2], sabiendo esto, es bueno indagar lo que sucede con el 85% restante. Estos residuos terminan en rellenos sanitarios, incinerados (causando más daño al medio ambiente que ayudándolo) o

peor, en bosques, playas y océanos. El caso de *la isla de plástico* ubicada en el Pacífico Norte, es un ejemplo de ello. En los últimos 16 años, al menos murieron más de un millón de aves marinas y cientos de miles de mamíferos. Todo esto ya que, a diferencia de los desechos biodegradables, los plásticos fotodegradables se desintegran en plásticos más pequeños, por lo que los organismos ingieren con mayor facilidad estas partículas [3]. Lo más preocupante es que este tipo de residuos tiene una vida aproximada de 500 años. De acuerdo con la SERMARNAT la generación estimada de residuos sólidos urbanos (plásticos) [4] se han comportado acorde a la Figura 1. Como se puede observar la generación estimada tiene una tendencia positiva, con un coeficiente de determinación del 78%, al proyectar la generación de residuos plásticos al año 2020 se obtendría una generación de residuos de 5,470 miles de toneladas y si esto se relaciona con la curva de crecimiento mundial de la población humana presentada en la Figura 2 [5], el panorama no es alentador ya que, a mayor número de usuarios de este tipo de productos, mayor cantidad de residuos.

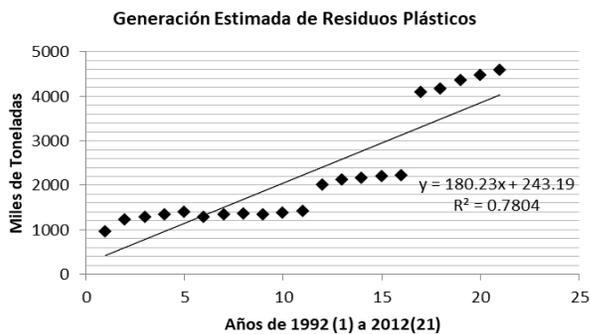


Figura 1. Análisis de regresión de generación de residuos plásticos [4].

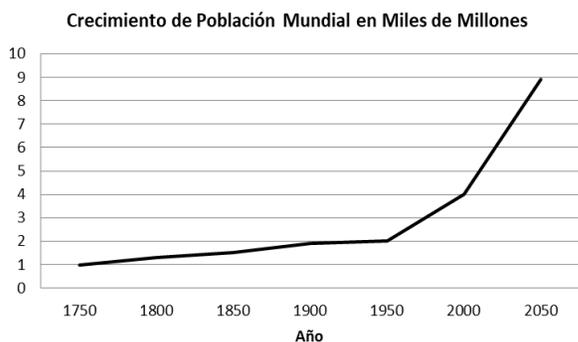


Figura 2. Curva de crecimiento mundial de la población humana [5].

Afortunadamente, el reciclaje de plásticos es popular hoy en día. A este paso acelerado de demanda de materiales

plásticos y crecimiento poblacional, se vuelve necesario buscar maneras de crear la cultura de reutilizar estos materiales en beneficio del medio ambiente y de nosotros mismos. En los últimos años, se han encontrado modelos de negocios a esta tendencia que impacta directamente a América Latina, y por consiguiente ha generado multimillonarias inversiones para la instalación de plantas de reciclaje de última tecnología, como son los casos exitosos de compañías como Enka, Aproplast en Colombia, SMI en Perú y PetStar en México. Además, existen casos de éxito en paralelo a las empresas descritas anteriormente: Enkador, una compañía de Ecuador procesa diariamente cerca de 1,600,000 envases de PET, lo cual representa el 40% de los desechos plásticos, de un 45% total de la basura. En Costa Rica se encuentra la empresa New World Recycle, la cual procesa 24 toneladas de PET diariamente. En Argentina, se reciclaron 200 mil toneladas de plástico en 2011, con un incremento de 11% con respecto al año inmediato anterior [6].

Aunque ya existen varios modelos de recolección de desperdicios, equipos y métodos de procesamiento, es importante indagar en alguno que pueda ser utilizado por cualquier persona sin esfuerzo mayor y que a la vez optimice el transporte del producto reciclado. Se debe buscar la transferencia tecnológica desde países desarrollados en la cultura del reciclado hacia América Latina en relación con la tecnología denominada máquina expendedora inversa, la cual es descrita en las siguientes etapas del presente documento, no sin antes pasar por las bases de la gestión de reciclaje.

## 2. Reciclado

La terminología para el reciclaje es compleja y a veces confusa según [7] ya que existen tres categorías, acorde a las definiciones del ISO 15270, está el reciclado mecánico, químico y la recuperación de energía. En otros términos, se pueden definir como reciclado de lazo cerrado, degradación, reciclado a materia prima y valorización, acorde al ASTM D5033. Hablando de plásticos, en teoría todos los termoplásticos pueden ser reciclados por lazo cerrado o mecánico, pero, los productos de empaque (plástico) frecuentemente utilizan muchas variedades de polímeros y otros materiales que dificultan el reciclado. El reciclado mecánico, es más práctico cuando la constitución polimérica puede ser:

- Separada efectivamente de fuentes de contaminación.
- Estabilizada contra la degradación durante el reprocesamiento.

Idealmente la corriente de desperdicio de plástico para reprocesar consiste en un estrecho rango de grados de

polímeros para reducir la dificultad de remplazar la resina virgen directamente, por ejemplo, todas las botellas de PET (Polietileno Tereftalato) están hechas de grados similares de PET, dando un escenario adecuado tanto para la manufactura de botellas y el reproceso de fibras de poliéster. El HDPE (Polietileno de Alta Densidad) usado para el moldeo de botellas por medio de soplado es menos adecuado para aplicaciones de inyección. Dicho esto, el reciclaje que más se realiza por medio mecánico son las botellas de PET.

**2.1. Reciclado mecánico**

Tomando énfasis en el reciclado mecánico, según [1] este método es comúnmente usado para recuperar materiales valiosos. El reciclado mecánico está asociado tanto a la cantidad de entrada de desperdicio como al estado final del reciclado, así que este debe de ser adaptado a la cantidad de entrada de material y optimizado para el resultado final, se debe de tener en consideración las características físicas para el diseño del sistema mecánico, éste puede ser categorizado en reducción de partículas, separación y compactación. La reducción de partículas se refiere a la conversión del material a un tamaño más pequeño, en el cual el tamaño será definido con respecto al reprocesamiento futuro de estas partículas. Para lograr esto, varios tipos de equipos han sido probados y refinados para ser utilizados en el manejo de desperdicios: (1) El molino de martillo es el más común para destruir vehículos, desperdicio de construcción y demolición, desperdicio comercial y de papel. (2) La trituradora de impacto es utilizada para reducir el desperdicio de construcción y demolición. (3) Las cortadoras o trituradoras, a diferencia de los anteriores son consideradas como molinos de baja velocidad. Estas son utilizadas para el desperdicio municipal, pero se recomienda retirar a mano materiales demasiados duros y voluminosos como metal, rines de automotores y alfombras. (4) La trituradora de mordazas es utilizada mayormente para desperdicio de construcción y de demolición. (5) El uso del molino de cascada de bolas, es moler y doblar materiales para su uso en procesos de chapeado de minerales como pinturas, pirotécnicos, cerámicos y sinterización [1].

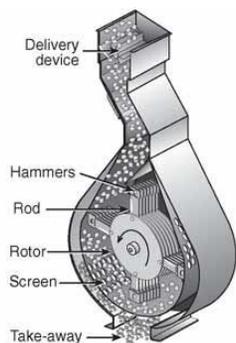


Figura 3. Molino de martillo [1].

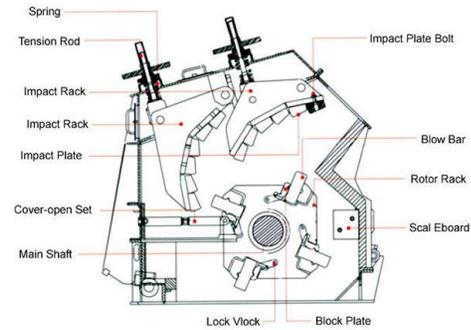


Figura 4. Trituradora de impacto [1].

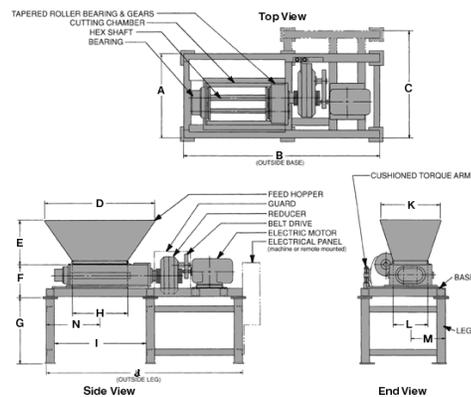


Figura 5. Cortadora o trituradora [1].

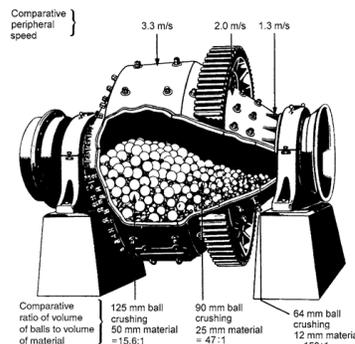


Figura 6. Molino de cascada de bolas [1].

Independientemente del tipo de sistema mecánico utilizado, se debe de seguir una etapa de separación de materiales con ciertas características para la aplicación, como sistemas de separación por medio de mallas, clasificadores de aire, separadores balísticos, magnetos, separadores de molino, sorteadores ópticos, flotación, separadores por medio de densidad y la más antigua, la separación manual.

**3. El enfoque PET**

La industria del plástico en México y el mundo, suelen clasificar a estos componentes en 6 grandes categorías [8]:

- Polietileno, incluidos el polietileno de baja densidad (PEBD), el polietileno lineal de baja densidad (PELBD) y el polietileno de alta densidad (PEAD).
- Polipropileno (PP).
- Policloruro de vinilo (PVC).
- Poliestireno sólido (PS) y expandido (PS-E).
- Polietileno tereftalato (PET).
- Poliuretano (PUR).

Y acorde a un estudio sobre la segmentación por tipo de plástico en México, el consumo aparente del PET se encuentra en el quinto lugar nacional con 555,000 toneladas por año [9].

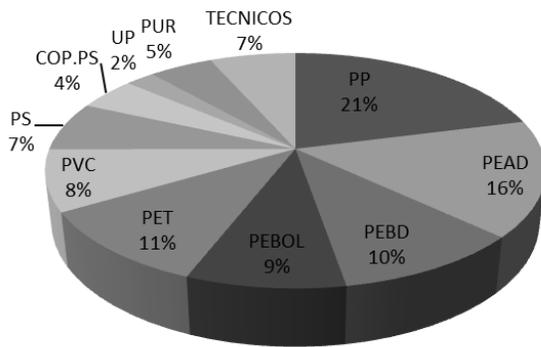


Figura 7. Segmentación por tipo de plástico [9].

Asimismo, considerando al estudio de la consultora de mercados Canadean [10], México es el segundo consumidor de PET en el mundo, impulsado por el alto consumo de refrescos y agua embotellada. Aun cuando se puede considerar a México como el líder Mundial en Acopio y Reciclaje de PET según ECOCE (Ecología y Compromiso Empresarial) gracias a sus dos plantas de reciclado de PET, IMER (Industria Mexicana de Reciclaje S.A. de C.V.) y PetStar, México sigue teniendo bastante PET para reciclar en manos de cualquier ciudadano, solo es necesario poner al alcance la tecnología para que lo logren sin esfuerzo ni derroche económico.

### 3.1. Sistemas de recolección de PET existentes

Actualmente existen diversos sistemas de recolección de PET en el mundo, algunos más exitosos que otros. En un estudio realizado por Zhang y Wena [12] se plantean tres preguntas sobre el tema de reciclado de plástico: ¿Cuántas botellas de PET se han consumido y cuáles son los principales factores del consumo de bebidas embotelladas en PET?, ¿Cómo se recolectan y venden las botellas de PET desechadas? y ¿Si hay alguna recomendación para mejorar los sistemas de recolección de PET?, analizando el comportamiento de reciclaje de los Estados Unidos, Japón y Brasil se pudieron detectar los principales sistemas de recolección de PET. En el sistema de los Estados Unidos se

detectaron cuatro métodos de recolección y concientización del reciclaje de PET los cuales son: (1) Centros de canje de PET por reducción de costo en bebidas carbonatadas. (2) Botes de recolección localizados en las esquinas de las calles. (3) Centros de acopio de PET. (4) Centros de compra de PET. De estos métodos, el segundo ha causado el mayor éxito, con un 55% de la recolección total contra los demás, esto debido a la accesibilidad del método, pero, dependiendo de la iniciativa del individuo [11].

El sistema utilizado en Japón, llamado EPR (Extender Producer Responsibility), regido por la ley de reciclado de contenedores y empaques se basa en que los consumidores están obligados a reglas de separación de materiales cuando desechan las botellas de PET, lo municipios realizan la selección de las botellas de PET para asegurarse que cumplan con los estándares de sorteo, los fabricantes de botellas de PET están obligados a reciclar y pagar cuotas de reciclaje a la CPRA (Containers and Packaging Recycling Association), la CPRA se encarga de la cuota de reciclaje, firmando contratos con recicladoras, para transferir la obligación de la manufacturera a las recicladoras y finalmente, hacen el transporte, el reprocesamiento y reciben una tasa de reciclaje del CPRA después de que terminen el proceso, el sistema de recolección de reciclaje de Japón implican a personas que obtienen una parte de los derechos de reciclado de botellas de PET. Este sistema ha tenido mucho éxito, aportando calidad al producto. El éxito es debido a que existen regulaciones que obligan al reciclaje del PET.

El sistema de Brasil difiere mucho del sistema utilizado en Estados Unidos y Japón, este sistema es considerado informal, en el que participan alrededor de 200,000 recolectores de basura, el cual es su modo de subsistir, dado a esto, el nivel de reciclaje de Brasil comparado con Estados Unidos es mayor, ya que tiene un valor económico para los recolectores de basura, esto, da a entender que un sistema de reciclaje exitoso requiere de leyes gubernamentales o incentivos económicos.

El estudio realizado por Zhang y Wena [12] fue llevado a cabo con 580 encuestados, 461 consumidores y 119 recicladores, tomando en cuenta solo el resultado de los consumidores se notó que el 42% desecha el PET en botes de basura (ya sean especiales para PET o basura mixta) en las esquinas de las calles, el 31% los guarda en casa para después venderlo, el 14% los desecha en botes especiales de reciclado, el 6% los lleva a depósitos de compra y reciclado, el 3% restante los reutiliza y los vende a compradores de basura ambulante. Con esto se sabe que el 44% de las botellas de PET son cambiadas por un incentivo económico y el 56% restante es tirado a la basura. Los

autores concluyen con recomendaciones para mejorar el reciclado de botellas de PET en que se debe de crear máquinas expendedoras inversa, publicidad de concientización ambiental y la realización de regulaciones gubernamentales detalladas. Asimismo, los autores concluyen su investigación con la siguiente frase: *Ya que la gente joven será el engranaje principal de la sociedad, es necesario concientizarlos sobre la protección ambiental y el consumo de bebidas embotelladas, es sumamente importante no perderlo de vista.*

#### **4. Máquina expendedora inversa: Premio a la sociedad mediante sistemas de recolección autónomos de residuos PET**

##### **4.1. El origen**

En [13] se menciona que este concepto surgió en 1920 cuando dos emprendedores americanos presentaron la patente *máquina de devolución de envases y manipulación al vacío* en Estados Unidos, pero no fue hasta 1950 que Wicanders de Suecia materializó la idea e inventó y procedió a fabricar la que sería la primera máquina. Tras 12 años, la compañía Arthur ASA de Noruega inicio la distribución de estas máquinas en diversos sectores que aseguraron su éxito.

El concepto de *reverse vending* es un concepto innovador el cual ha sido introducido a países europeos para ayudar a recolectar materiales reciclados, potencializar las actividades de reciclado y mejorar así la administración del desperdicio [14]. Es una idea que inculca el hábito de reciclar los desperdicios de material. Una máquina expendedora inversa trabajará tomando el desperdicio reciclado dentro de la máquina y gratificará con alguna cosa como muestra de agradecimiento [15]. También se puede definir como un dispositivo usado para separar colecciones de paquetes de desperdicios automáticamente. Estos dispositivos pueden deshabilitar exitosamente los factores humanos en la fuente de separación. Previenen malos usos humanos substancialmente [16]. Una máquina expendedora inversa es un dispositivo mecatrónico que oferta un determinado producto comercial por un determinado valor monetario. Este tipo de máquinas se les encuentra principalmente en lugares de alta concurrencia de público en donde se necesita establecer un protocolo de comercio simplificado, eficaz y eficiente [17].

Una de las características más notables de una máquina expendedora inversa, además de almacenar desperdicio de material, es la premiación que se le otorga a la sociedad por contribuir al reciclar desperdicios. Por ejemplo, algunas máquinas otorgan créditos para después ser canjeados en

diferentes comerciantes minoristas [18]. Otras otorgan vales con un código relacionados al tamaño, peso y características del envase que depositaron [19]. Algunos más, como es el caso de Reva, generan cupones con los cuales se acumulan puntos [20]. En [21], se propone seleccionar incentivos que se relacionen con los siguientes criterios: (1) Sustentable económicamente. (2) Estar conectado con otros incentivos. (3) Promover comportamientos sustentables y no ser resultante de más desperdicio. (4) Confiar en la gente para cuidar el medio ambiente.

Las premiaciones que se otorgan a las personas que ayudan con el reciclaje deben de ser acorde al sector en el que se instalan las máquinas, y para esto se debe realizar un análisis riguroso de lo que a una persona le interesa en determinada área, puesto que será el detonante para incrementar el reciclado. También en [21], la ciudad entiende que se requiere un programa de evaluación comprensivo como parte de una prueba para fijar los resultados y beneficios del proyecto.

##### **4.2. Proceso de reciclado con máquina expendedora inversa**

Las botellas de PET que actualmente se usan en el mercado de las máquinas expendedoras inversas se pueden clasificar dentro de dos categorías: Con depósito y sin depósito. El significado es simple; cuando un comprador adquiere una botella, el vendedor le puede pedir una botella de reemplazo vacía o no [22]. Según la literatura, hay diferentes esquemas de procesos de reciclado con RVM que se utilizan por diferentes proveedores para el mercado sin depósito. En [22] definen un proceso que empieza primero por el comerciante de bebidas con botellas de plástico PET; después, el comerciante suministra sus productos a los puntos de venta establecidos; Los puntos de venta a su vez colocan los contenedores con bebida a los clientes finales. Es en esta parte en donde entran las máquinas expendedoras en inversa: para funcionar como contenedor de desperdicios, como puntos de bonificación a los clientes que disponen sus contenedores y como punto de retorno a las compañías recicladoras que utilizan procesos de manufactura complejos para procesar el material PET y convertirlo de nuevo a un material reciclado y usable.

En [27] hablan de una cadena de valor del reciclado de botellas para bebidas comerciales, la cual la describen empezando por una tecnología de RVMs; después pasa a una etapa de servicio de soporte, la cual se encarga de recoger el material que se encuentra en la máquina, además de encargarse de realizar el setup correcto para que la máquina siga funcionando adecuadamente al público; pasando esta etapa, sigue una administración de

los datos y limpieza, la cual se encarga de que el software se encuentre en óptimas condiciones para que pueda suministrar la premiación a los clientes; una siguiente etapa recoge el material reciclado de los puntos de retorno. Siendo el sistema a partir de este punto similar al descrito en [22].

Es importante señalar que los esquemas anteriores no mencionan instancias municipales o gubernamentales, las cuales en varios de los casos de éxito están integradas dentro de la cadena de valor ya que contribuyen a la difusión y el impacto que tiene esta actividad en la sociedad y medio ambiente. Como ejemplo de esto, en [23] se menciona lo anterior, además muestra un diagrama de flujo, el cual señala claramente cómo la empresa sujeta a estudio, de alguna manera está relacionada con las instancias municipales y no municipales

#### **4.3. Proveedores, países, sectores y empresas involucrados en máquinas expendedoras inversas**

Hoy en día las principales compañías que se dedican a la fabricación de las máquinas expendedoras inversas son: Tomra de Noruega y Wincor Nixdorf de Alemania, Envipco de Estados Unidos, Envirobank de Australia, y Reverse Vending Corporation [24]. También en [25]-[26] se menciona que el mercado global de RVMs está altamente concentrado. Coinciden con [24] que la mayoría del mercado es compartido por Tomra (Noruega), Wincor Nixdorf (Alemania) y Envipco (Estados Unidos). Siendo Tomra el amplio líder del mercado con una porción del mercado del 65%.

Wincor Nixdorf Technology GmbH, es una empresa fundada en 1997 bajo el nombre de Prokent AG; se especializan en soluciones de RVM y procesamiento de imágenes. La participación en el mercado alemán es mayor al 50% y en Europa mayor al 10%. Esta compañía maneja una variedad de productos de RVMs. Una de sus familias de productos es llamada *Revento*, la cual tiene cuatro productos: *Revento 7000*, *Revento 7300*, *Revento 8000* y *Revento 9000*. Las diferencias entre estas máquinas varían en relación a las características de espacio o capacidad de almacenamiento de contenedores, así como la capacidad de triturar y clasificar el material [22].

Tomra fue fundada en 1972, empezó a diseñar, manufacturar y vender máquinas expendedoras inversas para recolección automatizada de botellas para bebidas comerciales [27]. En la actualidad, Tomra crea soluciones sensoriales para fuentes óptimas de productividad, ayudando a los clientes a incrementar sus resultados financieros y reduciendo el impacto ambiental. Tomra está activo en más de 50 mercados a través del mundo. Los modelos de RVM que ofrece son el T-705, T-820, Uno, Uno

Promo, T-53, T-63, T-63 HCp, T-63 HCp y T-83 HCp, la variedad de productos es amplia a comparación de su competencia, lo que lo hace un proveedor líder en el ramo, su mercado es amplio con aproximadamente 67,000 unidades instaladas alrededor del mundo, en los países nórdicos tiene 15,000 unidades, seguido por Alemania con 23,000 unidades, el resto de Europa ocupa 12,000 unidades, Japón con 500 unidades, Norte América con 15,000 y Latinoamérica con 1,000 unidades únicamente, lo cual la convierte en una sede potencial para establecer mercado [27].

En India se están generando actualmente 960 millones de toneladas de desperdicio sólido. Por ello se está buscando implementar acciones y medidas que contrarresten los desperdicios. Una de ellas es generar RVMs para la sociedad [15].

En Japón, se están realizando estudios acerca de los procesos de reciclado de contenedores plásticos para bebidas comerciales y la realización de mercados potenciales implementando RVMs. En [23] se menciona que el 60% del desperdicio sólido pertenece a empaques y contenedores. Existen regulaciones las cuales inciden en Japón para utilizar RVMs, tal es el caso de la ley de reciclado de contenedores y paquetes, la cual fue la primera ley de responsabilidad de producción extendida. Además, se menciona que en Japón se manejan al menos 3 marcas de RVMs las cuales son: Tomra Japan, Envipco Japan y Stec. Las estrategias de mercado de cada compañía son distintas, aun y cuando sean para el mismo fin.

En Dubái ha surgido una empresa llamada Averda la cual está introduciendo soluciones interactivas que permiten a los clientes participar en *hacerlo bien* mientras reciclan [28].

En Sídney se disponen actualmente 160 millones de recipientes de bebidas por año. Se están buscando estrategias para minimizar esto y una de ellas es colocar RVMs. En [21] se documenta paso a paso un análisis detallado de un proyecto a prueba para intentar posicionar esta tecnología esto para evaluar la factibilidad de esta tecnología para fomentar el interés de la sociedad y que contribuya con el cuidado del medio ambiente. La prueba surge debido a un gran donativo del gobierno de Sídney por impulsar la implementación de una tecnología ecológica. Los resultados fueron una recolección de botellas PET de 110,060 unidades contra 49,595 latas de aluminio, en un período de 23 meses.

En Hungría existe una empresa recién creada [29] llamada Returnpack, la cual trabajando en conjunto con Sealorient Company desarrollaron su propia máquina en 2009.

Empezaron instalando 24 máquinas en 2010 y hasta la fecha ha incrementado a un número de 200 máquinas a través de toda Hungría.

En Alemania, existe una empresa llamada Danks Returnsystem, la cual se especializa en recolección de residuos. Como se menciona en [30], la empresa ha desarrollado su propio concepto de RVM llamado Pant Station. Lo particular de estas máquinas es que el cliente suministra grandes cantidades de botellas dentro de un costal o bolsa, las coloca dentro de la máquina, la cual pesa las bolsas y se paga en 10 días hábiles a una cuenta bancaria del cliente la cantidad prometida por la máquina.

En [31] se enfocan en que un punto importante para el gobierno de Gran Bretaña y Estados Unidos es la protección ambiental. La asociación *Reverse Vending Corporation*, que trabaja en conjunto con estos dos países, diseña dos RVMs llamadas reVend y Spend. Esta máquina a diferencia de las mencionadas anteriormente puede almacenar hasta 3,000 botellas debido a su sistema de trituración.

En [32] se señala que la empresa Eco-Creation, ubicada en Corea, se dedica a la fabricación de RVMs. La característica de sus máquinas es que puede reducir el volumen de su contenido de un 85% a un 92%, además de contar con características sumamente innovadoras comparadas con otras RVMs. Por ejemplo, en la parte frontal de la máquina se encuentra una pantalla lo suficientemente grande para transmitir programas en vivo como noticias de la ciudad, temas de ecología, ...

En 2009 fue realizado un caso de estudio particular acerca de las RVMs en Inglaterra. Básicamente la universidad de Keele empezó con 2 años de prueba para recolectar botellas por este medio. Los premios que se ofrecían eran cupones de descuento. La RVM que se instaló fue una Envipco, los resultados fueron una recolección de 14,000 botellas en 4 meses y 500 vouchers fueron canjeados por premios [33].

Por último, en Ciudad de México existe el caso de la empresa BioBox. Las máquinas BioBox son de diseño mexicano, su función primordial es la recolección de plástico y aluminio por medio de un programa de recompensas al usuario que fomente su uso. Simplemente con depositar los envases de plástico y/o aluminio la máquina se encarga de comprimirlos y mandarlos a reciclar, haciendo de ese proceso algo práctico, sencillo y, sobre todo, una acción que premia la conciencia social y ecológica. Es por medio de este innovador método de recolección de desechos plásticos y de aluminio que BioBox comienza a generar una cultura de reciclaje mucho más

práctica, atractiva y de fácil acceso e interacción [34].

#### **4.4. I&D por instancias educativas en máquina expendedora inversa**

Diversos sectores educativos están trabajando con proyectos relacionados al RVM alrededor del mundo. Cabe resaltar que varias de estas instancias son sectores que requieren de acciones rápidas, innovadoras y eficientes como es el caso de Filipinas o Ecuador. Otro punto importante es que Latinoamérica se hace presente con propuestas de desarrollo de máquinas, por lo que se puede pensar que en un futuro cercano se genere valor a una empresa dedicada a producir este equipo. A continuación, se presentan algunas investigaciones, así como los resultados.

La investigación [14] tiene como intención desarrollar una RVM, funcional con energía solar. La propuesta se inspira en el hecho de que Manila genera cerca de 8,700 toneladas de desperdicio o basura al día y solo el 70% es recolectado eficientemente, por lo que el otro 30% tiene como destino los canales, ríos, ... Esto ha provocado que la ciudad tenga problemas de flujo de agua y por ende se inunden las calles.

El proyecto presentado en [35] consiste en desarrollar un contenedor automático de reciclaje con una característica de recompensa. El sistema se fabrica con contenedores para desperdicio estándar y se encarga de pesar por medio de básculas los desperdicios depositados. Una vez calculado el peso, el sistema calcula los puntos de recompensa y se depositan en una tarjeta de RFID la cual será posible canjearla. Se espera que el prototipo acelere la motivación de reciclar en Malasia.

En [36] se presenta el diseño y construcción de un prototipo de máquina recicladora de botellas plásticas, asimismo se remarca el hecho de que en Ecuador no se ha prestado la importancia necesaria para impulsar proyectos que permitan reutilizar desechos sólidos al fin de integrarlos al ciclo económico, reutilizándolos o aprovechándolos como materia prima para la generación de nuevos productos, con lo que, se conseguiría beneficios sociales, económicos y ecológicos. En este documento se propone el diseño de un prototipo de máquina recicladora de botellas plásticas y latas de aluminio, la que se encuentra enfocada en la primera fase del reciclado que es la compactación del envase.

En [37] se presenta el desarrollo de un proyecto correspondiente al diseño y construcción de un prototipo de RVM, con el objetivo de realizar modificaciones conceptuales a partir de especificaciones y características de modelos similares, buscando obtener mejoras en el

sistema de identificación y compactación, en los cuales se detectaron condiciones no adecuadas de funcionamiento al validar y almacenar botellas vacías de plástico PET de volúmenes comprendidos entre los 250 a 3,000 cm<sup>3</sup>.

La investigación [25] consiste en el desarrollo y fabricación de un sistema de visión basado en múltiples cámaras que permiten una velocidad alta de procesamiento de datos y simplifica la estructura de las RVMs. Con el sistema de cámara, varias características pueden ser extraídas de las imágenes para verificación, el sistema desarrollado identifica los códigos de barras de los contenedores desechados. La superficie exterior del contenedor es procesada como imagen con 6 cámaras con Raspberry Pi simultáneas. El software desarrollado está diseñado para absorber las variaciones como ruido en las imágenes.

El propósito del proyecto [15] fue diseñar y fabricar una RVM que toma desperdicio reciclable y genera un regalo simbólico al usuario. La máquina puede aceptar botellas de plástico de 90 milímetros de diámetro sin tapa, además de que puede aceptar latas, las cuales puede aplastar y guardar. La máquina tiene la capacidad de guardar hasta 50 botellas de plástico y 50 latas. Consiste básicamente en dos partes; la primera en una parte mecánica y la otra en una parte electrónica. La parte mecánica es usada para aplastar el material que se deposita y así tener mayor almacenamiento de botellas y latas. La parte electrónica consiste en un sensor y micro-controlador, la cual es usada para tomar las entradas correctas y segregar el desperdicio en sus respectivas categorías.

En [16] se investiga el uso de reconocimiento de sonido para separación de residuos de envases en RVMs. Para esto, se realiza una puesta a punto experimental equipada con mecanismos de grabación de sonido. Los sonidos que se generan de los residuos de envases son típicamente clasificados de tres formas: caída libre, impacto neumático y aplastamiento hidráulico. La idea es separar los tres sonidos usando dos micrófonos diferentes. Para clasificar los tipos y tamaños de desperdicio basados en las características de sonido, se desarrolla una máquina de soporte de vectores y un modelo escondido de Markov basados en sistemas de clasificación de sonido. Estos sistemas proveen un 100% de precisión de clasificación para ambos micrófonos. Los resultados de cada micrófono fueron de 96.5% para el dinámico y 97.7% para el condensador. Los modelos de estudio indican que el impacto de aplastamiento hidráulico generó porcentajes de ruido altos. También se encontró que la mayoría de los errores ocurre en el impacto.

En [37] se presenta un diseño de una máquina inteligente para el reciclado de botellas de plástico. El diseño utiliza un

sensor de rango ultrasónico, este sensor es usado para calcular el número de botellas y distinguirlas entre ellas. El principal objetivo de este proyecto es construir un sistema de clasificación a bajo costo de producción. Este prototipo permite al usuario reciclar las botellas de plástico y recibe puntos de recompensa. También es capaz de realizar procesos en paralelo a una alta velocidad donde la latencia juega un rol importante.

En [38], se fabrica una RVM por parte de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. La investigación se concentra en el desarrollo de los estudios mecánicos para fabricarla y la lógica del software que proporciona las rutinas necesarias para el funcionamiento. Se menciona que la máquina fabricada logra compactar hasta 5 mm de altura las botellas PET y puede recibir botellas de hasta 1 litro. Una característica importante a resaltar es que tiene un sistema a la entrada de las botellas que puede distinguir entre una botella con líquido y una sin líquido.

## **5. Modelos de negocio propuesto por instancias educativas para el reciclado de plásticos en base a máquina expendedora inversa**

Es conveniente resaltar los modelos de negocio para las RVMs, ya que desafortunadamente la fabricación de una máquina como estas no valdrá la pena sin un análisis del mercado, una generación de ganancias aceptable y el desarrollo de la cadena de valor junto a los elementos que interactúan con ella para obtener ganancias. Las instancias educativas han entendido esto y algunas de ellas están desarrollando planes para realizar propuesta que se pueda financiar. A continuación, se muestran dos planes de negocio y sus características.

Plan de negocios [23], este trabajo es un reporte de investigación realizado por la Ritsumeikan Asia Pacific University. Se concentra primeramente en que el 60% de los desperdicios sólidos en Japón son paquetes y contenedores. Esto ha generado un gran problema por el espacio requerido y debido a que las emisiones de dióxido por incineración hacen un gran daño a la salud humana. En este reporte se realizan entrevistas para encontrar el mejor escenario de la instalación de RVMs. Además, se habla de puntos como las regulaciones de depósitos, comportamiento de consumidores y la participación social. El reporte concluye que se debe tener en cuenta los lazos con las instalaciones de gobierno municipales, así como también que sin la ayuda de los vendedores de botellas el proyecto no durará mucho tiempo. Otro punto a resaltar por este reporte es su punto de vista acerca del desinterés por las instancias empresariales de manufactura de botellas y compañías de reciclado. Por último, las

compañías que manufacturan las RVMs extranjeras están dispuestas a cooperar y el incentivo para los consumidores es atractivo.

Plan de negocios [19], en este análisis se describe la viabilidad de un modelo de negocio de una plataforma de reciclaje innovadora. El objetivo es proponer las RVMs dentro del mercado en Chile. Realizado un análisis detallado sobre el posible éxito de un negocio como estos. Toma como referencia el dato de que en Chile se producen alrededor de 2,644,560 toneladas de envases, siendo 40% plástico y 15% de ellos hechos de PET. En Chile, el 83% de la población no recicla, por lo que el documento analiza la posible introducción de las RVMs en las comunidades de La Condes, Vitacura y Providencia, en las cuales se instalarán 30 RVMs. Concluyen que la plataforma requiere de una gran inversión inicial y que el proyecto es a largo plazo. Además, el proyecto va a la par con el pensar de la Organización Mundial de la Salud y el Ministerio del Medio Ambiente, por lo que toma peso a la hora de tomar alguna medida legislativa. Por último, se concluye que el monto que se estima en el análisis para la demanda es adecuado para que el proyecto sea interesante. Una parte interesante es el modelo Canvas que proponen. Sin duda es un reporte que contiene una base importante para cualquiera que desee realizar la escritura de la metodología de modelo de negocio para las RVMs.

## 6. Las máquinas expendedoras inversas como propiedad intelectual

De acuerdo con [39] el crecimiento económico ha sido valuado no solo por su propio bien sino por facilitar la libertad humana. El crecimiento económico puede proveer a la gente con más dinero y por consiguiente más opciones a decidir en sus vidas. Sin embargo, la libertad, no significa nada si no se puede disfrutar de buena salud, alimentación diaria, un medio ambiente limpio, educación, artes, cultura, etc. La propiedad intelectual está de cierta manera ligada a todas estas cosas esenciales. Un sistema balanceado que garantiza y explota los derechos de propiedad intelectual es un factor en el crecimiento económico ya que alienta a invertir y al comercio si es que es usado apropiadamente, también, puede ayudar a la creatividad cultural a prosperar, educar a una población o fuerza de trabajo, dirigir la innovación tecnológica para mejorar la salud, nutrición y mejorar otros beneficios sociales. Las formas de protección intelectual más conocidas son los registros de marcas, patentes, diseño industrial, derechos de autor, indicadores geográficos, protección de nuevas variedades de plantas y los derechos conexos. De las anteriores, las máquinas expendedoras inversas podrían llegar a protegerse por medio de una patente siempre y cuando no

exista alguna patente anterior y que cumpla con los siguientes puntos:

1. Nuevo. La invención nunca debió haberse inventado.
2. Paso inventivo. Debe de representar suficiente avance en relación con estado del arte actual para considerarse patentable.
3. Aplicable industrialmente. Debe de ser susceptible de usarse de alguna manera.

Para abundar un poco más en el tema vale la pena revisar las patentes creadas relacionadas a las máquinas expendedoras inversas, para conocer las tecnologías relacionadas existentes, ya sea para la transferencia tecnológica, de una nueva idea o de innovación.

## 7. Patentes existentes de máquinas expendedoras inversas

De 300 patentes encontradas a partir de 1997 a la fecha, relacionadas con RVM, el 4.66% de ellas habla específicamente de aplicaciones para dichas máquinas:

En **US6547055B2**, con fecha de llenado del 12 de febrero del 2001, la máquina contiene una estación de alimentación con una compuerta y una tolva que se alimenta por medio de la compuerta, la tolva tiene una boca principal que se encuentra abierta cuando la compuerta de la estación está abierta y cerrada a la par de la compuerta, la compuerta tiene una segunda boca la cual es más pequeña que la primera boca y la cual se mantiene abierta sin importar la posición de la compuerta. Así, la estación de alimentación está configurada para libremente recibir múltiples contenedores desorientados a través de la primera boca, cuando la compuerta está en posición de abierta y recibir contenedores a través de la segunda boca cuando la compuerta está en posición de cerrada. La máquina también incluye un mecanismo de avance para el contenedor con una rueda selectiva que transporta una pluralidad de elementos configurados para el paso a través de la tolva para capturar y mover los contenedores individualmente hasta una estación de descarga, donde, los contenedores son seleccionados y se descargan a un contenedor de almacenamiento de contenedores aceptados o a un puerto de rechazo de contenedores [40].

La **US5860503A**, con fecha de llenado del 3 de abril de 1997, plantea una RVM para botes vacíos, en la que una lata que es suministrada por un usuario es inspeccionada en una primera sección de la máquina en busca de características especiales, un bote no aceptado es devuelto al usuario mientras que un bote aceptado es alimentado a una segunda sección para descargarlo en un receptáculo, ya sea a través de una compactadora o trituradora. La

primera sección consiste en una guía que tiene un primer extremo para la inserción de la lata, un segundo extremo para la descarga de lata y una sección central parcialmente abierta. En el primer extremo se encuentra un detector de metales y en el segundo extremo se encuentra un segundo detector de metales. Hay un lector óptico a una distancia radial de la parte central y tiene un campo de detección que cubre al menos una parte de la porción central de las características del código de barras de las latas. En la sección central se encuentran eyectores para empujar una lata a través de la primera guía y hacia fuera a través del segundo extremo. Una unidad de control está conectada a los detectores de metal, el lector óptico, los eyectores y la unidad de control están diseñadas para determinar si los datos son legibles y si la lata es aceptable o no. Como consecuencia de dicha indicación, la unidad de control está diseñada para accionar los dispositivos eyectores para mover la lata en una dirección u otra. La segunda sección está equipada con un cuerpo de bloqueo para evitar que las latas que no sean aceptadas por la unidad de control sean transportadas de la primera sección a la segunda [41].

La **US5967330A**, con fecha de llenado de 26 de Octubre de 1998, propone un invento que se relaciona a un método de colección y depósito de botellas de plástico y aluminio en un solo contenedor en los centros de redención, un soplador, un abanico centrífugo y una tolva son usados para soplar los contenidos del depósito a un transportador como un semi-tráiler, una compactadora o algún otro vehículo. Alternativamente los botes pueden ser tirados directamente en una compactadora. Un transportador es usado para llevar los botes a una planta sorteadora que separa automáticamente el aluminio y el plástico. El material separado es llevado a una planta recicladora, eliminando la necesidad, a los distribuidores, de recoger sus botes de los centros de redención para llevarlos a los recicladores. Por lo tanto, el propósito de la invención es proporcionar un método mejorado para retirar y transportar recipientes de bebidas vacías de aluminio y plástico. Adicionalmente, elimina la necesidad de que los centros de redención tengan que ordenar los recipientes de bebida devueltos por tipo de material (aluminio y plástico). Todavía se requiere con respecto a la invención, eliminar la carga sobre los distribuidores de tener que recoger los envases de bebidas devueltos desde los centros de rescate, después tener que desmenuzar y picar los contenedores, y luego tratar de vender los materiales a los recicladores [42].

La **US7997417B2**, con fecha de llenado del 24 de enero del 2006, tiene como objeto principal satisfacer una necesidad de proporcionar una instalación automatizada mejorada para recoger objetos o artículos retornables, tales como artículos reciclables de plástico, metal o vidrio, ofreciendo

una instalación de bajo costo con un uso óptimo de espacio, puede estar disponible en casi todas partes como en tiendas pequeñas, tiendas de conveniencia, gasolineras locales y áreas públicas. Enfocando tales instalaciones a la conveniencia de los clientes [43].

En **DE202009002937U1**, con fecha de llenado del 2 de marzo del 2009, se mencionan los medios de aceptación para RVM para un cuerpo de revolución axialmente simétrico, tales como botellas o envases de bebidas en forma de latas, con una región de aceptación, este equipo está caracterizado porque el área de recepción tiene una parte de transporte y una parte giratoria [44].

En **US8851265B2**, con fecha de llenado del 5 de enero del 2011, plantea una RVM que acepta recipientes de bebidas no metálicas y metálicas para su procesamiento. Los contenedores de bebidas son insertados por el usuario en una rampa de admisión, donde son compactados, ordenados y depositados en recipientes de almacenamiento contenidos en la máquina. La máquina expendedora inversa ofrece una serie de funciones adicionales, incluyendo un sistema de auto limpieza, una pantalla de vídeo para mostrar información a los usuarios, un escáner de códigos de barras, un lector de ID de usuario y una impresora de cupones para emitir cupones a usuarios. Toda la información de la transacción es procesada por una computadora y almacenada electrónicamente. La invención devuelve automáticamente al usuario los contenedores y contenedores no vacíos con códigos de barras inaceptables o ilegibles. También se proporcionan mensajes de advertencia al usuario cuando los contenedores de almacenamiento están casi llenos, o cuando un contenedor está atascado en la máquina [45].

En **USD441023S1**, con fecha de llenado del 16 de agosto de 1999, se patenta el diseño ornamental para una RVM para envases vacíos de bebidas [46].

La **DE102006007875B3**, con fecha de llenado de 24 de enero del 2006, se refiere a un dispositivo para la distribución de recipientes especialmente botellas plásticas y/o latas en un recipiente. El dispositivo está provisto de un motor con un eje giratorio, al que está articulado un distribuidor en forma de arco, en el que el colector está soportado en su posición de reposo fuera del recipiente y en la posición de distribución, el movimiento pivotante se realiza por al menos una parte del volumen de material que se recibe [47].

La **US5695039A**, con fecha de llenado del 10 de enero de 1995, presenta un aparato y un método para determinar una característica de un material, tal como composición y/o color, tiene una fuente de radiación electromagnética

que tiene la capacidad de atravesar el material. Un procesador determina la característica del material basado en cambios en la radiación electromagnética causada por el paso a través del material. Los cambios en la radiación electromagnética incluyen cambios en la rotación. Adicionalmente, el procesador puede determinar qué radiación electromagnética, si la hay, ha sido bloqueada por el material y la amplitud de la radiación electromagnética que pasa a través del material [48].

En **US6199702B1**, con fecha de llenado del 11 de diciembre de 1998, se trata un método mejorado de remoción y transporte de botellas de plástico y aluminio que son regresados a los centros de redención sin que sea necesario por los centros de redención el clasificar los materiales. También muestra la gran carga impuesta en los distribuidores de recoger el material de los centros de redención, triturarlo o empacarlo para vender el material a las recicladoras. La invención comprende las etapas de recoger y depositar los recipientes de aluminio y plástico juntos en un compactador en las instalaciones del centro de redención. Transportar los contenedores de bebidas de aluminio y plástico compactados a una instalación de separación que separa automáticamente los envases de aluminio y plástico en materiales similares. A continuación, entregar a una instalación de reciclaje los recipientes de bebida separados, eliminando así la necesidad de que los distribuidores recojan sus recipientes de bebidas de los centros de rescate para ser entregados a los recicladores [49].

La **US20120029980A1**, con fecha de llenado del 28 de Julio del 2010, habla de un aparato en el que se recolectan, analizan, trituran, clasifican y almacenan materiales reciclables; muestra un contenido multimedia interactivo e imprimen cupones, el contenido multimedia se selecciona en base a la ubicación, el tipo de material, la información del usuario, las respuestas de los usuarios y otras variables. La información se almacena en la memoria; y se otorgan recompensas por proporcionar materiales reciclables en forma de puntos, cupones y/o dinero en efectivo [50].

La **US20040184651A1**, con fecha de llenado del 25 de marzo del 2004, consiste en un método de manejo de contenedores vacíos de bebidas que tienen propiedades diferentes en sus extremos. El método comprende el paso de mover el contenedor vacío (botella) de la entrada de una RVM a una salida de la misma, con una cámara se detecta el contenedor y como es introducido. Además, se determina si el recipiente se mueve a la zona de detección con su primer extremo primero o con su segundo extremo. Si el contenedor es suministrado a la zona de detección con su primer extremo, el contenedor es transportado a dicha salida. Sin embargo, si el contenedor es suministrado a la

zona de detección con su segundo extremo primero, entonces se hace que el recipiente sea devuelto a la entrada [51].

La **WO2004003830A1**, con fecha de llenado del 25 de junio del 2003, habla de un dispositivo para reconocer contenedores por medio de una marca en su superficie utilizando una cámara y emisiones de luz, estos están conectados a un procesador adaptado para el reconocimiento basado en una imagen de pregrabada de la marca. Para asegurar que la imagen tiene la calidad requerida para el reconocimiento del recipiente, el dispositivo consiste en una cámara y dos fuentes luminosas, estando las fuentes luminosas colocadas ya en un lado de la cámara o en a cada lado de la cámara, la luz emitida desde las respectivas fuentes de luz cae desde una dirección diferente con respecto a la marca, permitiendo a la cámara tomar dos imágenes de la marca usando la luz emitida. Alternativamente, los medios pueden consistir en dos cámaras y una fuente de luz, estando las cámaras colocadas de tal manera, ya sea en el mismo o en cada lado de la fuente de luz para que el eje óptico de la cámara caiga desde una dirección diferente a la marca, esto, para que las cámaras puedan tomar dos imágenes de la marca simultáneamente. En otra alternativa más, sólo se utiliza una cámara y una fuente de luz, en la que la cámara está dirigida hacia un conjunto de caras de espejo que están dispuestas en pares entre sí de tal manera que la cámara puede tomar simultáneamente dos imágenes especulares de direcciones diferentes en las caras del espejo adyacentes al eje óptico de la cámara [52].

Del total de registros de patentes revisadas, el 46% se encuentran expiradas, el 24% se encuentran abandonadas y el 30% restante se encuentran activas y forman parte del *Patent Cooperation Treaty*. Como se puede ver con estos porcentajes, la tecnología de máquinas expendedoras inversas está en pleno desarrollo con áreas de oportunidad aún por explorar.

## 8. Conclusiones

La intención del estado del arte presentado es mostrar los avances pertinentes a una nueva tecnología para el reciclado de desperdicios. Si bien es cierto que el mercado es amplio, el panorama por cambiar la cultura de la sociedad ante la problemática de la contaminación se torna complejo. El problema de causa raíz puede ser en cierto sentido la falta de sensibilización por el cuidado del medio ambiente. Durante años se ha explicado a la población cómo cuidar el planeta, las medidas preventivas para el mismo y los riesgos potenciales que se generan por no disponer apropiadamente. El reciclado surge como medida

de contención hacia el uso creciente, y de alguna manera exagerado, de productos para la vida diaria. Lamentablemente, el impulsar campañas por dejar de consumir productos es irracional e ilógico en esta época y por consiguiente se tienen que encontrar medidas alternativas para fomentar y persuadir el espíritu ecológico. Actualmente se paga a las personas por reciclar, pero eso no es lo interesante, sino todos los harían. Lo interesante de esta tecnología es que, de alguna manera, lo divertido de interactuar con algo que te genere una emoción por reciclar es muy original, y en muchos casos se valora la experiencia con un servicio propuesto que la simple remuneración económica, se cree firmemente que este es el camino correcto para inspirar a las personas a generar ideas creativas para reciclar los desperdicios y a limpiar el mundo.

## 9. Referencias

- [1] Christensen, T. H. (2011). Solid waste technology management. Wiley.
- [2] NTR. (2015, Enero 14). En México se recicla 15% anual de 800 mil toneladas de PET.
- [3] Alberto Barbieri. "Un continente flotante de basura". A fondo, la vanguardia. 10/06/2016 <http://www.lavanguardia.com/natural/20160609/402387225954/isla-basura-pacifico.html>
- [4] [4]SEMARNAT, Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo, [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio\\_2016/archivos/01\\_rsu/D3\\_RSM01\\_03.pdf](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2016/archivos/01_rsu/D3_RSM01_03.pdf)
- [5] Manuel, V. (2011). Los caminos del reciclaje. nuevos emprendimientos editoriales s.l.
- [6] América Latina muestra avances en reciclaje de plásticos: Casos de éxito. Revista: Tecnología del plástico. Edición 2/ Vol. 28/ Abril-Mayo 2013.
- [7] Jefferson Hopewell, R. D. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. Philosophical Transactions of the Royal Society B.
- [8] Pérez, J. P. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. Comercio Exterior.
- [9] Conde, M. (2012). Presente futuro de la industria en México. LinkedIn. Retrieved from <https://es.slideshare.net/josse-anlo/mercado-plsticos-2012-1/13>
- [10] Yucatán, D. d. (2014). México, segundo consumidor de PET en el mundo. Diario de Yucatán. <http://yucatan.com.mx/mexico/medio-ambiente/mexico-segundo-consumidor-de-pet-en-el-mundo>
- [11] National association for PET container resources o NAPCOR (1997). <https://napcor.com>
- [12] [Wena, H. Z.-G. (2013). The consumption and recycling collection system of PET bottles: A case. elsevier.
- [13] El reverse-vending: una propuesta empresarial para el impulso del reciclaje. Yaiza Alfonso Rodríguez. San Cristóbal de la laguna, a 7 de julio de 2016. Memoria del trabajo de fin de grado. Facultad de economía, empresa y turismo grado en contabilidad y finanzas. Curso académico 2015/2016.
- [14] Development of a microcontroller-based solar-powered reversed vending machine for the potential application on Barangays in the Philippines. ENGR. Angelo Jerome Asia Exito. national university – Manila, Philippines. Presented during the IIEE Philippines annual national convention 2015. November 25, 2015 SMX convention center, Pasay City, Metro Manila, Philippines.
- [15] A new approach in manufacturing of reverse vending machine. M Balubai<sup>1</sup>, VamsikiranSure<sup>2</sup>, V Manil Reddy<sup>3</sup>, Sai Reddy Gowtham<sup>4</sup>, Dr.Ram.Subbiah<sup>5</sup>. International journal of advanced engineering, management and Science (IJAEMS). [Vol-3, Issue-7, July- 2017]. ISSN: 2454-1311. <https://dx.doi.org/10.24001/ijaems.3.7.5>
- [16] An investigation of the usability of sound recognition for source separation of packaging wastes in reverse vending machines. M. Kemal Korucu a,fl, Özgür Kaplan b, Osman Büyük c, M. Kemal Güllü c. Received 2 November 2015. Revised 26 may 2016. accepted 23 June 2016. available online 1 July 2016. waste management. Waste Management 56 (2016) 46–52. ELSEVIER.
- [17] Diseño y construcción de un prototipo de máquina vending inversa para la aceptación, compactación y almacenamiento de botellas PET de 250 a 3000cm<sup>3</sup> para Serpra CÍA. LTDA. Pablo Alejandro Del Hierro Calvachi, Rubén Emiliano Albán Naranjo. departamento de energía y mecánica - carrera de ingeniería mecatrónica. escuela Politécnica del Ejército. Marzo-2013. Av. el Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador.
- [18] ARU sustainability case study. waste and recycling. Anglia Ruskin University. estates & facilities environment team.
- [19] Plan de negocios: reverse vending recycle. Erwin Andres Oehrens Baquedano. Seminario para optar al título profesional de ingeniero comercial mención administración de empresas. Universidad de Chile. Facultad de economía y negocios departamento de administración. Santiago, Chile. Julio 2016.
- [20] ReVa - Reverse vending machines at AUB. new redemption scheme – GMI project. ehsc@aub.edu.lb
- [21] Reverse vending machine trial. project evaluation report. Sydney2030/Green/Global/Connected.

- [22] Wincor nixdorf. reverse vending and retail: the perfect match. German Business Delegation to Bulgaria. Wincor Nixdorf Technology GmbH 9th – 12th of November 2010 by Radu Banciu. Senior Sales Manager Reverse Vending Solutions.
- [23] [The study of beverage container recycling process and potential market for reverse vending machine (RVM) in JAPAN. Research report. submitted to the graduate school of Asia Pacific studies in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in international cooperation policy. Tang Fu-lun [id: 51209657]. Japan-Germany dual master’s degree program international material flow management Ritsumeikan Asia Pacific University 2011.
- [24] El reverse-vending: una propuesta empresarial para el impulso del reciclaje. Memoria del trabajo de fin de grado. Yaiza Alfonso Rodríguez. Arinegua Martín García. Noelia Quintero Ramos. Facultad de economía, empresa y turismo grado en contabilidad y finanzas curso académico 2015/2016. San Cristóbal de La Laguna, a 7 de julio de 2016.
- [25] Machine vision system for a reverse vending machine. Jere Liukkonen. School of Electrical Engineering. Thesis submitted for examination for the degree of Master of Science in Technology. Espoo 15.10.2015.
- [26] Smart recycle and reward bin. Melissa Lim Siew Sean. A project report submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of the degree of Bachelor (Hons.) of Electronic Engineering. Faculty of Engineering and Science Universiti Tunku Abdul Rahman. May 2011.
- [27] AB latour, capital markets day 21 may 2012. Stefan Ranstrand. president/ceo.tomra systems asa oslo 21 may 2012.
- [28] A new media for branding and advertising. AVERDA. RVM Head Office averda Building, Second Floor Dubai Knowledge Village, Dubai, UAET +971 4 4497500 F +971 4 4341718 PO Box 38180, Dubai, UAE E rvm@averda.com
- [29] Returpack’s Recycling System. Recycling. Budapest, Hungary. Mr Lajos Benkő. General Manager Returpack. www.returpack.hu/en
- [30] Presentation: Welcome Dansk Retursystem A/S. The Danish deposit and return system. Reverse vending.
- [31] From where. the packaging professional September/October 2006. Stephen Hall is the CEO of Reverse Vending Corporation. E-mail: stephen@reversevending.co.uk. Website: www.revend.co.uk.
- [32] Reverse Vending Machine for PET bottles, Cans. Eco-Creation. Company/Factory: 32-1 Wonchang-Ro, Seo-gu Incheon, South Korea 404-210, Tel +82-32-583-0003 Fax +82-32-579-7372 www.ecocreation-in.com E-mail:eco@ecocreation-in.com
- [33] Case study: Keele University. WRAP. www.wrap.org.uk/rotgengland. waste & resources action programme helpline freephone: 0808 100 2040. E-mail: info@wrap.org.uk
- [34] ¿Como funciona?, 2017, <http://www.biobox.com.mx/>
- [35] Development of reverse vending machine (rvm) framework for implementation to a standard recycle bin. Razali Tomari a,\* , Aeslina Abdul Kadirb, Wan Nurshazwani et al. Faculty of electrical & electronic engineering, university Tun Hussein Onn Malaysia, Parit Raja Batu Pahat 86400, Malaysia. 2016 IEEE International symposium on robotics and intelligent sensors (IRIS 2016). Procedia computer science 105 ( 2017 ) 75 – 80.
- [36] “Diseño y construcción de un prototipo de máquina recicladora de botellas plásticas PET de 400 a 500 ml y latas de aluminio de 330 a 350 ml”. Diego Fabricio Sandoval Escobar. Carrera de ingeniería mecánica. Sangolquí – ecuador. 07 de Diciembre del 2011.
- [37] Hardware based design and implementation of a bottle recycling machine using FPGA. Maofic Farhan Karin. Department of electrical & computer engineering North South University. Dhaka, Bangladesh. 2016 IEEE Conference on systems, process and control (ICSPC 2016), 16–18 December 2016, Melaka, Malaysia.
- [38] Rediseño e implementación de la máquina expendedora inversa (RVM) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET para la facultad de mecánica”. Cardoso Totoy Diego Marcelo Vizcaíno Salazar Holger Marcelo. Trabajo de titulación previa a la obtención del Título de: ingeniero mecánico riobamba – ecuador 2015.
- [39] Property, W. I. (2017). Learning course on intellectual property (IP). WIPO.
- [40] US6547055B2, Reverse vending machine. John A. Coyne Stuart R. Aldrich Griffin S. Hampson Kris M. Kiva, TOMRA, 2001/02/12.
- [41] US5860503A, Reverse vending apparatus, Terje Hanserud Kristian Holmen Andreas Nordbryhn, TOMRA, 1997/03/04.
- [42] US5967330A, Methods of separating metal cans and plastic bottles, Jeffrey J. Buer, GREENSTAR MID-AMERICA, LLC MidAmerica Recycling Co, 1998/10/26.
- [43] US7997417B2, Means in a reverse vending machine (RVM) for receiving, handling, sorting and storing returnable items or objects, Geir Saether, Tomra Systems ASA, 2006/01/24.
- [44] DE202009002937U1, Acceptor for reverse vending machines for at least substantially axially symmetrical body of revolution, TRAUTWEIN SB-TECHNIK GMBH, DE, 2009/03/02.

- [45] US8851265B2, Reverse vending machine, Kazuo Morishita Daniel Chung, RecycleTech Corp, 2011/01/15.
- [46] USD441023S1, Reverse vending machine for empty beverage containers, Jukka Vaajakallio, Tomra Systems Oy, 1999/08/16.
- [47] DE102006007875B3, Klaus Almeroth, Wincor Nixdorf International GmbH, 2006/01/24.
- [48] US5695039A, Rusty Driscoll Ken R. Powell, ARK CLO 2000-1, limited environmental products corp , 1995/01/10.
- [49] US6199702B1, Jeffrey J. Buer, Greenstar mid-america, LLC MidAmerica recycling Co., 1998/12/11.
- [50] US20120029980A1, Shlomo Paz Alan Pollak, Incentivend media LLC, 2010/07/28.
- [51] US20040184651A1, Method and return vending machine device for handling empty beverage containers, Andreas Nordbryhn Tom Steidel Lennart Flem, Tomra Systems ASA, 2004/03/25.
- [52] WO2004003830A1, Device for recognizing containers, Ronald Sivertsen Mats Carlin Fismen Britta Grennberg Ib-Rune Johansen, Tomra Systems Asa, 2003/06/25.

# Estandarización de métodos de medición en las áreas de inspección de recibo, moldeo y troquelado

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

José Trinidad Emiliano Silos

Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Francisco Durán Hernández

Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

José G. Terrones Lucero

Intermatic S.A. de C.V., Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

---

**Resumen:** En este documento se presenta la aplicación de métodos estandarizados para la medición de componentes de plástico y metal con los equipos adecuados en las áreas de inspección de recibo, moldeo y troquelado de la empresa Intermatic S.A de C.V, con el objetivo de reducir los rechazos de piezas ya aprobadas por el departamento de inspección de recibos en revisiones subsecuentes. La empresa ha notado que el porcentaje de rechazos por doble inspección en las áreas mencionadas es de 70% lo que es equivalente a un costo elevado para la empresa. El documento trata sobre el ahorro que se genera al estandarizar los métodos de medición para este tipo de materiales en diferentes números de parte, ya que las variaciones en las dimensiones por utilizar diferentes equipos y métodos son altas. La propuesta surgió por los nuevos proyectos, que llevó al aumento en la adquisición de diferentes moldes y troqueles para la producción de diferentes productos, con el aumento de la cantidad de piezas desperdiciadas en las validaciones de las herramientas, con el consiguiente aumento del número de alertas rojas o problemas de calidad. Se presenta también la realización de un plan de control donde especifica las dimensiones críticas y el equipo adecuado para la medición, también presenta los resultados de los estudios Gage R&R, realizados con los técnicos e inspectores de las diferentes áreas, para comprobar que el cambio propuesto ayudara a que se reduzca la probabilidad de rechazos por doble inspección, reducir las modificaciones a moldes y troqueles por mala inspección y contribuir a no generar retrasos en la entrega de proyectos, los ahorros económicos de la empresa serán de gran importancia al estandarizar y reducir la frecuencia de rechazos.

**Palabras clave:** Estandarización, equipos de medición, reducción de doble validación, Gage R&R y plan de control.

---

## 1. Introducción

La fabricación de piezas metálicas con máquinas troqueladoras es uno de los procesos con menor variación dentro de sus parámetros ya que la programación por CNC, ayuda a mantener un mejor control de las variables a diferencia de las máquinas moldeadoras de plástico, las cuales cuentan con mayor variación en sus parámetros debido a todas las funciones que interactúan entre sí, haciendo muy difícil controlar las dimensiones de las piezas ya moldeadas. El producto que se fabrica cuenta con estos tipos de materiales, los cuales al estar ensamblados pueden generar una falla, que puede ser el detonante del no cumplimiento de las expectativas del cliente.

El plástico hoy en día ha ido sustituyendo la utilización de otros tipos de materiales como lo son los metales, madera, piedra, barro,..., trascendiendo en cualquier área ya sea industrial, mecánica, aeroespacial, medica entre otras, esto debido a que el plástico cuenta con los estándares de calidad que se requieren dentro del mercado, bajo costo, mayor durabilidad, versatilidad y por sus propiedades químicas estas son las que lo hacen que compita en los diferentes procesos de producción que existen alrededor del mundo.

La compañía Intermatic S.A. de C.V., donde se desarrolla la investigación quien ha sido líder mundial en las soluciones de ahorro de energía desde 1891, esta compañía se ha

dedicado al desarrollo y a la manufactura de productos de calidad. A su vez se ha preocupado por la innovación de sus productos ya que ha ido creciendo a la par de la tecnología.

La compañía ha extendido sus productos ofreciendo una mayor variedad de opciones a sus clientes para un buen control de energía, como los son sensores de presencia, foto controles, cubiertas resistentes a la intemperie y protectores de sobre cargas. La mayoría de los productos que se fabrican en esta compañía son de plástico, es por eso que se requiere estandarizar los métodos de medición en cada una de las áreas.

## 2. Problemática

En la empresa Intermatic S.A. de C.V., se procesan diferentes números de parte de plástico y metal los cuales tienen diferentes especificaciones, por lo que es necesario realizar un plan de control para cada producto con especificaciones de cuales medidas son críticas o que afectan la funcionalidad del ensamble o producto y el método de medición con el equipo correcto. Ya que cada área dispone de los mismos instrumentos, pero no tienen un método definido que especifique que dimensionar; al no contar con un plan de control los inspectores y técnicos toman dimensiones diferentes creando confusión y rechazando partes que el otro ya había aceptado, lo cual genera paros de líneas, retrabajos e inspecciones adicionales. Ya que el desperdicio de materia prima y modificaciones a moldes son costosos. Con ayuda del Gage R&R se pretende determinar la magnitud de la variabilidad existente actualmente y aplicando un método de colecta de datos, con esto se tomará la decisión de implementar o no el método tomando en cuenta la confiabilidad de los equipos.

## 3. Marco teórico

Escalante Vasquez (2009) define el Gage R&R, como medias y rangos o métodos a largo plazo y presenta las siguientes conceptualizaciones:

- **Repetibilidad:** Es la variación interna (pieza, instrumento, método, ...) del sistema de medición en las mediciones hechas por un solo operador en la misma pieza y con el mismo instrumento de medición. Se define como la variación alrededor de la media. Esta variación debe ser pequeña con respecto a las especificaciones y a la variación del proceso.
- **Reproducibilidad:** Es la variación entre sistemas métodos, equipos, piezas, ..., entre las medias de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición.

El estudio de Gage R&R dentro del sistema de medición permitirá investigar si la variabilidad del sistema de medición es pequeña en comparación con la variabilidad del proceso, a su vez permitirá saber cuánta de esta variabilidad es causada por diferencias entre operadores y por último si el sistema de medición es capaz de distinguir entre partes diferentes.

Los pasos para la realización del estudio de Gage R&R según Escalante Vasquez (2009) son:

- Calibrar el instrumento con el que se realizarán las mediciones.
- Seleccionar  $p=3$  operarios que midan por  $r=3$  veces las mismas  $n=10$  piezas donde  $n>5$ , numeradas en orden aleatorio. Se desea que  $np$  sea  $>15$  para calcular  $K1$  como  $1/d2$ , y en general obtener más observaciones.
- Seleccionar las piezas que cubran todo el rango de la variación de la especificación, incluyendo algunas fuera de ella.
- Llenar el formato de Gage R&R o utilizar software estadístico.

Si la repetibilidad es grande comparada con la reproducibilidad, las razones posibles son:

- a) El calibrador requiere mantenimiento.
- b) El calibrador debería ser rediseñado para ser más rígido.
- c) Se debe mejorar el método de sujeción o localización de la pieza.
- d) Existe mucha variación interna en las piezas.

Si la reproducibilidad es mayor comparada con la repetibilidad, las causas posibles son:

- a) El operario necesita entrenamiento con el uso del calibrador.
- b) Las calibraciones en la escala del instrumento no son claras.
- c) Tal vez sea necesario usar algún dispositivo de fijación del calibrador, para que el operario lo pueda utilizarlo con más facilidad.

La importancia de mantener los equipos de medición calibrados, radica en que permite obtener datos más exactos o reales, ya que la única forma de saber si la lectura es correcta es saber si con el instrumento con el que se realizaron las mediciones está calibrado, contra un patrón de referencias reconocido y trazable a patrones nacionales o internacionales, utilizados para determinar el error de los instrumentos, así como otras variables que pueden afectar al sistema de medición, como lo son una mala instalación, contaminación, daños físicos o derivada en el tiempo que afectan la repetibilidad del proceso.

**3.1. Evaluación de la conformidad**

La norma ISO 14253-1 trata sobre las reglas para probar la conformidad o no conformidad con especificaciones, describe el criterio para determinar la conformidad o no conformidad de los resultados de la medición y/o calibración de los instrumentos con respecto a los errores máximos tolerados.

De acuerdo con las directrices de la AIAG (2010), si la variación del sistema de medición es inferior al 10% de la variación del proceso, entonces puede concluirse que el sistema de medición es aceptable. Para evaluar la variación del proceso se tiene que comparar la contribución del R&R total del sistema de medición, la Tabla 1 presenta el criterio de aceptabilidad para dicha comparación.

Tabla 1. Porcentaje de variación del proceso.

Porcentaje de variación del proceso	Aceptabilidad
Menos de 10%	El sistema de medición es aceptable.
Entre 10% y 30%	El sistema de medición es aceptable dependiendo de la aplicación, el costo del dispositivo de medición u otros.
Más de 30%	El sistema de medición no es aceptable y debe ser mejorado.

Según Alonso (2001) un intervalo de confianza es un rango de valores, derivado de los estadísticos de la muestra, que posiblemente incluya el valor de un parámetro de población desconocido. Debido a su naturaleza aleatoria, es poco probable que dos muestras de una población en particular generen intervalos de confianza idénticos. Sin embargo, si se repitieran muchas veces la muestra, un determinado porcentaje de los intervalos de confianza resultantes incluiría el parámetro de población desconocido.

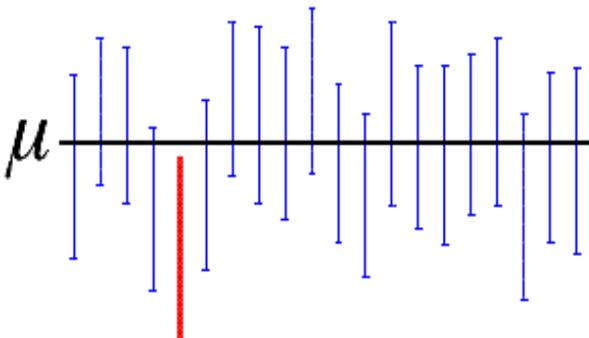


Figura 1. Intervalo de confianza.

En este caso, la línea negra horizontal representa el valor fijo de la media desconocida de la población,  $\mu$ . Los intervalos de confianza azules verticales que se superponen a la línea horizontal contienen el valor de la media de la población. El

intervalo de confianza rojo que está completamente por debajo de la línea horizontal no lo contiene. Un intervalo de confianza de 95% indica que 19 de 20 muestras (95%) de la misma población generarán intervalos de confianza que contendrán el parámetro de población.

El intervalo de confianza se determina calculando una estimación de punto y luego determinando su margen de error.

Mientras mayor sea el margen de error, más ancho será el intervalo y menos seguro se podrá estar del valor de la estimación de punto.

**4. Desarrollo**

**4.1. Condición actual**

En las diferentes áreas, no se cuenta con un método estándar lo cual dificulta las actividades a realizar, cuando ingresa un nuevo proyecto a la empresa, de las que se derivan una cantidad considerable de diferentes números de parte, de los cuales se tienen que dimensionar y generar los reportes de aprobación llamados PPAP, para poder generar estos documentos es necesario dimensionar las partes de acuerdo a lo especificado en un plano, el cual requiere un formato estándar o plan de control, con el que no se cuenta, haciendo para el técnico muy difícil determinar cuál dimensión considerar como crítica, asimismo al no realizar las mediciones con la misma metodología/método/equipo se corre el riesgo que el siguiente técnico que valla a realizar la próxima revisión, obtenga datos poco confiables por medición errónea, ya que el utilizará otra metodología/método/equipo de medición distinto a la primer dimensión.

Al realizar diferentes métodos para obtener dimensiones, se está cometiendo un error grande ya que los rechazos por revisiones subsecuentes, modificaciones a moldes y troqueles va en aumento dentro de la empresa lo cual genera altas perdidas de dinero, ya que el material que se había aceptado como bueno en la validación de primeras muestras y liberado para su producción en masa, realmente está fuera de especificación y está provocando una serie de quejas, esto en el peor de los casos, en caso contrario se rechazan piezas buenas para su uso dentro de las diferentes áreas de las que se abastecen de este tipo de materiales.

En la Figura 2 se muestra la comparación de las diferentes áreas de producción, la cantidad de desperdicios generados en el año 2015, a consecuencia de los problemas de calidad.

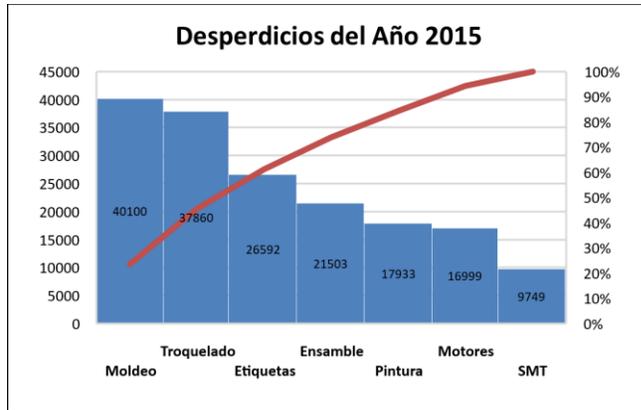


Figura 2. muestra el costo de los desperdicios en el año 2015.

Los datos indican que hay un problema en el área de moldeo y troquelado, los cuales una vez analizados por un equipo multidisciplinario, se determinó que los principales causantes son los problemas de calidad con los materiales que se tienen que tirar o realizar algún tipo de retrabajo para su uso adecuado o que cumplan con las especificaciones indicadas.

Este documento tiene como objetivo reducir estos altos costos de desperdicios generados, por lo que nos enfocaremos en estandarizar los métodos por medio de control plan para reducir la variación de métodos de medición.

#### 4.2. Propuesta

Se propone realizar planes de control que incluyan las dimensiones que se especifiquen como críticas en el plano o que puedan afectar la interacción o funcionalidad de la pieza ya ensamblada, también especificarán con que instrumento de medición se debe realizar el estudio de Gage R&R. Así como también se propone realizar una base de datos en la red, para introducir los números de parte de cada área ya sea de moldeo o troquelado, estos estudios serán realizados en inspección de recibo ya que hay es donde se revisan por primera vez los diferentes números de parte. Esto con el objetivo de que las piezas sean revisadas de la misma manera que se hizo en inspección de recibo. Lo cual generará menor confusión o variación en la toma de datos, para ello es necesario realizar un entrenamiento básico a los diferentes técnicos en el uso de los instrumentos de medición y en el método.

### 5. Implementación

Para realizar este proyecto fue necesario llevar a cabo una revisión y análisis de un Gage R&R, el cual ayudará a reconocer los problemas en los métodos de medición en diferentes técnicos e inspectores de cada área y poder

decidir cuál es la forma correcta de realizar las mediciones para los distintos números de parte.

Referente a la confiabilidad de cada equipo de medición de uso general, se analizaron los alcances y limitaciones de cada equipo, los métodos de prueba establecidos para entender las comparaciones de las diferentes capacidades, de tal forma que el cambio en el sistema de medición no tuviera un impacto negativo para la empresa y permitiera generar un ahorro en los costos de doble revisión, costo de materiales y reducción de desperdicios.

Se realizará una recopilación de datos que permita ver la variación en el método de medición, la cual ayudará a determinar si es necesaria la implementación de algún método y establecerlo en el sistema interno. Esta recopilación se llevará a cabo con tres técnicos, uno de cada área, y se les pedirá que se tome una dimensión en específico, se les pedirá que la dimensionen con diferentes equipos o como a criterio les parezca que es la forma adecuada, esto con el fin de observar la diferencia en el método. Las dimensiones se tomarán en piezas con orden aleatorio para obtener la distribución de los datos y poder así generar el Gage R&R.

En esta ocasión se dimensionará un diámetro interno de la pieza 023500786 el cual debe medir de acuerdo con la especificación del plano 3.04mm con una tolerancia de  $\pm 0.015\text{mm}$ , se ha elegido este debido a las constantes quejas de cliente, ya que al interactuar con las demás piezas mecánicamente no funciona, se sospecha que el orificio es de diámetro menor al especificado.

En la Figura 3 se observa la estructura del estudio de Gage R&R, según inspección de recibo, el diámetro del agujero de la carcasa donde está montado el embrague es de 2.98mm  $\sim$  2.99mm y según moldeo es 3.04mm. Ambas dimensiones están fuera de especificación, la especificación del agujero es 3.04mm  $\pm 0.015\text{mm}$  (de 3.025mm a 3.055mm).

Debido la variación de dimensión entre inspección y moldeo se realizó un Gage R&R para validar a moldeo y un MSA (análisis de sistemas de medición). El Gage R&R se realizó con 3 técnicos de departamento, cada operador mide en orden aleatorio y cada parte es registrada en dos ocasiones. Se utilizaron 10 partes. Asimismo, se realizó una medición por personal de ingeniería como medida de control.

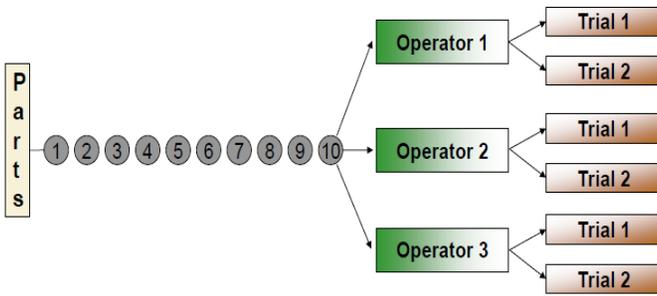


Figura 3. Plan de medición.

Las piezas a dimensionar por los diferentes técnicos fueron seleccionadas aleatoriamente y dimensionadas en dos ocasiones. Sin que estos conocieran cual era la pieza que estaban midiendo, con el objetivo de obtener datos más reales, los datos obtenidos son desplegados en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del estudio.

Pieza	Operador	Respuesta Replica 1	Respuesta Replica 2
1	Operador 1	3.01mm	3.01mm
2	Operador 1	3.01mm	3.00mm
3	Operador 1	3.02mm	3.01mm
4	Operador 1	3.03mm	3.03mm
5	Operador 1	3.05mm	3.04mm
6	Operador 1	3.02mm	3.01mm
7	Operador 1	3.03mm	3.03mm
8	Operador 1	3.01mm	3.03mm
9	Operador 1	3.02mm	3.01mm
10	Operador 1	3.00mm	3.04mm
1	Operador 2	3.00mm	3.00mm
2	Operador 2	3.00mm	3.01mm
3	Operador 2	3.00mm	3.01mm
4	Operador 2	3.02mm	3.03mm
5	Operador 2	3.04mm	3.05mm
6	Operador 2	3.00mm	3.01mm
7	Operador 2	3.02mm	3.03mm
8	Operador 2	3.00mm	3.00mm
9	Operador 2	3.00mm	3.01mm
10	Operador 2	3.04mm	3.04mm
1	Operador 3	3.01mm	3.01mm
2	Operador 3	3.01mm	3.01mm
3	Operador 3	3.02mm	3.02mm
4	Operador 3	3.03mm	3.03mm
5	Operador 3	3.05mm	3.05mm
6	Operador 3	3.01mm	3.01mm
7	Operador 3	3.03mm	3.03mm
8	Operador 3	3.01mm	3.01mm
9	Operador 3	3.02mm	3.01mm
10	Operador 3	3.04mm	3.04mm

Las dimensiones registradas en la Tabla 2 fueron capturadas en el software Minitab para análisis, la Figura 4 presenta los resultados obtenidos.

En dicha Figura 4 se observa que la contribución que se obtuvo al capturar los datos es mayor al porcentaje aceptable utilizado por la empresa (Tabla 3), de igual manera se muestra el estudio de varianza el cual se determina como marginal de acuerdo con la Tabla 3.

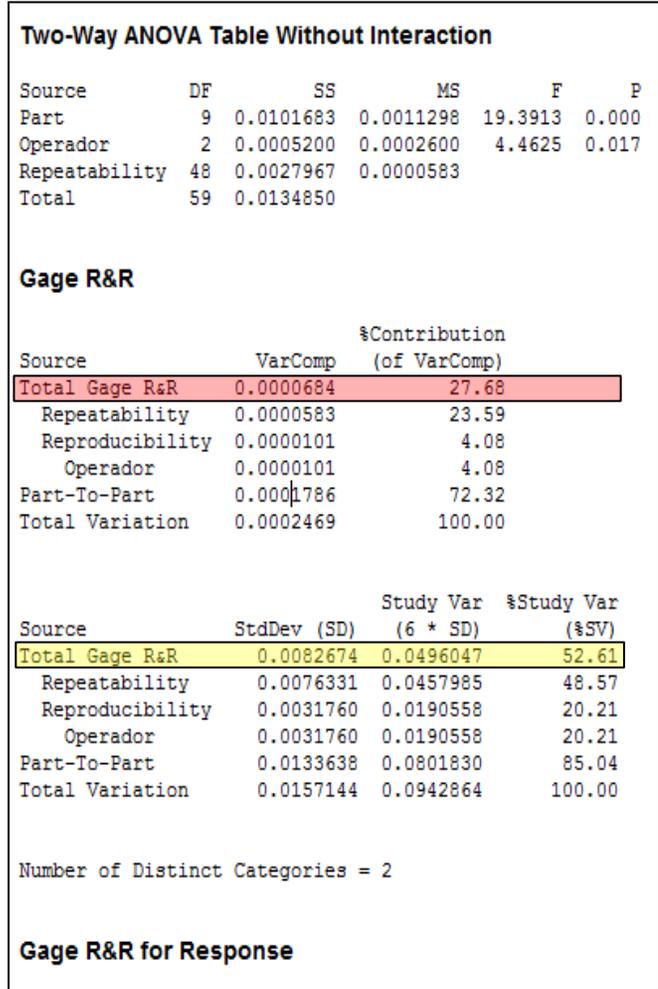


Figura 4. Contribución y el estudio de varianza.

Tabla 3. Porcentajes obtenidos en el estudio.

% Tolerance or % Study Variance	% Contribution	System is...
10% or less	1% or less	Ideal
10% - 20%	1% - 4%	Acceptable
20% - 30%	5% - 9%	Marginal
30% or greater	10% or greater	Poor

Los porcentajes que se muestran en la Tabla 3 indican que nuestro método de medición es pobre ya que rebasan los límites permisibles de tolerancia. El estudio de varianza indica el porcentaje de variación, el cual es muy importante en el estudio ya que ayuda a determinar en qué estado se encuentra nuestro método de medición.

En cuanto al número de categorías, la Figura 5 presenta una ayuda visual que permite verificar si el número de categorías es aceptable o inaceptable para fines del estudio.

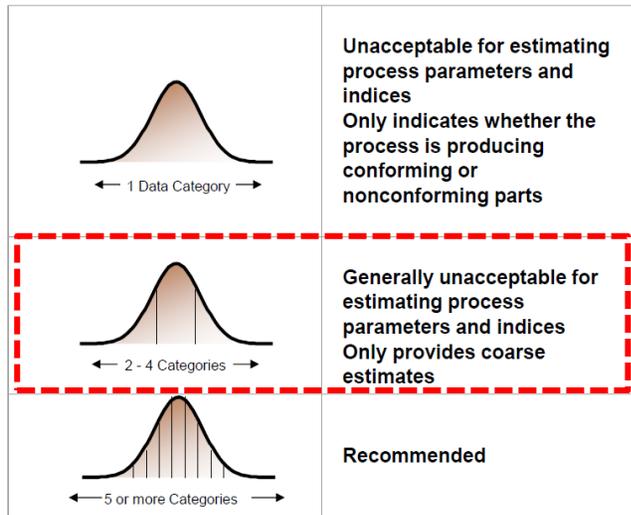


Figura 5. Muestra el resultado del número de categorías distintas.

Este número determina el número de intervalos de confianza que se traslapan y que abarcan el rango de variación del producto. También se puede considerar como el número de grupos dentro de los datos de proceso que pudieran discernir de nuestro método de medición.

Debido a que se midieron 10 piezas por diferentes personas, el obtener un bajo número de categorías significa que alguna de esas 10 piezas no son lo suficientemente diferentes para que se puedan decir que son distintas, en el método de medición. Si se deseara distinguir un número mayor de categorías distintas, se necesitaría un método de medición más preciso (que detecte de forma más eficiente la variabilidad).

Cuando el número de categorías distintas es igual a 2, el método de medición no es útil para efecto de toma de decisiones para un control en el proceso. Por lo que se requiere utilizar un nuevo método el cual defina de manera clara el instrumento y la dimensión. Cuando existen de 2-3 grupos, se puede utilizar el método de medición, pero solo para decisiones de atributos (go/no go).

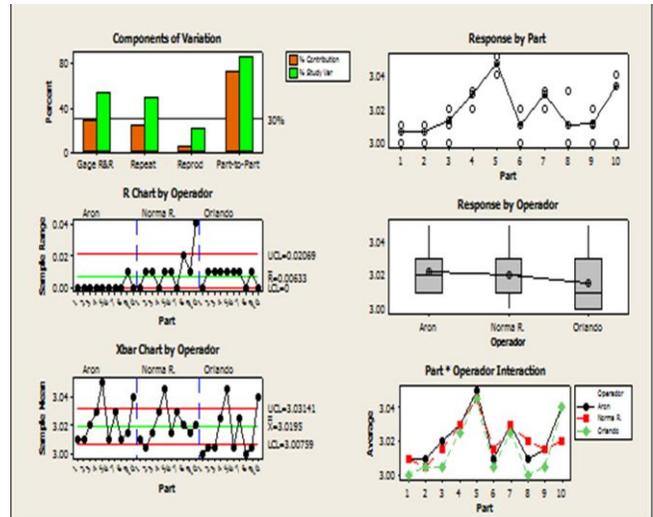


Figura 6. Gráficas del estudio de Gage R&R.

La Figura 6 indica que los resultados del análisis tienen un alto porcentaje de variación. En la gráfica de *Components of Variations* los resultados indican que se está rompiendo el sistema de medición. En un sistema bueno de medida, el componente más grande es la variación de *Pieza a Pieza* y *Gage R&R*, *Repetibilidad* y *Reproducibilidad* debe ser valores bajos.

*R Chart by Operator*, indica que en los puntos trazados está la diferencia entre las mediciones más grandes y más pequeñas en cada parte de cada operador. La línea central es la media del proceso y los límites de control representan la cantidad de variación esperada para los rangos de subgrupos. Si cualquiera de los puntos en el gráfico está sobre el límite de control superior (UCL), es indicativo que el operador está teniendo problemas constantemente en la medición de piezas.

*Xbar Chart by Operator*, compara la variación de parte a parte a la capacidad de repetición. Los puntos trazados son la medición promedio de cada parte para cada operador y la línea central es la media general de todas las medidas de parte de todos los operadores. La falta de control existe cuando varios puntos están por encima del límite de control superior o por debajo del límite inferior de control.

*Response by Part*, diagrama de interacción que muestra las medidas promedio de cada operador en cada parte en el estudio, por parte.

*Response by Operator*, este gráfico ayuda a determinar si las medidas de variabilidad son coherentes a través del operador. Las cajas representan las mediciones, los símbolos de la cruz y el círculo representa las medias.

*Part \* Operator Interaction*, analiza todas las medidas tomadas en el estudio por parte del operador. Las medidas están representadas por puntos y las medias con el símbolo del círculo cruzado.

### 6. Resultados

Los resultados obtenidos en el estudio de Gage R&R fueron los siguientes: La variación total del Gage R&R obtenido fue de 52.61%, el porcentaje máximo aceptable es 30%, el resultado no es aceptable; asimismo el porcentaje total de la contribución obtenido es de 27.68%, siendo de 9% el porcentaje máximo aceptable.

El número de categorías obtenido es 2, lo cual es no aceptable ya que el mínimo aceptable es de 5, este valor bajo es debido a los valores fuera de los límites de control observados en el gráfico X-R de los operadores.

En conclusión, el estudio Gage R&R no se acepta y debe mejorarse el MSA. El Gage R&R se realizó midiendo el agujero bajo la especificación  $3.04\text{mm} \pm 0.015\text{mm}$ , pero este agujero tiene una rebaba que puede contribuir con el mal resultado obtenido, se le informó al departamento de moldeo y ellos van a verificar la causa raíz de la rebaba para eliminarlo, posteriormente se realizará un nuevo estudio.

Se realizó el control plan con el objetivo de estandarizar el método de medición, los resultados al utilizarlo fueron que los técnicos obtenían los mismos datos que el de otro departamento ya que se le especifica con que instrumento y cual dimensión debe ser tomada.

Las liberaciones de primeras muestras, para los diferentes proyectos, serán realizadas en menor tiempo puesto que al especificar qué datos son los requeridos, los técnicos de las diferentes áreas tendrán un menor tiempo para dimensionar ya que no perderán tiempo en decidir cuál dimensión tomar y con qué instrumento.

Además, se realizará un comparativo con los desperdicios del año anterior, para verificar la reducción de desperdicios generados en las áreas de moldeo y troquelado específicamente, ya que el objetivo es también contribuir en la reducción de desperdicios, bajo el supuesto de que al estandarizar los métodos de medición se disminuyen los rechazos de piezas por doble revisión.

Production Part Approval -													
Dimensional Results													
ORGANIZATION: INTERMATIC JUAREZ PLANT SUPPLIER/VENDOR CODE: INTERMATIC JUAREZ INSPECTION FACILITY: TECNICO 1					PART NUMBER: 03580786 PART NAME: HSG BASE DESIGN RECORD CHANGE LEVEL: REV B ENGINEERING CHANGE DOCUMENTS:								
ITEM	DIMENSION / SPECIFICATION	SPECIFICATION / LIMITS	HOW MEASURED	TEST DATE	QTY TESTED	ORGANIZATION MEASUREMENT RESULT					OK	NOT OK	
						1	2	3	4	5			
1	3.04		PIN GAGE	1/5/1900	5								
2	2.2		CALIPER	1/5/1900	5								
3	3.2		COMP OPT	1/5/1900	5								
4	4.40		CMM	1/5/1900	5								
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													

Blanket statements of conformance are unacceptable for any test results.

SIGNATURE	TITLE	DATE
JOSE EMILIANO	Sup. Inc.Insp.	10/25/2011

Figura 7. Formato del proceso de aprobación que muestra el plan de control (especificación de la dimensión, instrumento de medición requerido, tamaño de muestra).

Los instrumentos utilizados para realizar las mediciones especificadas en la Figura 7, son:

- Pie de rey, con este instrumento se recomienda medir solo alturas o distancias verticales, se calibra una vez al año, la exactitud de los resultados es de  $\pm 0.0029\text{in}$ .



Figura 8. Pie de rey.

- Calibrador vernier, este instrumento ayuda a obtener mediciones de longitudes (largo y ancho), diámetros y profundidades. Se calibra una vez cada año y su exactitud es de  $\pm 0.001\text{in}$ .



Figura 9. Calibrador vernier.

- Comparador óptico, este instrumento sirve para medir las distancias X-Y, diámetros, curvas, radios y ángulos. Se calibra una vez cada año y su exactitud es de  $\pm 0.006$ in.



Figura 10. Comparador óptico.

- Micrómetro laser, este instrumento sirve para medir distancias, diámetros, concentricidad, radios y ángulos. Se calibra una vez cada año, su exactitud es de  $\pm 0.0001$ in.



Figura 11. Micrómetro laser.

- CMM (Coordinate Measuring Machine), este instrumento sirve para dimensionar diámetros, planos, distancias en tres ejes X-Y-Z, perpendicularidad, paralelismo,... Se calibra una vez al año, su exactitud es de  $\pm 0.00001$ in.



Figura 12. CMM (Coordinate Measuring Machine).

## 7. Conclusión

De acuerdo con los datos obtenidos, la estandarización de los métodos de medición es de gran importancia para las compañías ya que repercuten directamente con los objetivos de las empresas, lo cual contribuye en la optimización de tiempos para entrega de proyectos y en las actividades que realizan los diferentes departamentos.

La realización de actividades utilizando un método estándar ayuda a obtener, en la compañía donde se aplique, la satisfacción de los clientes ya que el buen manejo de la información contribuye a que los proyectos o actividades que se realizan tengan el mismo sentido y estén orientados a los objetivos de la empresa.

## 8. Referencias

- [1] AIAG. (2010). "Measurement Systems Analysis". Reference Manual. USA.
- [2] Alonso, V. C. (2001). "Control Estadístico de la Calidad". México. Grupo Editorial Alfaomega.
- [3] Escalante Vásquez, E. (2009). "Análisis y Mejoramiento de la Calidad". México. Editorial Limusa.

### Páginas web:

<http://es.slideshare.net/guruclef01/estudio-r-r-mejia>.  
<http://www.definicionabc.com/general/estandarizacion.php>

# Gestión de cargas detenidas

Erika Francis González Juárez

Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Consuelo Catalina Fernández Gaxiola

Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

---

**Resumen:** El mundo cambia y nosotros con él. También la industria que desde hace 50 años se asentó en Ciudad Juárez, Chihuahua ha evolucionado al ritmo que le toca la globalización. Es por ello que economizar recursos, adelantarse a la demanda, planificar adecuadamente las operaciones de compra y optimización de la logística de distribución de productos se ha convertido en prioridad; por ello, en la práctica la industria debe contar con los servicios logísticos adecuados, disponer de los sistemas de información suficientes y asegurar la disponibilidad de los recursos e infraestructuras necesarias. Debido a que los costos totales de la cadena de suministro llegan a ser de hasta el 75% del presupuesto en gastos operativos, es necesaria la incursión de la tecnología para que sea posible una mayor visibilidad y un mejor control sobre las operaciones lo que se traduce en una mayor eficiencia tanto en resultados como en costos. Lo anterior da lugar al presente proyecto, que requirió la participación de tres locaciones de la empresa Cordis de México, S.A de C.V. (Ciudad Juárez-Miami-El Paso), donde por falta de organización interdepartamental, comunicación y un mal uso de los sistemas electrónicos se tenían lotes de producto terminado rezagados hasta con un año de espera para ser enviados al cliente.

**Palabras clave:** Cadena de suministro, logística y justo a tiempo.

---

## 1. Introducción

La empresa Cordis de México, S.A de C.V., es una empresa dedicada al ramo de dispositivos médicos y de diagnóstico, productos que de acuerdo a la política y ética de la empresa están diseñados para ofrecer una mejor calidad de vida a aquellos que los utilizan. A diferencia de un automóvil que tiene un promedio de vida útil de 12 a 15 años, el producto médico que en esta empresa se produce, tiene un tiempo de vida útil de 2 años, lo que debería dar cabida a una gestión adecuada de la logística de distribución dándole oportunidad al producto de moverse en el mercado con el tiempo suficiente para su consumo.

Sin embargo, se encontró una restricción en el proceso de distribución debido a que se detectaron lotes de producto terminado obsoletos y otros lotes con un tiempo de rezago de hasta 12 meses en espera de ser enviados al cliente, dando lugar a pérdidas monetarias de un estimado de \$7,000,000 dólares entre obsolescencias y producto que ya

no fue posible enviar al mercado por tener poco tiempo de vida para su venta y uso.

Incluyendo este estimado los costos de almacenamiento, mismos que son evidencia de una comunicación ineficiente entre los diferentes departamentos para gestionar la información faltante de los lotes detenidos.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Cadena de suministro y gestión

El enfoque de la gestión de la cadena de suministro (Supply Chain Management) se basa en las relaciones inter organizacionales, con objetivos comunes y medidas de desempeño globales. En general, consiste en planear, instrumentar y controlar eficiente y eficazmente, los factores que intervienen dentro de la estructura total de la cadena de suministro (Aguilar, 2001).

Conforme se aumente la integración se mejora el desempeño de la propia organización viéndose reflejado en un excelente servicio al cliente, en una buena administración de los niveles de inventarios, en mejores pronósticos, en empleados integrados a la política corporativa y clientes satisfechos (Kahn y Mentzer, 1996).

La integración es un elemento clave para el logro de la efectividad de la organización; definiéndola Lawrence y Lorsch (1987) como la cualidad del estado de colaboración entre funciones, requerida para lograr la unidad que exigen las demandas del entorno.

### **2.2. Logística**

Para Ferrel, Hirt, Adriaenséns, Flores y Ramos (2002), la logística es una función operativa importante que comprende todas las actividades necesarias para la obtención y administración de materias primas y componentes, así como el manejo de los productos terminados, su empaque y su distribución a los clientes.

Lamb, Hair y McDaniel (2004), definen la logística como el proceso de administrar estratégicamente el flujo y almacenamiento eficiente de las materias primas, de las existencias en proceso y de los bienes terminados del punto de origen al de consumo.

Ballou (1991), argumenta que la logística es todo aquel movimiento y almacenamiento que facilite el flujo de productos desde el punto de compra de los materiales hasta el punto de consumo, así como los flujos de información que se ponen en marcha, con el fin de dar al consumidor el nivel de servicio adecuado a un costo razonable.

### **2.3. Importancia del justo a tiempo**

Heizer y Render (2009), define que el sistema justo a tiempo es una filosofía de resolución continua y forzosa de problemas. Mediante este sistema, los suministros y los componentes se obtienen por la estrategia de tirar (pull) a través de un sistema para que lleguen donde se necesitan cuando se necesitan. Cuando las unidades de mercancías no llegan justo cuando son necesarias, se crea un problema. Esto convierte al justo a tiempo en una excelente herramienta para ayudar a los directores de operaciones a producir valor agregado eliminando desperdicios y variabilidades no deseadas.

El objetivo fundamental del sistema justo a tiempo es eliminar los inventarios y el desperdicio de tiempo, con ello se eliminan los costos asociados al inventario innecesario y se mejora el rendimiento.

Por ello es necesario que los departamentos productivos y de servicios de una organización estén alineados e integrados a los objetivos, propiciando la interacción y colaboración entre departamentos, con el propósito de compartir metas comunes, trabajo en equipo y participación conjunta de los recursos, siendo un aspecto crítico el flujo de información y la comunicación efectiva, dando la logística una perspectiva amplia para lograr dicha integración.

## **3. Antecedentes**

Después de que el departamento de producción libera el producto terminado este se envía a la bodega de esterilización y distribución, ubicada en El Paso, Texas, para generar una fecha de cargas donde se incluyen múltiples lotes para los cuales se inicia un análisis estimado de cuatro días hábiles, tiempo en el que se verifica que el producto no esté dentro de QNC (Quality Non Conformance) o QSN (Quality System Non Conformance), si todo está en cumplimiento se procede a liberar la carga y posteriormente se distribuye al cliente.

Cuando una carga está conformada por múltiples lotes el análisis se realiza a cada lote, si un lote dentro de la carga no puede ser liberado toda la carga es detenida hasta que se libere el lote en cuestión.

Entre el año 2014 e inicios del 2015 se detectaron lotes obsoletos y otros lotes con un tiempo de rezago de hasta 12 meses en espera de ser distribuidos al cliente, lo que generó un estimado en pérdidas monetarias de \$7,000,000 dólares. Problema no detectado por los sistemas de seguimiento y monitoreo utilizados por la empresa.

## **4. Desarrollo**

En marzo del 2015 se empezó a realizar un análisis para detectar la causa raíz del tránsito lento en las cargas de producto terminado, con el fin de encontrar el área de oportunidad para trabajar en la búsqueda de las soluciones, dando como resultado una comunicación interdepartamental deficiente, procedimiento obsoleto y el desconocimiento del uso del sistema JDE para el tránsito de las cargas.

### **Análisis:**

**Problema:** Acumulamiento de lotes de producto aprobado y terminado esperando en bodega por falta de seguimiento.

**Razones porqué se tenía este acumulamiento:**

- Falta de información para liberar los lotes por parte de los departamentos involucrados (Juárez / Miami y El Paso Warehouse).
- Falta de análisis de flujo.
- Comunicación ineficiente entre los diferentes departamentos, comunicación lenta, comunicación poco fluida, ...
- Una sola persona dando seguimiento, demasiada carga laboral asignadas a una sola persona.
- No se contaba con información de primera mano referente a los registros QNC/QSNC, estatus de las investigaciones y por ende de los lotes involucrados.
- Investigaciones terminadas sin comunicarse a los departamentos siguientes, problema de flujo de información.
- No se notificaba al departamento de Final Release cuando los lotes podían liberarse ya que la investigación de QNC había concluido (QNC Record Closed).
- No se removía adecuadamente el estatus al momento del cierre de un QNC o QSNC.
- No se daba el seguimiento a los lotes con estatus Q, PTH, H.
- No se tomaban acciones inmediatas cuando faltaban resultados de pirógenos.
- No se les daba el seguimiento a los errores de documentación.
- No se les daba el seguimiento a los errores en el sistema, destino incorrecto, destino faltante y UBD (Use By Date).
- Desconocimiento del uso adecuado del sistema JDE.

Después de evaluar los resultados del análisis se procedió a trabajar de la siguiente manera:

*Visualizar los departamentos involucrados en la distribución de cargas para generar una comunicación fluida entre ellos mediante la definición de roles y responsabilidades.*

**Objetivo:**

- Comunicación eficaz entre los diferentes departamentos.
- Rapidez y fluidez en la comunicación y distribución de lotes.
- Tener información de primera mano referente a lotes involucrados en investigaciones, pruebas o problemas específicos.

**Proceso de cargas detenidas:** Se realizó un consenso entre los cinco departamentos involucrados para conocer quiénes son las personas responsables y sus roles dentro

del proceso de cargas de producto terminado, documentando estos roles dentro de un procedimiento interno donde se refleja el flujo del proceso por cada departamento, un horario, día promesa y la responsabilidad de cada persona involucrada.



Figura 1. Proceso de cargas detenidas.

*Se generó una guía para consultar el estatus de cargas en el sistema JDE, responsabilidad asignada al grupo de ingenieros de calidad.*

**Objetivo:**

- Evitar la remoción inadecuada de los estatus de lotes (H, PTH, QNC y PTHS).
- Seguimiento a la información incompleta o faltante a lotes con estatus Q, PTH y H.

**Consulta del estatus de las cargas en el sistema JDE:** Se generó una guía donde se describe paso a paso y de manera sencilla como verificar el estatus de las cargas, darle seguimiento a la información faltante o incompleta, y como remover algún estatus para su liberación, esta responsabilidad les fue asignada a los ingenieros de calidad de acuerdo con la unidad de negocio que maneja cada uno de ellos.

Figura 2. Revisión de estatus de carga en sistema JDE.

Se llevaron a cabo entrenamientos en el sistema JDE dirigidos al grupo de ingenieros de calidad.

**Objetivo:**

- Uso de la guía para el análisis de cargas, así como los documentos involucrados.

Actualización del procedimiento y guía para el análisis de cargas.

**Objetivo:**

- Disipar dudas y definir responsabilidades.

**Guía para el análisis de cargas y procedimiento:** Se actualizó el procedimiento donde se describen los roles y responsabilidades de cada uno de los departamentos involucrados en el proceso de cargas de producto terminado, a este documento se le agregó la guía para el análisis de cargas, una vez liberado el procedimiento se procedió a impartir entrenamientos a los ingenieros de calidad con el objetivo de que el seguimiento a las cargas de producto se realice bajo procedimiento, se dio a conocer la guía para disipar dudas referentes a seguimiento de investigaciones o pruebas de pirógenos, remoción de estatus y como agregar información faltante. Además, se les impartió un entrenamiento en el uso del sistema JDE.



Figura 3. Guía para análisis de carga y procedimiento.

**5. Resultados**

Al realizar la actualización del procedimiento se entrenó a todos los involucrados en el proceso de distribución de cargas (Juárez / Miami y El Paso, Texas) a la vez se integró a todos los departamentos involucrados para desarrollar una comunicación fluida y efectiva entre ellos. Con el objeto de:

- Mejora al análisis del proceso cuando se piden lotes de regreso después de esterilización, cuando se cierra el QNC, para mejorarlo.
- Rapidez y fluidez en la distribución de lotes.
- Menor uso de espacio.
- Reducción de costos por almacenamiento.
- Manejo adecuado del FIFO.
- Cero obsolescencias.

- Cubrir las demandas del cliente, en cuanto son requeridas.
- Reducción de errores en los NCR debido a estatus incorrectos.
- Cubrir las demandas del cliente en cuanto son requeridas.
- Comunicación efectiva entre los departamentos involucrados.
- Trabajo en equipo interdepartamental.

A manera de evaluación de los resultados obtenidos se presentan los siguientes indicadores:

- En la semana 28 del 2015 quedaron liberados el procedimiento y la guía para cargas detenidas.
- En la semana 33 se impartió el entrenamiento al grupo de ingenieros de calidad.
- A partir de la primera semana de enero del 2016 se empezaron a monitorear los resultados en la disminución de lotes detenidos en referencia a los años 2014 y 2015.
- Durante el año 2014 se presentaron 6,250 lotes detenidos.
- Durante el año 2015 se presentaron 5,810 lotes detenidos.
- Durante el año 2016 y en base a la tendencia de lotes detenidos presentadas hasta la semana 34 se proyecta una cantidad anual de lotes detenidos de 2,400.
- Se proyecta una disminución del 58.69% de la cantidad de lotes detenidos.

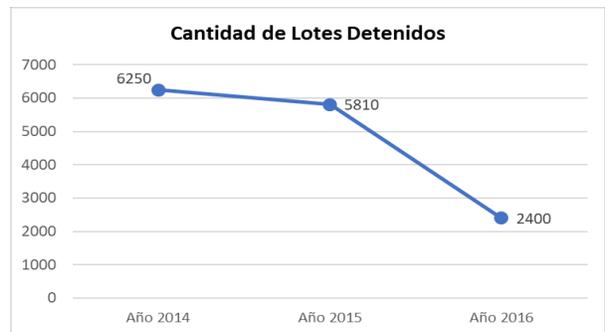


Figura 4. Lotes detenidos por año.



Figura 5. Cantidad de lotes detenidos en 2014.

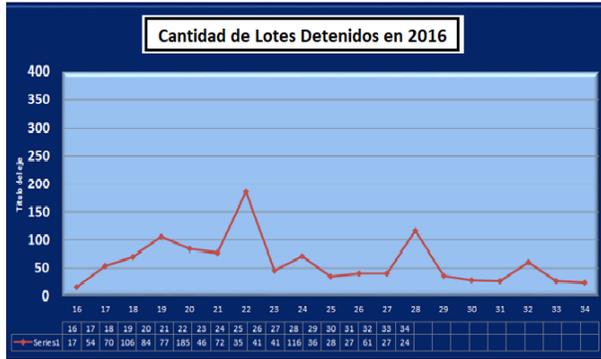


Figura 6. Cantidad de lotes detenidos en 2015.

## 6. Conclusiones

Los productos almacenados más allá de generar una utilidad monetaria para la empresa representan un gasto innecesario. La creación de una red de trabajo integrada hace posible el valor de las relaciones y la buena comunicación, al colaborar compartiendo información y fomentando la actualización desde una plataforma de trabajo agiliza las operaciones, minimizan los costos y simplifican las actividades diarias, dando lugar a productos a bajo costo y por ende mayor utilidad para las empresas.

Es importante día a día retar los procedimientos para verificar su funcionalidad y encontrar oportunidades de mejora, si la industria avanza es importante moverse a la par para estar en un nivel competitivo donde la ganancia sea redituable para todos los que ahí laboran.

*“Las mejoras en las operaciones se logran reduciendo las causas y los impactos de la variación, y comprometiéndolo a los empleados a participar en la innovación y en la búsqueda de formas de realizar su trabajo con mayor eficiencia y eficacia”*

Evans y Lindsay (2008)

*“La tarea de la empresa consiste en examinar sus costos y desempeños en cada una de las actividades que crean valor, y buscan formas de mejorarlas”*

Kotler y Armstrong (2003)

## 7. Referencias

- [1] Lawrence, Paul R. y Lorsch, Jay W. (1987). “La Empresa y Su Entorno”. México. Editorial Plaza y Janes. ISBN-10 # 8401361044, ISBN-13 # 9788401361044.
- [2] Kahn, K. y Mentzer, J. (1996). "Logistics and Interdepartmental Integration". International Journal

of Physical Distribution and Logistics Management, Vol. 26, No. 8.

- [3] Ballou Ronald H., (1999). “Logística empresarial: control y planificación”, Editor Díaz de Santos. ISBN-10 # 8487189687, ISBN-13 # 9788487189685.
- [4] Aguilar, J.A. (2001). “Subcontratación de Servicios Logísticos: Cómo Desarrollar una Operación de Outsourcing en Logística Integral”. Barcelona. Logis Book. ISBN-10 # 8486684137, ISBN-13 # 9788486684136.
- [5] Ferrel O.C., Hirt,Geofrey, Adriaenséns Marianela, Ramos Leticia y Flores Miguel Angel (2002). “Introducción a los Negocios un Mundo Cambiante”. México. Editorial McGraw Hill. ISBN-10 # 1456249630, ISBN-13 # 9781456249632.
- [6] Kotler, P. y Armstrong, G. (2003). “Fundamentos de Marketing”. México. Pearson Education. ISBN-10 # 9702604001, ISBN-13 # 9789702604006.
- [7] Lamb, Charles W.; Hair, Joseph F. y McDaniel, Carl (2004). “Marketing”, California, Editorial Thomson/Saouth-Western. ISBN-10 # 968752944X, ISBN-13 # 9789687529448.
- [8] Evans J. y Lindsay W. (2008). “Administración y Control de la Calidad”. México. Cengage Learning Editores. ISBN-10 # 9706868364, ISBN-13 # 9789706868367.
- [9] Heizer, J. y Render, B. (2009). “Principios de Administración de Operaciones”. México. Pearson Educación. ISBN-10 # 9702605253, ISBN-13 # 9789702605256.

# State of art of lower limb exoskeleton for assistance (Estado de arte de exoesqueleto para asistencia de extremidades inferiores)

Jorge Acosta Tejeda

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Israel Ulises Ponce Monárrez

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Ángel Israel Soto Marrufo

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Abstract:** This paper presents a literature review of assistance exoskeletons for lower limbs. The exoskeletons pretend to be a wearable device that helps us to improve our physical abilities. Besides, they could be used in different fields and in other potential applications. Also, it is shown a list of the exoskeletons made for specific body parts. The different technologies used to give and detect motion in an exoskeleton are also shown. There are projects, universities and companies that support the development of various exoskeletons. We can find some exoskeletons already in the market. Equally important there is a lot of patents that help us to realize there is an interest in improving these devices. Although, there are some exoskeletons in the market. They have limited functions or were designed for a specific purpose. Recent researches point out their development for space suits and production lines. Finally, ways to validate these exoskeletons are presented to show how could probe that are satisfied their purposes.

**Keywords:** Exoskeleton, lower limb and assistance.

---

## 1. Introduction

The authors [1] define an exoskeleton system as a strong but light weight robotic mechanism that a human can put on for the purpose of overcoming inadequate muscle strength during the performance of physical tasks. Others point the exoskeletons for human performance enhancement are wearable devices that can support and assist the user besides increasing their strength and endurance [2]. Both authors show the exoskeletons like wearable devices. Others researches [3] said that are designed to align their rotation axes with those of human limbs in order to provide motion assistance.

Some of the advantages to create this robots is point by [4] integrated human robotic systems are superior to any autonomous robotic systems in unstructured environments

that demand significant adaptation. These systems could be used in flexible environments due to the synergy between human and robot. Remains challenging due to the complex and bidirectional physical interactions between robots and users [5]. The benefits of using these robots can be applied in several applications. Because of its potential applications in rehabilitation engineering, assistive robotics, and power augmentation are getting more attention in the field of robotics [6].

## 2. Fields

There are some conditions for exoskeleton to satisfy to be utilized in fields; the mechanism must not interrupt wearer's motion, and it has to follow wearer's motion intention while effectively assisting wearer's motion [7].

Making the exoskeleton wearable and lightweight would expand its usage in both treatment and assistive devices [8]. Another point of view is given by [9] they point out two main applications of exoskeletons: rehabilitation and power augmentation. The three fields will be presented in this paper, but it is focused in the assistive exoskeletons.

#### **a) Rehabilitation**

With an ageing population, the risk of neurological trauma such as strokes or spinal cord injuries is increasing, leading to an increase in the number of persons with motor disabilities [10]. Nowadays, improvements in the process of rehabilitation are an important issue in the biomechanics research field to help patients raise the quality of their everyday life [10]. Rehabilitation is focused on two objectives; first regain muscle strength which basically is the ability of the muscle to contract and second to regain the endurance which is the ability to perform the same movement over and over again [11]. Consistency and frequency of the physical therapy sessions play a vital role in the treatment [12]. Limited availability and irregularity in therapy sessions may leave a person with the permanent disability, this may be prevented by the use of rehabilitation robots [12].

#### **b) Assistance**

In most applications, exoskeletons are designed to produce forces that assist the user in performing a motor task [13]. Weakened muscles cannot maintain the proper stiffness against ground reaction forces, which can also induce dangerous instability in gait patterns; consequently, exoskeleton devices have been developed and improved by researchers to enhance the physical ability of humans and supplement infirmed bodies [14].

#### **c) Powered assistance**

Different from the exoskeleton for rehabilitation, the exoskeleton for human performance augmentation pays more attention to the combination of robot power with human intelligence [15]. Specifically, the heavy load is mounted on the exoskeleton, and the healthy wearer gives the motion commands for the exoskeleton while the actuators of the exoskeleton actively provide enough force to support the heavy load [15]. In [16] point out that exoskeletons as wearable robots, combine the powerful load capacity of the modern mechanical device and the intelligent performance of a human. While [17] said that powered assistive exoskeletons are wearable robots with actuated joints associated to the human body that can provide supplemental mechanical power to human movements.

### **3. Examples of designed exoskeletons for certain limbs**

#### **a) Lower limbs**

Lower limbs are referred from the hip to below. in recent years The lower extremity exoskeleton (LEE) has been widely studied in the robotic field and has a broad spectrum of applications in rehabilitating and assisting human walking [18]. Wearable devices designed to enhance a wearer's lower extremities' muscular strength are expected to be among the practical solutions to address the problems [19]. In [20] they designed an exoskeleton for extension assistance as a treatment for crouch gait in children with cerebral palsy. Some exoskeletons made for legs movement are presented by [21], [22], [23], [24], [25]. While others authors focused only in ankle and knee [26].

#### **b) Upper limbs**

Upper limbs are referred from the head to the hip. One example is presented by [27] they show the design of a robotic exoskeleton for the neurological rehabilitation of temporomandibular disorder (TMD). Others exoskeletons were designed for hands [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34]. Others for shoulder, elbow, forearm, and wrist: [35], [36]. Moreover for fingers [37]. Shoulder and elbow are presented by [38], [39], [40], [41].

### **4. Technologies used to give and detect motion**

In human robot cooperation and augmenting robotics, it is essential to anticipate and recognize events that are not directly measure or are costly to compute online [42]. Outside of a lab, maintaining the multitude of auxiliary sensors is unrealistic and the events of interest need to be reliably inferred given the limited number of sensor available [42]. This work is focused on lower limbs, more specifically in the knees. The followings exoskeletons are based on that part of the human body.

In [43] was proposed a controller to facilitate gait training, during the walking the controller reshape the gait with a model created by the authors and using the exoskeleton "Indego".

In [44] is reported the construction of an exoskeleton using motors, sensors of torque, sensor of angular position, and Gaussian process regression.

Others worked on a knee exoskeleton to assist on the sit-to-stand process. They utilize a unique transmission configuration with a series fiberglass beam spring that improves torque-control and reduces output impedance [45].

In [46] is reported the use of an online adaptive predicting controller using a focused time-delay neuronal network. The energy kernel method used inputs of electromyography to estimate the activation level of muscle. The inputs of position and interactive force from the motors were also applied on knee exoskeleton.

While the authors [47], worked on controlling the walking speed achieved human intention recognition and identification. This was realized through instrumented footboard and smart shoe using dual reaction force sensors. This data was inserted on an adaptive central pattern generator used to control joint trajectory frequency. Different frequencies were associated with different walking speeds.

The Figure 1 shows the structure of an exoskeleton for lower limbs in general way. Joints can use different configurations to transmit movement to other parts of the body. Linked parts are only the unions between the different joints. Although, linked parts can also help joints to transmit movement using springs, shock absorbers, and other components.

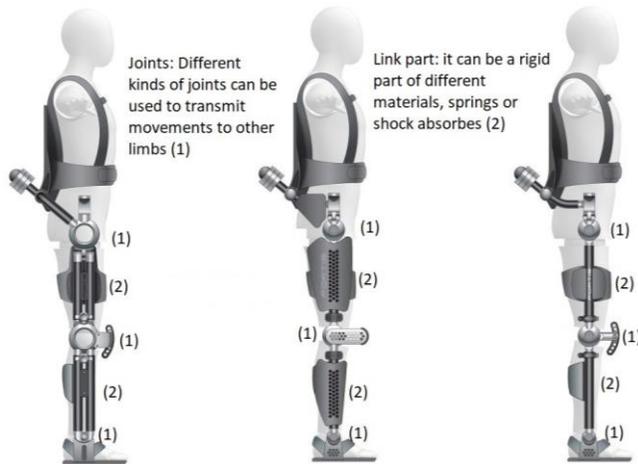


Figure 1. General aspect of an exoskeleton for lower limbs.

## 5. Previous works

A major impetus for the recent work in performance-augmenting exoskeletons has come from a program sponsored by the DARPA called Exoskeletons for Human Performance Augmentation (EHPA). The program began in 2001 and was transitioned to the Army Program Executive Office Soldier (PEO Soldier) in 2008 [48].

This program helped to develop exoskeletons like BLEEX, Sarcos, MIT exoskeleton and soft exosuit by Wyss institute.

When they got more results the information became confidential, like in the case of Sarcos.

In [48] is point out that after the DARPA EHPA program ended, Sarcos secured a large amount of additional funding through the Army PEO Soldier to continue the development of their exoskeleton concept as a personal combat vehicle (PCV). Eventually “transitioning” the technology to the Army by fiscal year 2008. Unfortunately, very little further information regarding to the design and performance of the Sarcos exoskeleton has been made public.

The exoskeletons made under DARPA program are presented below, except the MIT exoskeleton. Other exoskeletons have been made out of the DARPA program. These exoskeletons are also presented.

BLEEX (Berkeley Lower Extremity Exoskeleton): is a load-carrying and energetically autonomous human exoskeleton that, in this first generation prototype, carries up to a 34 kg (75 lbs) payload for the pilot and allows the pilot to walk at up to 1.3 m/s (2.9 mph) [49]. The anthropomorphically-based BLEEX has seven degrees of freedom per leg, four of which are powered by linear hydraulic actuators [50].

Biologically-inspired Soft Exosuit by Wyss institute: is a soft cable-driven exosuit capable of applying forces to the body during walking. The suit can apply moments to the hip and ankle of at least 18% of the normal human walking moments, enough to be noticeable to the user. Also, the suit is extremely light, minimizing distal mass, adds negligible inertia to the legs, comfortable, does not cause chafing, does not constrain any of the degrees of freedom in the legs, and permits the user to move through their full range of motion [51].

Rewalk: the ReWalk is a powered exoskeleton that allows thoracic motor complete individuals with spinal cord injury to walk independently. It contains a pair of hip and a pair of knee joint motors powered by rechargeable batteries and a control system housed in a user-worn backpack. The system is entirely self-contained and subject-directed. Users control their own walking through minor trunk movements and a wrist-pad controller. A tilt sensor determines the trunk angle and generates a prescribed hip and knee displacement (angle and time) that results in a step [52].

Sarcos: the Guardian XO robot is a powered, untethered, industrial exoskeleton suit that improves human strength and endurance without restricting the operator’s freedom of movement. In addition, it safely, comfortably and easily

lifts 200 lbs/90 Kg repeatedly without exertion, strain or injury [53].

EksoGT: is the first FDA cleared exoskeleton indicated for stroke and spinal cord injury rehabilitation. It is designed to help patients get back on their feet. Support re-learning of correct step patterns, weight shifting, and potentially mitigating compensatory behaviors [54].

HAL® [Hybrid Assistive Limb®]: is an exoskeleton made by cyberdine. It is the world’s first cyborg-type robot. The wearer’s bodily functions can be improved, supported and enhanced. Wearing of HAL® leads to a fusion of “man”, “machine” and “information”. HAL® assists a physically challenged person to move and enables him or her to exert bigger motor energy than usual. HAL® is also considered as the system that accelerates a motor learning of cerebral nerves [55].

Honda: Honda’s Stride Management Assist device is designed to help those with weakened leg muscles but who are still able to walk. A motor helps lift each leg at the thigh as it moves forward and backward. This lengthens the user’s stride, making it easier to cover longer distances at a greater speed [56].

Indego: is a powered exoskeleton worn around the waist and legs. It allows gait impaired individuals to stand and walk. Indego comes in interchangeable sizes and can accommodate heights ranging from 5’ 1” to 6’ 3” (155 – 191cm) and weight up to 250lbs (113kg). Currently Indego can be used with spinal cord injury levels of T7 to L5 in community or home settings in the US. Also, it is available for persons with lower extremity weakness due to paralysis or other neurological diagnoses in Europe. The Indego is not intended for sports or stair climbing [57].

Rex: Designed for people with mobility impairments, including those with more severe disabilities, REX offers rehabilitation options and enhances mobility for a wide range of people. Squats, lunges, sit-to-stand, leg swings, and stretches are some of the movements that can be made. Rexercise mode enables structure, reproducible and functional exercise programs directed by healthcare professionals [58].

**6. Patents**

The interest for the exoskeletons is big. In fact, many universities, researchers and companies invest money to register patents. This is an important advantage, because they create their own technologic briefcase. For this reason, they have a competitive advantage. Some of the

most relevant patents are made by United States of America, Japan, China and Korea. In the next table are listed some relevant patents according to the characteristics of the exoskeleton studied.

Name of the patent	Number
Exoskeleton suit for adaptive resistance to movement [59].	US20130040783A1
Implementing a stand-up sequence using a lower-extremity prosthesis or orthosis [60].	US20110082566A1
Strap assembly for use in an exoskeleton apparatus [61].	US20140276264A1
Robot for assistant exoskeletal power [62].	KR100716597B1
Wearable lower limb exoskeleton device [63].	CN201510472U
Methods for closed-loop neural-machine interface systems for the control of wearable exoskeletons and prosthetic devices [64].	US20150012111A1
Exoskeleton and footwear attachment system [65].	US8876123B2
Pneumatic-muscle-driven exoskeleton assisting mechanism [66].	CN104552276A
Wearable lower-limb assistance exoskeleton [67].	CN103315834A
Human body exoskeleton walking-aid device with four exoskeleton lower limbs [68].	CN201920941U
Movement assistance device [69].	US20130197408A1
Assistant movement exoskeleton of three-degree of freedom ankle joint [70].	CN101596139A
Movement assistance device [71].	WO2013188868A1
Control System for a Mobility Aid [72].	US20120172770A1
Portable energy-storage type external skeleton assisting robot [73].	CN103610524A
Soft exosuit for assistance with human motion [74].	US20150173993A1
Hybrid terrain-adaptive lower-extremity systems [75].	US20100174384A1
Human assist system using gravity compensation control system and method using multiple feasibility parameters [76].	US7390309B2
Device and Method for Decreasing Energy Consumption of a Person by Use of a Lower Extremity Exoskeleton [77].	US20090292369A1

Wearable lower limb exoskeleton walking-assisted robot [78].	CN103054692A
Lower Extremity Exoskeleton for Gait Retraining [79].	US20130226048A1
Passive Swing Assist Leg Exoskeleton [80].	US20080249438A1
Muscular strength assisting apparatus [81].	JP2007097636A
Locomotion assisting device and method [82].	US20100094188A1
Controller for an assistive exoskeleton based on active impedance [83].	US7731670B2
Semi-powered lower extremity exoskeleton [84].	US20070056592A1
Exoskeleton robot system with human motion detecting function and control method of robot system [85].	CN104188675A
Exoskeleton walk-assisting robot for old people and bionic control method for anti-falling gaits [86].	CN103263339A
Portable system for assisting body movement [87].	US20090255531A1
Lower extremity exoskeleton [88].	CN101132753A
Control system for exoskeleton apparatus [89].	US20150025423A1
Portable and wearable exoskeleton robot for lower limb recovery and walking aid [90].	CN102871822A
Body-worn muscular strength assisting device [91].	JP2011092507A
Robotic exoskeleton for limb movement [92].	US20080304935A1
Anti-destabilization framework type walking assisting legs [93].	CN102440891A
Linear motor driven device for human body lower limb exoskeleton walking aid device driven by linear motor [94].	CN201920940U

All these patents show interesting things and present different ways to make an assistance exoskeleton for lower limbs. However, the patent number US20130197408A1 called "Movement assistance device" [69] is so interesting. It is an exoskeleton for assistance with two powered joints and with a plurality of sensors. These sensors generate signals indicating a current motion. The controller is configured for determining a current state of the exoskeleton system. The current intent of the user is based on the signals. Based on the current state and the current intent, signals are generated for the first and second powered joints.

## 7. Exoskeletons for no medical use

Developing a space suit that supports safe, efficient, and effective exploration despite the extremes of temperature, pressure, radiation, and environmental hazards like dust and topography remains a critical challenge. Space suits impose restrictions on movement that increase metabolic rate and limit the intensity and duration of extravehicular activity. For planetary extravehicular activity, the exoskeletons can optimize space suits for efficient locomotion. For example, tuning the stiffness and spring-like energy recovery of space suit legs [95].

Besides [96] reported a prototype of a powered hand exoskeleton. It is designed to fit over the gloved hand of an astronaut and offset the stiffness of the pressurized space suit. This will keep the productive time spent in extravehicular activity from being constrained by hand fatigue. Moreover, there are projects to introduce the exoskeletons in the industries.

In dynamic manufacturing or warehousing environments, a high product mix and relatively small order sizes dictate high levels of flexibility. In such cases, full-automation is either not possible or prohibitively expensive. In such a context of continuously varying products and tasks, the human capacity to observe, decide and adopt proper actions within split seconds is still required [97].

Powered exoskeletons can offer additional protection, support and strength to the operators. It also contributes to the social sustainability of the workforce by improving the ergonomics of manual operations (occupational health). It helps to reduce injuries and accidents because of heavy work (safety). Boost productivity and quality of work by improving the operator workload-handling capabilities. Assists to keep elder/experienced operators longer in critical positions by compensating for their loss of strength due to aging while still capitalizing on their knowledge and experience. An additional advantage is the possibility to equip the exoskeleton with tools and (heavy) supporting equipment. Which in the exoskeleton absence would reduce the humans' productivity [98].

In [99] point out that The European manufacturing sectors have to face the challenge of workplace safety and security representing costs up to 4% of GNP. A user-friendly and cooperative human-robotic exoskeleton for manual handling work can represent a possible innovative solution. Many workers are affected by health problems especially of the lower back because of repetitive lifting heavy weights like seats and batteries. The costs for health insurance in these factories are very high. In order to avoid such difficulties, the exoskeleton concept and philosophy

will support the workers in lifting and manipulating weights thus relevant improving their health.

The Robo-Mate project proposes to research and develop an industrial exoskeleton. Which when used by workers carrying out manual handling activities will reduce their risk of developing MSDs (Musculoskeletal Disorders). In addition, to promoting its distribution to an international market and increasing confidence in the product, which can motivate the desire for its introduction into the workplace; the application of appropriate standards can help to ensure the safe and reliable design, manufacture and use of the exoskeleton [100].

“JackEx” is the enhancement of the standard digital humanoid “Jack” with concepts and elements of passive exoskeletons. For the development of JackEx, a new digital manufacturing resource, the intimate coupling of the Exoskeleton digital model to the humanoid “Jack” components were realized. The comparison between the simulation results with those performed for the same task but without integrated exoskeleton revealed from an ergonomically perspective the benefits of employing the exoskeleton in manufacturing factories [101].

In PSA Peugeot Citroen factories, high precision requirements of workstations make them be manual. One of the main goal of the car manufacturer is to minimize the pain of workers while maintaining high efficiency of production lines. Consequently, assisting operators with an exoskeleton is a potential solution for improving ergonomics of painful workstations while respecting industrial constraints [102].

Panasonic is working together with Activelink to create exoskeletons to give assistance at workers during their jobs. One of them is called AWN-03 (Figure 2). It was especially developed to provide lower back support. It automatically senses the user's motion when lifting and holding heavy objects, and sends a signal to the motors to rotate the gears. It also raises the user's upper body while pushing on their thighs. As a result, reduces stress on the user's lower back by 15kg [103].



Figure 2. Exoskeleton AWN-03 developed by Panasonic and Activelink to provide lower back support for workers.

Another exoskeleton of Panasonic and Activelink is being developed to mimicking human motion. The PLN-01 named "Ninja" (Figure 3) assists the user's motion while walking and running, for instance hiking up steep mountain paths during afforestation. An upper body unit of the "Ninja" is currently being developed, which will help lift and carry heavy items [103].

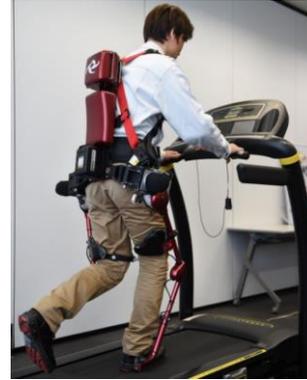


Figure 3. Exoskeleton PLN-01 or "Ninja".

## 8. Ways to validate an exoskeleton

Measuring a signal coming from the human body is difficult to interpret. It could be a little or quite different for everybody. These signals are not a fix number, but we can get patterns that help us to create models for future reference.

The researchers in [104] measured the efficiency of the exoskeleton LOPES II. They made an experiment where measured muscle response in four leg muscles in four persons. Also, measured metabolic cost in two persons. These experiments were made during a defined walking. Muscle response and metabolic cost were measured in two conditions: using the exoskeleton without assistance (transparent mode) and with assistance (assisted mode). Finals results demonstrated a difference using the two modes. Assisted mode reduce the muscle response. In Figure 4 is showed a difference up to 22% in the rectus femoris of subject 2. In addition, exist a reduce in the metabolic power (Figure 5) up to 10.4% in the subject 3.

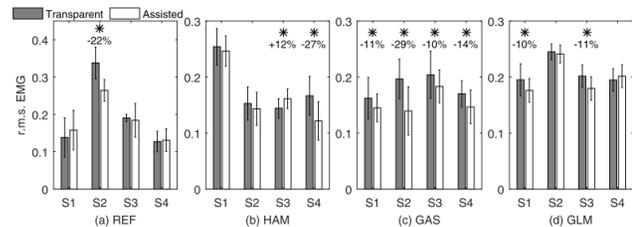


Figure 4. Root mean square electromyography (r.m.s. EMG) of rectus femoris (REF), hamstring (HAM), medial

gastrocnemius (GAS), and gluteus maximus (GLM) in four persons (s1, s2, s3, s4).

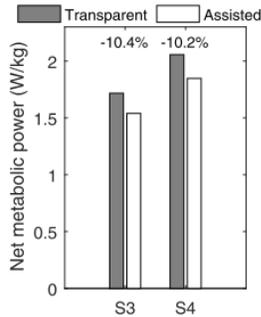


Figure 5. Net metabolic power during transparent and assisted mode walking in two persons (s3 and s4).

In [105] were designed some tests for the exoskeleton EXO-TAO to probe its efficiency using a healthy subject. A subject walked during two minutes on the treadmill, at two different speeds, with and without the exoskeleton. The exoskeleton was equipped with seven inertial measurement sensors and electromyographical (EMG) sensors on five lower limbs muscles. Data recollected were only for the right leg. The first and last 20 steps were discarded in the analysis so 40 steps were considered for each condition. First, they measured the angle and EMG signals without the exoskeleton at 3.3 km/h and with it at 2.5 km/hr (Figure 6 and 7). Later, they did the same measurements but at 3.3 km/h with and without the exoskeleton (figure 8 and 9). They concluded that using the exoskeleton, the subject is always “fighting” with it to impose his own walking profile. This is more remarkable when was used at 3.3 km/h. In figure 8, the angle changed using the exoskeleton. The use of the exoskeleton also implies more effort (Figure 9).

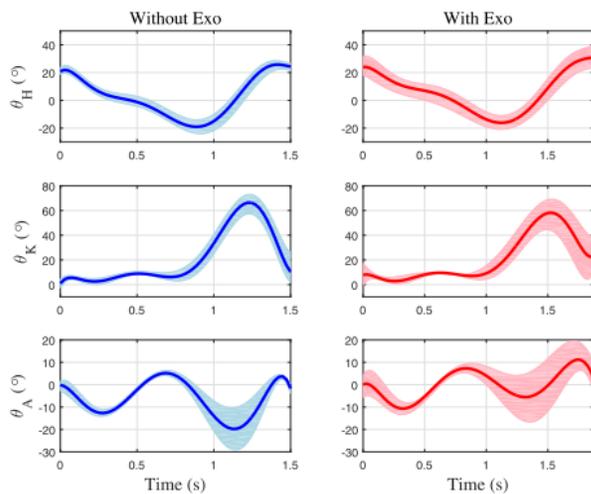


Figure 6. Joint angles at the sagittal plane, walking speed of 3.3 km/h without exo and 2.5 km/h with exo.

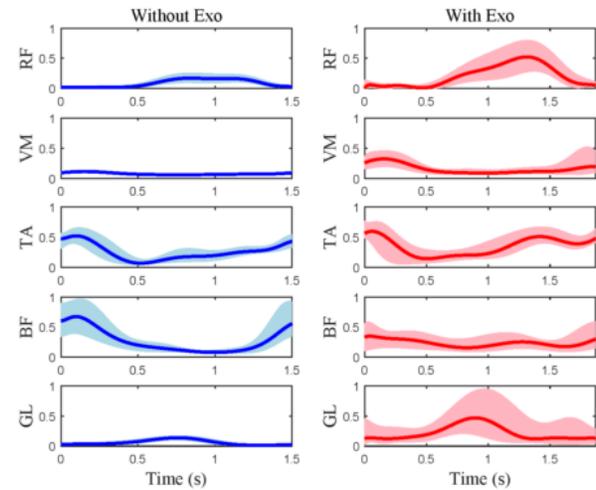


Figure 7. Normalized EMG signals, walking speed of 3.3 km/h without exo and 2.5 km/h with exo.

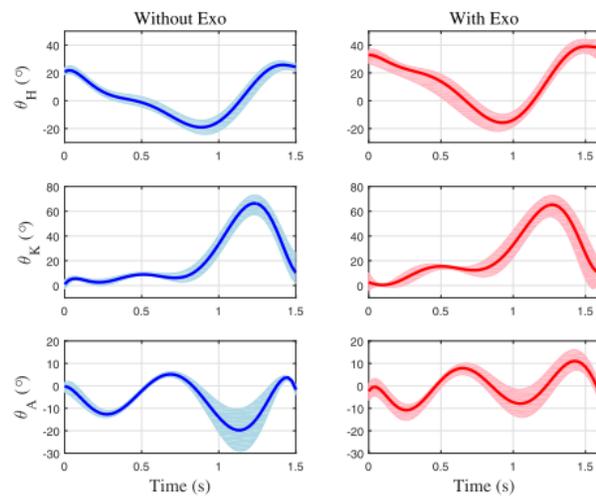


Figure 8. Joint angles at the sagittal plane, walking speed of 3.3 km/h for both conditions.

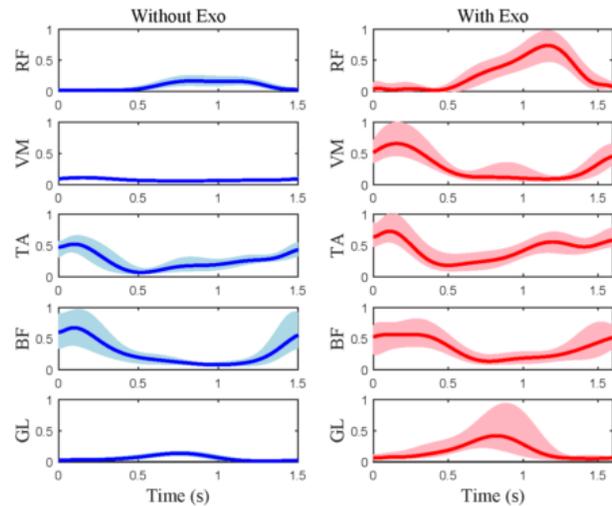


Figure 9. Normalized EMG signals, walking speed of 3.3 km/h for both conditions.

In another research reported by [106] was realized an experiment where a knee exoskeleton was validated. They made a model of a desired angle and torque of a knee during the walking of a subject. The data for this model were obtained from another research. This model was compared with the data obtained of a subject wearing the exoskeleton and was walking in a treadmill. Graphics in Figure 10 show a similar behavior. They also measured the metabolic cost in three different conditions: wearing the exoskeleton without power (passive), wearing the exoskeleton with power (active) and without the exoskeleton but wearing sandbags that represented the weight of the exoskeleton (load). Using these three conditions, with three healthy subjects and walking in at treadmill at 1.0 m/s they concluded that the knee exoskeleton improved walking metabolic economy. Under the condition of active versus load, the active mode indicates and average reduction of 6.21% against the load mode (Figure 11). Authors point out that there are some missing data. For example, measure the metabolic cost of human free walking. They also detected deficiencies and indicated that an improvement could be made for knee exoskeleton control strategy. Consequently, these improvements could give better results in angle and torque. Although, some missing data and deficiencies were detected, this experiment shows us another way to validate exoskeletons.

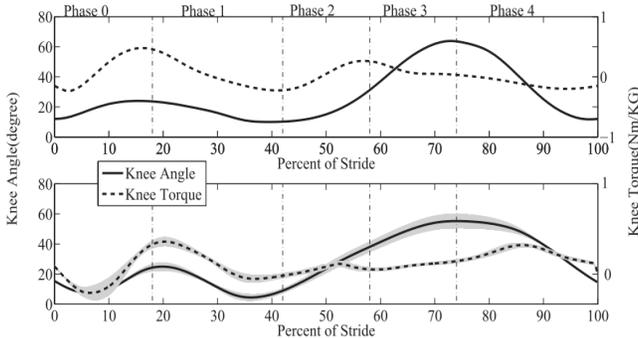


Figure 10. The top half is the knee angle and torque modeled. The bottom half is the measured knee joint angle and torque for consecutive 5 minutes walking on a treadmill.

Subject	Pas(EE) (J/(ks.min))	Load(EE) (J/(ks.min))	Act(EE) (J/(ks.min))	1-Act(EE)/Load(EE) %
1	219	205	192	6.34
2	201	178	167	6.18
3	212	184	173	6.12
mean	210.6	189.0	177.3	6.21 *

Figure 11. Walking metabolic cost at 1.0m/s for different subjects under different condition.

## 9. Conclusion

It seems that the exoskeletons are the devices of the future. They could be used in different activities like rehabilitation, war, space, assembly lines among others. The final design of the exoskeletons pretends to be a wearable device, like a shirt or a pair of pants. Some authors have focused on how implement different mechanisms at the exoskeletons to make them efficient. There is a lot of interest on develop these devices. In fact, there are patents, projects like DARPA or companies that invest money to make the exoskeleton a more efficient device.

It also starts to generate interest in the industry. These devices could improve the skills of the operators, reduce fatigue and injuries. Therefore, the companies could reduce their health care costs, improve the use of each operator and reduce absenteeism. Make an exoskeleton is not an easy task because the human body is complex. These devices have to adapt to our bodies and be an extension of it. Consequently, they could help us to improve our physical abilities, hence our health.

Based on literate review, the exoskeletons can be configured in different ways. Although, it seems that have followed a certain design. The use of direct current (DC) motors in joints to transmit movements to other limbs have been giving good results. Also, the position of the control unit can be found mostly over the link parts or in a bag over the back. The Figure 12, shows a possible configuration of the exoskeleton described.

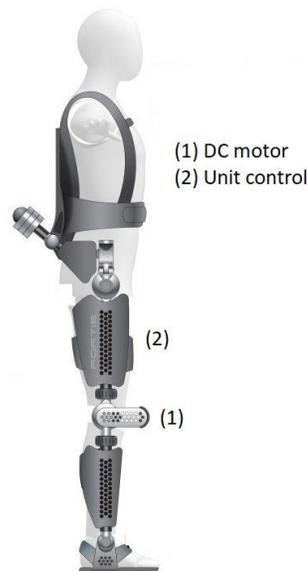


Figure 12. Possible exoskeleton.

## 10. Bibliography

- [1] D. Jayanth, E. S. Sai, and Y. Sangeetha, "Surface EMG based intelligent signal processing for exoskeleton," in *2017 International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, 2017, no. Icicct, pp. 76–82.
- [2] N. Mir-Nasiri and H. S. Jo, "Autonomous low limb exoskeleton to suppress the body weight," in *2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, 2017, pp. 47–51.
- [3] H.-C. Hsieh, D.-F. Chen, L. Chien, and C.-C. Lan, "Design of a Parallel Actuated Exoskeleton for Adaptive and Safe Robotic Shoulder Rehabilitation," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 4435, no. c, pp. 1–1, 2017.
- [4] H. Kazerooni, "Exoskeletons for human power augmentation," in *2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2005, pp. 3459–3464.
- [5] M. Hamaya, T. Matsubara, T. Noda, T. Teramae, and J. Morimoto, "Learning task-parametrized assistive strategies for exoskeleton robots by multi-task reinforcement learning," in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017, pp. 5907–5912.
- [6] H. Wang, S. Ni, and Y. Tian, "Modeling and control of 4-DOF powered upper limb exoskeleton," in *2017 32nd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, 2017, pp. 304–309.
- [7] H. Seo and S. Lee, "Design and experiments of an upper-limb exoskeleton robot," in *2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, 2017, pp. 807–808.
- [8] H. S. Nam *et al.*, "Biomechanical Reactions of Exoskeleton Neurorehabilitation Robots in Spastic Elbows and Wrists," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 4320, no. c, pp. 1–1, 2017.
- [9] R. Goljat, J. Babic, T. Petric, L. Peternel, and J. Morimoto, "Power-augmentation control approach for arm exoskeleton based on human muscular manipulability," in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017, pp. 5929–5934.
- [10] S. Lemerle, S. Fukushima, Y. Saito, T. Nozaki, and K. Ohnishi, "Wearable finger exoskeleton using flexible actuator for rehabilitation," in *2017 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)*, 2017, pp. 244–249.
- [11] R. López, H. Aguilar, S. Salazar, R. Lozano, and J. A. Torres, "Modelado y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad," *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI*, vol. 11, no. 3, pp. 304–314, Jul. 2014.
- [12] R. Singh, H. Chaudhary, and A. K. Singh, "Optimal synthesis of crank-rocker linkage for exoskeleton knee," in *2016 International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*, 2016, pp. 1–5.
- [13] G. Aguirre-Ollinger, J. E. Colgate, M. A. Peshkin, and A. Goswami, "Inertia Compensation Control of a One-Degree-of-Freedom Exoskeleton for Lower-Limb Assistance: Initial Experiments," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 20, no. 1, pp. 68–77, Jan. 2012.
- [14] H. Choi, Y. J. Park, K. Seo, J. Lee, S. Lee, and Y. Shim, "A Multi-functional Ankle Exoskeleton for Mobility Enhancement of Gait-impaired Individuals and Seniors," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 3766, no. July, pp. 1–1, 2017.
- [15] S. Chen *et al.*, "Adaptive Robust Cascade Force Control of 1-DOF Hydraulic Exoskeleton for Human Performance Augmentation," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 22, no. 2, pp. 589–600, Apr. 2017.
- [16] Y. Yang, L. Ma, and D. Huang, "Development and Repetitive Learning Control of Lower Limb Exoskeleton Driven by Electrohydraulic Actuators," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 5, pp. 4169–4178, May 2017.
- [17] D. Ao, R. Song, and J. Gao, "Movement Performance of Human-Robot Cooperation Control Based on EMG-Driven Hill-Type and Proportional Models for an Ankle Power-Assist Exoskeleton Robot," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 25, no. 8, pp. 1125–1134, Aug. 2017.
- [18] D. Wang, K.-M. Lee, and J. Ji, "A Passive Gait-Based Weight-Support Lower Extremity Exoskeleton With Compliant Joints," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 32, no. 4, pp. 933–942, Aug. 2016.
- [19] Y. Lee *et al.*, "Biomechanical Design of a Novel Flexible Exoskeleton for Lower Extremities," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. XX, no. X, pp. 1–1, 2017.
- [20] Z. F. Lerner, D. L. Damiano, H.-S. Park, A. J. Gravunder, and T. C. Bulea, "A Robotic Exoskeleton for Treatment of Crouch Gait in Children With Cerebral Palsy: Design and Initial Application," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 25, no. 6, pp. 650–659, Jun. 2017.
- [21] S. Zhang, C. Wang, Y. Hu, D. Liu, T. Zhang, and X. Wu, "Rehabilitation with lower limb exoskeleton robot joint load adaptive server control," in *2016 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, 2016, no. 2015, pp. 13–18.
- [22] J.-H. Jeong, M.-H. Lee, N.-S. Kwak, and S.-W. Lee, "Single-trial analysis of readiness potentials for lower limb exoskeleton control," in *2017 5th*

- International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*, 2017, pp. 50–52.
- [23] F. Amato, D. Colacino, C. Cosentino, and A. Merola, "Trajectory tracking control of a biomimetic exoskeleton for robotic rehabilitation," in *2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 2017, pp. 228–232.
- [24] D. Gan, S. Qiu, Z. Guan, C. Shi, and Z. Li, "Development of a exoskeleton robot for lower limb rehabilitation," in *2016 International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM)*, 2016, pp. 312–317.
- [25] Z. Zhu, C. Jiang, X. Wang, J. Chen, L. He, and Q. Wu, "Design of a wearable lower limb exoskeleton for paralyzed individuals," in *2016 23rd International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*, 2016, pp. 1–6.
- [26] F. Patane, S. Rossi, F. Del Sette, J. Taborri, and P. Cappa, "WAKE-Up Exoskeleton to Assist Children With Cerebral Palsy: Design and Preliminary Evaluation in Level Walking," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 25, no. 7, pp. 906–916, Jul. 2017.
- [27] S. Surya, C. R. Ramesh, M. Sruthi, and S. S. Kumar, "Robotic exoskeleton for rehabilitation of TMD via assisted motion of jaw," in *2017 International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, 2017, no. Iccict, pp. 172–177.
- [28] J. Diez, F. J. Badesa, and J. M. Sabater, "Sistema robotico de tipo exoesqueleto para rehabilitacion de la mano," *Actas las XXXV Jornadas Automática*, pp. 3–5, 2014.
- [29] D. Popov, I. Gaponov, and J.-H. Ryu, "Portable Exoskeleton Glove With Soft Structure for Hand Assistance in Activities of Daily Living," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 22, no. 2, pp. 865–875, Apr. 2017.
- [30] M. Decker and Y. Kim, "A hand exoskeleton device for robot assisted sensory-motor training after stroke," in *2017 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, 2017, no. June, pp. 436–441.
- [31] Y. Yun *et al.*, "Maestro: An EMG-driven assistive hand exoskeleton for spinal cord injury patients," in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017, pp. 2904–2910.
- [32] C. J. Nycz, T. Butzer, O. Lambercy, J. Arata, G. S. Fischer, and R. Gassert, "Design and Characterization of a Lightweight and Fully Portable Remote Actuation System for Use With a Hand Exoskeleton," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 1, no. 2, pp. 976–983, Jul. 2016.
- [33] K. Tank *et al.*, "Gripmitt: An electronic exoskeleton for improved hand movement," in *2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*, 2017, pp. 1–6.
- [34] S. Guo, W. Zhang, J. Guo, J. Gao, and Y. Hu, "Design and kinematic simulation of a novel exoskeleton rehabilitation hand robot," in *2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 2016, pp. 1125–1130.
- [35] R. A. R. C. Gopura, K. Kiguchi, and Y. Li, "SUEFUL-7: A 7DOF upper-limb exoskeleton robot with muscle-model-oriented EMG-based control," in *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2009, pp. 1126–1131.
- [36] J. Huang, X. Tu, and J. He, "Design and Evaluation of the RUPERT Wearable Upper Extremity Exoskeleton Robot for Clinical and In-Home Therapies," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Syst.*, vol. 46, no. 7, pp. 926–935, Jul. 2016.
- [37] A. Bataller, J. A. Cabrera, M. Clavijo, and J. J. Castillo, "Evolutionary synthesis of mechanisms applied to the design of an exoskeleton for finger rehabilitation," *Mech. Mach. Theory*, vol. 105, pp. 31–43, Nov. 2016.
- [38] C. Liu, C. Zhu, H. Liang, M. Yoshioka, Y. Murata, and Y. Yu, "Development of a light wearable exoskeleton for upper extremity augmentation," in *2016 23rd International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*, 2016, pp. 1–6.
- [39] J. F. Ayala Lozano, G. Urriolagoitia Sosa, B. Romero Ángeles, C. R. Torres San-Miguel, L. A. Aguilar-Pérez, and G. M. Urriolagoitia-Calderón, "Diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior," *Rev. Colomb. Biotecnol.*, vol. 17, no. 1, pp. 79–90, May 2015.
- [40] I. Aguirre and M. Balza, "Diseño y construcción de un exoesqueleto de brazo con dos grados de libertad controlado con señales mioeléctricas para rehabilitación," *Multiciencias*, vol. 15, pp. 96–105, 2015.
- [41] K. Kiguchi, M. H. Rahman, M. Sasaki, and K. Teramoto, "Development of a 3DOF mobile exoskeleton robot for human upper-limb motion assist," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 56, no. 8, pp. 678–691, Aug. 2008.
- [42] K. Tanghe *et al.*, "Predicting Seat-Off and Detecting Start-of-Assistance Events for Assisting Sit-to-Stand With an Exoskeleton," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 1, no. 2, pp. 792–799, Jul. 2016.
- [43] A. Martinez, B. Lawson, and M. Goldfarb, "Preliminary assessment of a lower-limb exoskeleton controller for guiding leg movement in overground walking," in *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2017, pp. 375–380.
- [44] Y. Long, Z. Du, C. Chen, W. Dong, and W. Wang, "Online sparse Gaussian process based human motion intent learning for an electrically actuated

- lower extremity exoskeleton,” in *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2017, pp. 919–924.
- [45] M. K. Shepherd and E. J. Rouse, “Design and Validation of a Torque-Controllable Knee Exoskeleton for Sit-to-Stand Assistance,” *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 22, no. 4, pp. 1695–1704, Aug. 2017.
- [46] X. Chen, Y. Zeng, and Y. Yin, “Improving the Transparency of an Exoskeleton Knee Joint Based on the Understanding of Motor Intent Using Energy Kernel Method of EMG,” *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 25, no. 6, pp. 577–588, Jun. 2017.
- [47] A. I. A. Ahmed, H. Cheng, X. Lin, Z. M. E. Elhassan, and M. Omer, “On-line walking speed control in HUmAn-powered exoskeleton systems,” in *2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*, 2017, no. 61503060, pp. 1–7.
- [48] A. M. Dollar and H. Herr, “Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art,” *IEEE Trans. Robot.*, vol. 24, no. 1, pp. 144–158, Feb. 2008.
- [49] R. Steger, Sung Hoon Kim, and H. Kazerooni, “Control scheme and networked control architecture for the Berkeley lower extremity exoskeleton (BLEEX),” in *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006.*, 2006, no. May, pp. 3469–3476.
- [50] A. Zoss, H. Kazerooni, and A. Chu, “On the mechanical design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX),” in *2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2005, pp. 3465–3472.
- [51] A. T. Asbeck, R. J. Dyer, A. F. Larusson, and C. J. Walsh, “Biologically-inspired soft exosuit,” in *2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2013, pp. 1–8.
- [52] M. Talaty, A. Esquenazi, and J. E. Briceno, “Differentiating ability in users of the ReWalk™ powered exoskeleton: An analysis of walking kinematics,” in *2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2013, pp. 1–5.
- [53] Sarcos, “Guardian™ XO®,” 2017. [Online]. Available: <https://www.sarcos.com/products/guardian-xo/>. [Accessed: 06-Sep-2017].
- [54] Ekso Bionics, “EksoGT,” 2017. [Online]. Available: <http://eksobionics.com/ekshealth/products/>. [Accessed: 06-Sep-2017].
- [55] Cyberdyne, “HAL,” 2017. [Online]. Available: <https://www.cyberdyne.jp/english/products/HAL/index.html>. [Accessed: 07-Sep-2017].
- [56] Honda, “Honda exoskeleton,” 2017. [Online]. Available: <http://asimo.honda.com/innovations/>. [Accessed: 09-Sep-2017].
- [57] Indego, “Indego,” 2017. [Online]. Available: <http://www.indego.com/indego/en/Indego-Personal>. [Accessed: 07-Sep-2017].
- [58] Rex Bionics, “Rex,” 2017. [Online]. Available: <https://www.rexbionics.com/product-information/>. [Accessed: 07-Sep-2017].
- [59] K. R. Duda, D. J. Zimpfer, S. T. Tuohy, and J. J. West, “Exoskeleton suit for adaptive resistance to movement,” US20130040783A1, 2011.
- [60] H. M. Herr and R. J. Casler, “Implementing a stand-up sequence using a lower-extremity prosthesis or orthosis,” US20110082566A1, 2010.
- [61] T. Caires and M. Prywata, “Strap assembly for use in an exoskeleton apparatus,” US20140276264A1, 2013.
- [62] 공경철, 서현덕, and 전도영, “Robot for assistant exoskeletal power,” KR100716597B1, 2005.
- [63] 何爱颖, 尹军茂, 李剑锋, and 邓毅, “Wearable lower limb exoskeleton device,” CN201510472U, 2009.
- [64] J. L. Contreras-Vidal, S. Prasad, A. Kilcarslan, and N. Bhagat, “Methods for closed-loop neural-machine interface systems for the control of wearable exoskeletons and prosthetic devices,” US20150012111A1, 2014.
- [65] E. G. BRADSHAW, “Exoskeleton and footwear attachment system,” US8876123B2, 2012.
- [66] 刘昊, 李超, 赵勇, 李智寿, 姚旭平, and 韩思敏, “Pneumatic-muscle-driven exoskeleton assisting mechanism,” CN104552276A, 2014.
- [67] 姚燕安 and 武建昀, “Wearable lower-limb assistance exoskeleton,” CN103315834A, 2013.
- [68] 刘勤, “Human body exoskeleton walking-aid device with four exoskeleton lower limbs,” CN201920941U, 2011.
- [69] M. Goldfarb, R. J. Farris, and H. A. Quintero, “Movement assistance device,” US20130197408A1, 2011.
- [70] 余晖, 张煜, 张佳帆, 杨寅, and 杨灿军, “Assistant movement exoskeleton of three-degree of freedom ankle joint,” CN101596139A, 2009.
- [71] M. Goldfarb and S. MURRAY, “Movement assistance device,” WO2013188868A1, 2013.
- [72] F. Almesfer and A. J. Grimmer, “Control System for a Mobility Aid,” US20120172770A1, 2009.
- [73] 朱延河, 赵杰, and 张超, “Portable energy-storage type external skeleton assisting robot,” CN103610524A, 2013.
- [74] C. Walsh *et al.*, “Soft exosuit for assistance with human motion,” US20150173993A1, 2013.
- [75] H. M. Herr, J. A. Weber, and R. Casler, “Hybrid terrain-adaptive lower-extremity systems,”

- US20100174384A1, 2009.
- [76] B. Dariush, "Human assist system using gravity compensation control system and method using multiple feasibility parameters," US7390309B2, 2004.
- [77] H. Kazerooni, K. Amundson, and N. Harding, "Device and Method for Decreasing Energy Consumption of a Person by Use of a Lower Extremity Exoskeleton," US20090292369A1, 2009.
- [78] 李伟达, 李娟, 胡海燕, 李春光, and 张楠, "Wearable lower limb exoskeleton walking-assisted robot," CN103054692A, 2013.
- [79] O. Unluhisarcikli, C. Mavroidis, P. Bonato, M. Pietrusinski, and B. Weinberg, "Lower Extremity Exoskeleton for Gait Retraining," US20130226048A1, 2012.
- [80] S. Agrawal, K. K. Mankala, and S. Banala, "Passive Swing Assist Leg Exoskeleton," US20080249438A1, 2008.
- [81] H. Fujimoto, T. Shirogaichi, and K. Ueda, "Muscular strength assisting apparatus," JP2007097636A, 2005.
- [82] A. Goffer and C. ZILBERSTEIN, "Locomotion assisting device and method," US20100094188A1, 2008.
- [83] G. Aguirre-Ollinger, A. Goswami, J. E. Colgate, and M. A. Peshkin, "Controller for an assistive exoskeleton based on active impedance," US7731670B2, 2007.
- [84] R. Angold, N. Harding, and H. Kazerooni, "Semi-powered lower extremity exoskeleton," US20070056592A1, 2006.
- [85] 朱延河, 赵杰, and 张超, "Exoskeleton robot system with human motion detecting function and control method of robot system," CN104188675A, 2014.
- [86] 陈勇, 李荣华, 张连东, 宋雪萍, and 刘金伟, "Exoskeleton walk-assisting robot for old people and bionic control method for anti-falling gaits," CN103263339A, 2013.
- [87] D. E. Johnson, J. A. Hauck, O. Osland, and M. T. Johnson, "Portable system for assisting body movement," US20090255531A1, 2009.
- [88] 内森·H·哈丁, 拉斯顿·安戈尔德, and 胡马云·卡泽鲁尼, "Lower extremity exoskeleton," CN101132753A, 2006.
- [89] T. Caires and M. Prywata, "Control system for exoskeleton apparatus," US20150025423A1, 2013.
- [90] 吴新宇, 彭安思, 刘园园, 王灿, 正端, and 徐扬生, "Portable and wearable exoskeleton robot for lower limb recovery and walking aid," CN102871822A, 2012.
- [91] M. Okuda, "Body-worn muscular strength assisting device," JP2011092507A, 2009.
- [92] S. H. Scott, I. E. Brown, and S. J. Ball, "Robotic exoskeleton for limb movement," US20080304935A1, 2008.
- [93] 任昭霖, 沈林勇, 章亚男, 邵文韞, 钟翠华, and 钱晋武, "Anti-destabilization framework type walking assisting legs," CN102440891A, 2011.
- [94] 刘勤, "Linear motor driven device for human body lower limb exoskeleton walking aid device driven by linear motor," CN201920940U, 2011.
- [95] C. E. Carr and D. J. Newman, "Exoskeleton energetics: Implications for planetary extravehicular activity," in *2017 IEEE Aerospace Conference*, 2017, pp. 1–14.
- [96] B. L. Shields, J. A. Main, S. W. Peterson, and A. M. Strauss, "An anthropomorphic hand exoskeleton to prevent astronaut hand fatigue during extravehicular activities," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. - Part A Syst. Humans*, vol. 27, no. 5, pp. 668–673, 1997.
- [97] M. P. de Looze, T. Bosch, F. Krause, K. S. Stadler, and L. W. O'Sullivan, "Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load," *Ergonomics*, vol. 59, no. 5, pp. 671–681, 2016.
- [98] R. David *et al.*, "Towards an Operator 4.0 Typology: a Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies," *Int. Conf. Comput. Ind. Eng. CIE 46*, no. October, pp. 0–11, 2016.
- [99] C. Constantinescu, D. Popescu, P.-C. Muresan, and S.-I. Stana, "Exoskeleton-centered Process Optimization in Advanced Factory Environments," *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 740–745, 2016.
- [100] L. O'Sullivan, R. Nugent, and J. van der Vorm, "Standards for the Safety of Exoskeletons Used by Industrial Workers Performing Manual Handling Activities: A Contribution from the Robo-Mate Project to their Future Development," *Procedia Manuf.*, vol. 3, no. Ahfe, pp. 1418–1425, 2015.
- [101] C. Constantinescu, P.-C. Muresan, and G.-M. Simon, "JackEx: The New Digital Manufacturing Resource for Optimization of Exoskeleton-based Factory Environments," *Procedia CIRP*, vol. 50, pp. 508–511, 2016.
- [102] N. Sylla, V. Bonnet, F. Colledani, and P. Fraisse, "Ergonomic contribution of ABLE exoskeleton in automotive industry," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 44, no. 4, pp. 475–481, Jul. 2014.
- [103] Panasonic, "AWN-03," 2017. [Online]. Available: <http://news.panasonic.com/global/stories/2016/44969.html>. [Accessed: 08-Sep-2017].
- [104] G. Zhao, M. Sharbafi, M. Vlutters, E. van Asseldonk, and A. Seyfarth, "Template model inspired leg force feedback based control can assist human walking," in *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2017, pp. 473–478.
- [105] W. M. dos Santos, S. L. Nogueira, G. C. de Oliveira, G. G. Pena, and A. A. G. Siqueira, "Design and

- evaluation of a modular lower limb exoskeleton for rehabilitation,” in *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2017, pp. 447–451.
- [106] Z. Zhou, Y. Liao, C. Wang, and Q. Wang, “Preliminary evaluation of gait assistance during treadmill walking with a light-weight bionic knee exoskeleton,” in *2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2016, pp. 1173–1178.

# Propuesta para el mejoramiento de procesos productivos: Caso de estudio

Lorenzo Antonio Hernández González

Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Francisco Durán Hernández

Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

**Resumen:** En el presente documento se plantea un proyecto que busca la optimización de diferentes procesos de manufactura utilizados en la empresa Neo Technology Solutions, en específico en el área denominada Stingray donde se han presentado problemas por incumplimiento de fechas de entrega de producto terminado al cliente, mediante la confirmación de un equipo multidisciplinario se realiza el análisis de los procesos de manufactura, tomando en cuenta las diferentes variables identificadas y la utilización de herramientas de ingeniería que se adecuen a las necesidades de la empresa y el proceso en específico. Lo anterior con la finalidad de reducir problemas de calidad y de balanceo de línea que han contribuido al problema de incumplimiento de las fechas de entrega.

**Palabras clave:** Rediseño de estación de trabajo, balanceo de líneas, análisis de procesos, desarrollo de estándares y productividad.

## 1. Introducción

Neo Technology Solutions es una empresa de manufactura, dedicada al procesamiento de productos electrónicos, en una de sus áreas llamada Stingray se han presentado problemas con el tiempo de entregas al cliente. Los dos últimos meses se han estado teniendo problemas para cumplir las fechas de entrega de producto terminado con el cliente, esto debido al diseño de las estaciones de trabajo y a un balanceo ineficiente de las operaciones.

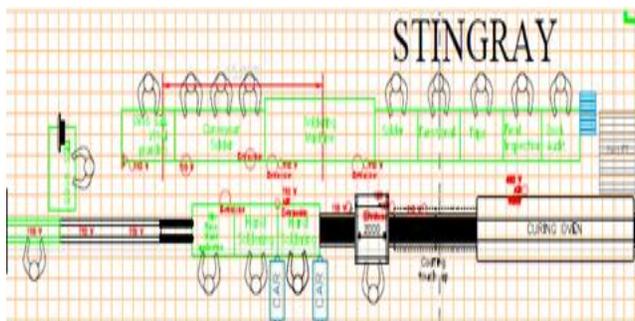


Figura 1. Layout del área de Stingray.

Es por ello por lo que la empresa decidió realizar un evento de mejoramiento continuo que analizara esta problemática, por lo que se conformó un equipo multidisciplinario, con los objetivos generales y específicos que a continuación se describen.

## 2. Objetivo general

Rediseñar procedimientos para el mejoramiento de los procesos productivos que, ajustados a la estructura y funcionamiento actual de la empresa, favorezcan el mejoramiento de los tiempos de producción y el nivel de servicio al cliente de acuerdo con los estándares requeridos.

## 3. Objetivos específicos

1. Realizar la toma de tiempos en cada una de las estaciones de trabajo y estandarizar los procesos.
2. Rediseñar los métodos de trabajo para las áreas de

producción de tal manera que se logre el cumplimiento de los estándares establecidos previamente.

3. Diseñar el proceso de planeación de la producción y los materiales, para que permita una ejecución eficiente de las órdenes del cliente.
4. Elaborar un análisis costo/beneficio de la implementación de las mejoras propuestas y/o la metodología diseñada en este proceso.

**4. Preguntas de investigación**

1. ¿Se puede llevar a cabo la modificación de la línea de producción?
2. ¿Se podrá obtener el balance exacto de la línea de producción?
3. ¿Es posible generar ayudas visuales con la información obtenida?
4. ¿Se podrá cumplir con los requerimientos del cliente?

**5. Hipótesis de investigación**

Hipótesis correspondiente a la factibilidad de llevar a cabo la modificación en la línea de producción:

- $H_0$ :  $\leq$  de 40% de probabilidad de que se pueda llevar a cabo la modificación de la línea de producción.
- $H_1$ :  $>$  de 40% de probabilidad que no se acepte la remodelación de la línea.

Hipótesis correspondiente a la efectividad de las modificaciones en la línea de producción para el cumplimiento de los requerimientos del cliente:

- $H_0$ :  $\leq$  de 50% de probabilidad de cumplir con los requerimientos del cliente.
- $H_1$ :  $>$  de 50% de probabilidad de cumplir con los requerimientos del cliente.

**6. Desarrollo**

**6.1. Delimitación e identificación del problema**

Para identificar el plan de acción requerido para combatir la problemática detectada, el equipo multidisciplinario se apoyó de la herramienta de los cuestionamientos la cual puede ser observada en la Tabla 1.

Tabla 1. Técnica de cuestionamientos.

Técnica de Cuestionamientos	
¿Que?	Baja productividad y demora en entregas al cliente.
¿Cuándo?	Últimos dos meses.
¿Donde?	Línea de producción Stingray.
¿Como?	Realizar análisis de operaciones de la línea

	de producción, incluyendo análisis ergonómico.
¿Quien?	El departamento de Ingeniería de Proceso en coordinación con el departamento de Lean Manufacturing.
¿Por qué?	Satisfacer los requerimientos del cliente en el tiempo y cantidad requerida.

Debido a que la empresa se encuentra en un proceso de certificación bajo la norma ISO 9001, es necesario realizar mejoramientos en sus procesos productivos, procesos operativos, de apoyo y gerenciales (para mejorar sus indicadores de calidad, volumen y costo), siendo uno de los puntos clave a considerar los indicadores relacionados con la eficiencia del proceso productivo, especialmente los relacionados con la oportunidad en la entrega; es decir, el cumplimiento del tiempo en que la empresa se compromete a entregar un trabajo, de acuerdo con las características del mismo.

El estudio y conocimiento de las características del trabajo, permite establecer un tiempo estándar de elaboración de los trabajos desde que se ingresan las especificaciones de los mismos al sistema hasta que se facturan, como se observa en la Figura 2.

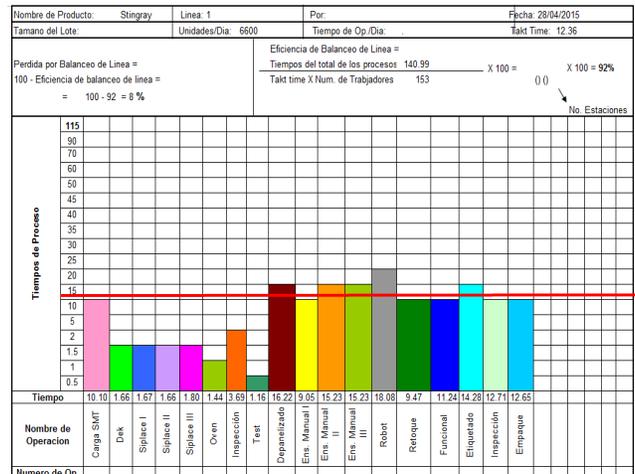


Figura 2. Balanceo de línea para operación actual.

**6.2. Muestreo de trabajo**

Para el desarrollo de los programas de muestreo de trabajo, este proceso se inició convocando una reunión con la Gerencia, Sub-Gerencia, Jefatura de Producción y el Grupo Coordinador del Sistema de Gestión de Calidad de la empresa, con el fin de explicar las características de las metodologías posibles a utilizar para el establecimiento de estándares de tiempo (tiempos predeterminados o estudio de tiempos), sus ventajas, sus desventajas y analizar éstas respecto a las características propias de los procesos a los cuales se les habrían de establecer estándares de tiempo.

Tras esta reunión, se determinó que la metodología más adecuada para el establecimiento de los tiempos estándar de las operaciones de Stingray. Sería el estudio de tiempos, principalmente, por las razones expuestas por Niebel y Freivalds (2004) en su libro *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño*, asimismo por los argumentos siguientes planteados por el equipo multidisciplinario:

- Como cada producto puede ser de diferente material, diferente fórmula y diferentes características, sus tiempos de elaboración en cada operación van a ser diferentes. Si se seleccionan los tiempos predeterminados se tiene el riesgo de que los tiempos obtenidos no sean lo suficientemente representativos para los diferentes productos elaborados por la empresa (ya que pudiera no observarse variabilidad entre ellos).
- En cambio, el estudio de tiempos cronometrados al realizarse mediante un método de muestreo requiere de varias observaciones, lo que ofrece más probabilidad de censar los diferentes tipos de productos elaborados, y así, obtener un promedio de tiempo estándar más representativo para cada una de las operaciones y por tanto variación entre los diferentes productos elaborados por la empresa.
- El estudio es más representativo de las condiciones propias de la línea de producción, ya que los datos son tomados desde la misma línea, utilizando los operarios que manufacturan las piezas, con datos colectados en diferentes momentos del día, distribuidos aleatoriamente y no se recurre a tiempos tipo obtenidos por operaciones no relacionadas.
- Para evitar que los operarios estén sujetos a largos períodos de análisis de su labor, se recomienda el uso de toma de video lo cual hace que haya menos presión en su desempeño normal de actividades y permite al analista el uso de software para la mejor identificación de los tiempos de inicio y finalización de las actividades.

### 6.3. Diseño de la investigación

En el marco de la investigación planteada, referido a la elaboración de un plan de mejora de proceso en la línea de producción de la empresa Stingray, se define el diseño de la investigación como el plan o la estrategia global en el contexto del estudio propuesto, que permite orientar desde el punto de vista técnico y guiar todo el proceso de investigación, desde la recolección de los primeros datos, hasta el análisis e interpretación de los mismos en función de los objetivos definidos en la investigación.

Acorde a Norman y Frazier (2000), atendiendo a los objetivos planteados, la investigación se orienta hacia un diseño de campo, por cuanto, este diseño de investigación no sólo se basa en observar, sino recolectar los datos directamente de la realidad del objeto de estudio, en su

ambiente cotidiano, para posteriormente analizar e interpretar los resultados.

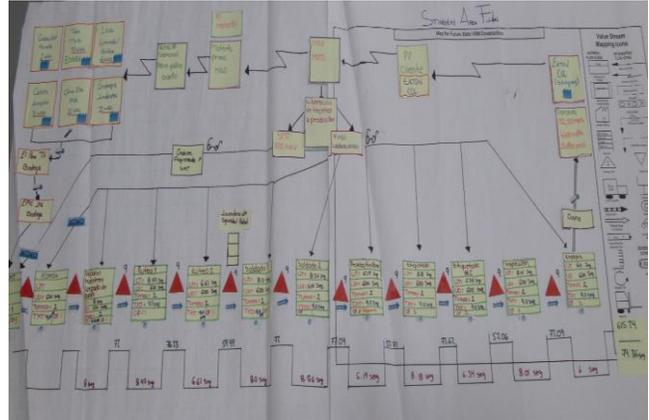


Figura 3. Diseño de la investigación.

### 6.4. Descripción del proyecto y procedimientos

El proceso de la línea de Stingray comienza con la llegada de material para el ensamble desde la línea de SMT, que es donde aplican soldadura al material para posteriormente mandarlo a la línea de producción en magazines o charolas, después de que llega a la línea de producción comienzan a cortar el material en el panel, de ahí se toma el material de la charola y comienzan a colocarlo en unos pallets donde posteriormente se le agrega un cable para después ser soldado en las siguientes dos estaciones de soldadura, ya cuando están soldados se pasan a la prueba funcional donde se les realiza una prueba eléctrica, posteriormente se pasa a la colocación de un tape térmico y de ahí a empaque, donde se empacan en cajas de 200 piezas, se realiza una revisión de calidad, se prepara la documentación de embarque para posteriormente ser enviado el producto terminado al cliente. La Figura 4 presenta la distribución propuesta para las estaciones de trabajo.

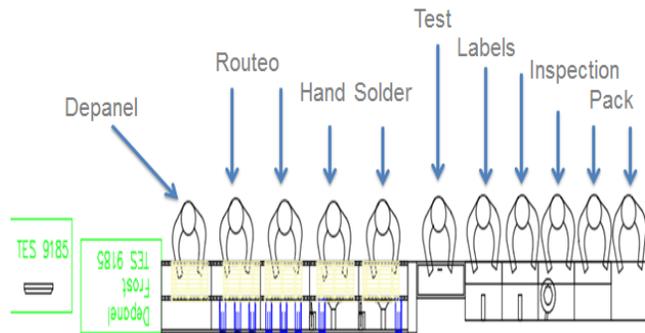


Figura 4. Layout propuesto del área de Stingray.

Al realizar las mejoras en el proceso, siguiendo como base los lineamientos y recomendaciones proporcionados por la OIT (2001), se procedió a hacer un estudio de tiempos donde se observó una disminución generalizada de los tiempos de operación de cada estación de trabajo al contrastarlos



# Evento de mejora continua en área de resguardo de material no conformante

Clara Saraf Galicia Ortega

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Francisco Durán Hernández

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Resumen:** En el presente documento se realiza el análisis del área de contención de producto no conformante (24H/MRB), esta área ha visto en los últimos meses un incremento en la cantidad promedio de materiales en espera de revisión y análisis por parte del departamento de calidad, los costos asociados a mantener el material en espera de liberación es de \$10,156.22 dólares diarios, material que es necesario liberar para poder cumplir con los requerimientos del cliente, para resolver la problemática se hace uso de herramientas básicas del mejoramiento continuo como lo son el análisis de distribución de planta, Kanban y la filosofía de las 5'S. además de una revisión de los métodos y procedimientos de trabajo (criterios de aceptación y de rechazo de producto terminado). Una vez implementadas las mejoras propuestas la empresa ha obtenido una reducción del 94% del material en contención y una disminución del 87.69% de los costos asociados al almacenamiento de este material.

**Palabras clave:** Kanban, filosofía 5'S, distribución de planta, criterios de aceptación y de rechazo.

---

## 1. Introducción

Flextronics Manufacturing Juárez es una empresa maquiladora capacitada para la fabricación de productos médicos; en ella se destaca el área de Johnson & Johnson que se dedica a la fabricación de productos quirúrgicos utilizados en la industria médica para la realización de cirugías oseas, en esta área se detectaron áreas de oportunidad para aplicar mejoras en el proceso, ya que debido al incremento del requerimiento por parte del cliente el número de material clasificado como no conformante se elevó, este documento explica los conceptos básicos utilizados para llevar a cabo esta mejora y como fue implementada con éxito; además plasma evidencias que muestran las condiciones anteriores y posteriores a la mejora, es decir una vez aplicadas las herramientas de mejora.

24H/MRB donde se concentra el material en espera de ser revisado, certificado y reprocesado; dicha área es considerada como controlada en cuestión de costos ya que el material que ahí se encuentra no debe permanecer por más de 24 horas, esta área no tiene personal fijo en ninguno de los tres turnos en los cuales trabaja la empresa. Asimismo, la empresa no cuenta con un inventario del producto almacenado en el área, así como método de trabajo definido.

Desde el punto de vista de la ingeniería de procesos es importante que el material que se almacena en cualquier área de una organización tenga un flujo rápido, ya que de no ser así se retrasa el procesamiento del producto y esto implica retraso de entrega al cliente además de un gasto significativo para la empresa, es decir se generan desperdicios.

Este incremento en el número de materiales clasificados como no conformantes originó un problema en el área

El objetivo de la mejora planteada en el presente documento incluirá la realización de un inventario el cual

permita saber que material se encuentra en el área analizada y donde se encuentra. Al inicio del proyecto los costos de los materiales no conformantes ascendían a \$10,156.22 dólares diarios, dato obtenido de los registros del sistema SAP referentes a piezas en proceso no localizadas.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Distribución de planta

De acuerdo con Render (2009) la distribución de instalaciones es una de las decisiones clave que determinan la eficiencia de las operaciones a largo plazo. La distribución de instalaciones tiene numerosas implicaciones estratégicas porque establece las prioridades competitivas de la organización en relación con la capacidad, los procesos, la flexibilidad y el costo, igual que con la calidad de vida en el trabajo, el contacto con el cliente y la imagen.

Una distribución eficiente puede ayudar a una organización a lograr una estrategia que apoye la diferenciación, el bajo costo o la respuesta. El diseño de la distribución debe considerar la manera de lograr lo siguiente:

1. Mayor utilización de espacio, equipo y personas.
2. Mejor flujo de información, materiales y personas.
3. Mejor ánimo de los empleados y condiciones de trabajo más seguras.
4. Mejor interacción con el cliente.
5. Flexibilidad para realizar cambios a la distribución actual.

Otra metodología para gestionar y establecer una distribución de planta eficiente es el Systematic Layout Planning, pudiéndose encontrar una aplicación en un almacén de recibo de materia prima en el trabajo de Vázquez Hipólito, Pérez Olguín y Sánchez de Lara (2016).

### 2.2. Filosofía de las 5'S

Heizer y Render (2004) mencionan que los administradores de operaciones han embellecido la "limpieza" para incluir una lista de verificación que ahora se conoce como las 5'S. Esta filosofía fue desarrollada por los japoneses y no sólo son una buena lista de verificación para las operaciones esbeltas, sino que también proporcionan un vehículo sencillo con el cual ayudar al cambio de cultura que suele ser necesario para instalar las operaciones esbeltas. Las 5'S son:

- Separar y/o segregar, se utiliza para mantener lo que es necesario y quitar todo lo demás del área de trabajo; cuando haya duda, desecharlo. Identificar los elementos sin valor y eliminarlos. Al deshacerse de estos elementos se obtiene espacio disponible y, por lo general, se mejora el flujo de trabajo.

- Simplificar y/o arreglar, permite adaptar y usar herramientas de análisis de métodos para mejorar el flujo de trabajo y reducir el desperdicio de movimientos. Considerar aspectos ergonómicos de largo y corto plazos. Etiquetar y señalar para facilitar el uso sólo cuando es necesario en el área de trabajo inmediato.
- Limpiar y/o barrer, establece el limpiar a diario, eliminar del área de trabajo todas las formas de suciedad, contaminación y desorden.
- Estandarizar, permite eliminar variaciones del proceso al desarrollar procedimientos operativos estandarizados y listas de verificación; los buenos estándares hacen que lo normal resulte obvio. Estandarizar equipo y herramientas de manera que se reduzca el tiempo y el costo de la capacitación cruzada. Capacitar y volver a capacitar al equipo de trabajo de forma que cuando ocurra alguna desviación, ésta sea evidente para todos.
- Sostener y/o autodisciplina, indica revisar periódicamente para reconocer esfuerzos y motivar el sostenimiento del progreso.

A menudo, los administradores de Estados Unidos agregan la seguridad y el soporte para establecer y mantener un sitio de trabajo esbelto, donde:

- Seguridad, ayuda a establecer buenas prácticas de seguridad en las cinco actividades anteriores.
- Soporte y/o mantenimiento, permite reducir la variabilidad, los tiempos muertos no planeados y los costos. Integrar las tareas diarias de limpieza con mantenimiento preventivo.

### 2.3. Los 7 desperdicios

Pérez Martínez, Pérez Olguín, Fernández Gaxiola y Zepeda Miranda (2014) mencionan los 7 desperdicios, los cuales fueron primeramente clasificados por Taiichi Ohno, padre del sistema Toyota de producción, que son:

1. Desperdicio por sobreproducción.
2. Desperdicio por inventario.
3. Desperdicio por reparaciones o por rechazo de productos defectuosos.
4. Desperdicio de movimientos.
5. Desperdicio de procesamiento.
6. Desperdicio de espera.
7. Desperdicio de transporte.

**Sobreproducción:** Producir producto en mayor cantidad de la requerida por el cliente. La mentalidad general de los supervisores de producción es la de ir por delante de los requerimientos, para así garantizar el programa de producción aún en el caso de tener algún contratiempo con los equipos o los insumos. Pero esto los lleva a acumular producto lo que implica que se está gastando más dinero del

necesario al utilizar más materia prima de la que se requiere, así como la utilización de equipos y energía que no se necesita en ese momento; además de correr el riesgo que dicho exceso de material sufra algún tipo de daño o contenga algún problema que no fue identificado y requiera de retrabajo posteriormente. Todo esto solo agrega costo al producto final.

**Inventario:** Producto terminado, producto en proceso, partes y piezas mantenidas en el inventario normalmente no agregan valor; al contrario, solo agregan costo por ocupar espacio, requerir equipo de manejo de materiales, cadenas de transporte y montacargas. El exceso de inventario acumulado en la planta solo acumula polvo, pero nada de valor agregado y su calidad se degradará en el tiempo. Una vez que se bajan los niveles de inventario, se empezará a ver los problemas que requieren solución para poder agregar valor al producto.

**Reparación/Rechazos:** Los rechazos de calidad interrumpen el proceso productivo, generan acumulación de material y costosos procesos de reparación, que eventualmente puede generar que algunos productos defectuosos lleguen a las manos de los clientes. Todo esto genera incrementos de costo, así como inconformidad por parte de los clientes.

**Movimiento:** Todo movimiento de una persona que no sea necesario para agregar valor al proceso es un desperdicio. Es muy importante garantizar que los componentes necesarios para efectuar el trabajo de la persona se encuentran lo más cerca posible de la operación, la búsqueda de material al inventario, el acarreo de piezas pesadas, la búsqueda de documentos, todo esto son muestras de desperdicio que se deben evitar. Una buena observación de la operación puede indicar condiciones que pueden ser evitadas para disminuir los movimientos innecesarios.

**Sobre-procesamiento:** Efectuar pasos innecesarios para producir un producto es un ejemplo de desperdicio de sobre-procesamiento. Movimiento excesivo de componentes dentro de la planta hasta llegar al sitio donde finalmente serán ensamblados los mismos también son ejemplos de desperdicio. Estos pueden ser evitados simplificando los procesos y agrupando operaciones más cerca del lugar de ensamble final.

**Espera:** Cuando un operario espera por el resultado de otra operación para poder continuar su proceso, cuando un equipo falla y la persona no puede continuar con su operación, este tipo de desperdicio normalmente puede ser observado fácilmente.

**Transporte:** El mover materiales y piezas en el proceso productivo es algo normal, pero es muy importante tener en cuenta que todo este movimiento no agrega nada de valor al producto; por tal razón todos estos movimientos deben ser minimizados, pues los mismos son innecesarios y podrían incorporar daño al producto al no ser apropiadamente manejado.

La eliminación de desperdicios tendrá un impacto directo en el costo de los productos, en el incremento de la productividad, en el mejoramiento de la calidad y en la organización del sitio de trabajo, entre otros. Pero si realmente se quiere que estas mejoras perduren en el tiempo, será necesario realizar un esfuerzo para garantizar la estandarización de las operaciones, de manera que se pueda garantizar que cada operario involucrado en esas operaciones tiene el nivel de conocimiento y entrenamiento necesario para ejecutar dichas operaciones y que dicha información puede ser utilizada para entrenar a los nuevos miembros de la organización cuando sea necesario.

#### **2.4. Kanban**

Un sistema de mejoramiento continuo famoso es el kanban, el cual fue propuesto por Toyota, la compañía automotriz japonesa. Kanban es una palabra japonesa que significa tarjeta. El sistema de control de la producción kanban se basa en el uso de tarjetas para autorizar la producción y el flujo de trabajo en la planta (Groover, 2007). Existen dos tipos de kanban:

1. Kanban de producción.
2. Kanban de transporte.

Un kanban de producción autoriza la elaboración de un lote de piezas. Las piezas se colocan en contenedores, de modo que el lote debe consistir sólo en las piezas suficientes para llenar el contenedor. No se permite la producción de piezas adicionales. Un kanban de transporte autoriza el movimiento del contenedor de piezas a la siguiente estación de trabajo, ubicada está en la secuencia de las operaciones.

### **3. Definición del problema o identificación del problema**

El equipo de calidad de la empresa Flextronics Manufacturing Juarez detectó que al incrementar la producción se elevaba el número de material clasificado como no conformante, con esto el inventario de material en contención y el número de quejas de cliente se incrementaba. Siendo el incremento en el material en contención crítico puesto que al no retrabajarse y certificarse provocaba lotes de materiales incompletos y por consiguiente retrasos en el cumplimiento de los requerimientos del cliente.

Dando como resultado una afectación económica para la empresa. Ya que no cuenta con el material necesario para cumplir con el requerimiento del cliente y para certificar el material clasificado como no conforme se incurría en tiempo extra para el personal de calidad. Asimismo, durante el proceso de certificación de dicho material se observó un entrenamiento deficiente del personal a cargo de la inspección, así como una carencia de métodos y especificaciones de producto terminado, ya que no se contaba con un estándar de criterios cosméticos claro (carencia que provocaba falsos rechazos por parte de los inspectores de calidad).

#### 4. Plan de acción

El proceso de mejoramiento dio inicio con un plan de implementación de la filosofía de las 5'S, el primer paso fue establecer la identificación correcta del material ahí resguardado, mediante un análisis de la distribución se observó que el layout del área no era el apropiado para el flujo ágil de los materiales, asimismo esta distribución impedía el máximo aprovechamiento del espacio disponible.

De forma paralela se realizó un inventario físico para identificar cuáles y cuantos materiales estaban ubicados en el área 24H/MRB, este inventario fue registrado en una hoja de cálculo de MS Excel, y se elaboró con la finalidad de controlar las entradas y salidas del material, ya que el material considerado no conforme no se registra en el sistema SAP utilizado por la empresa.

Inmediatamente fue posible notar la existencia de números de lote con defectos considerados no críticos y cuyo resguardo no era necesario, mismo material que fue enviado a scrap, reduciendo el inventario total del área 24H/MRB en un 15%. Además, fue necesario dar un entrenamiento al personal responsable de la inspección de piezas en proceso sobre los defectos cosméticos, debido a que no se contaba con un criterio estandarizado, lo que ocasionaba clasificación de material no conforme incorrecta (falsos rechazos).

De igual manera fue detectado que el cuello de botella era la generación de NCMR (Non Conforming Material Report), que al no ser generado impedía la salida del material del área de contención. Este documento debía ser generado por el personal del área de OBA, los cuales no estaban capacitados para la realización de este documento delegando la obligación al técnico de calidad. Para resolver este problema se creó un flujo identificando responsables de cada actividad y el tiempo requerido para la realización de las mismas.

La Figura 1 presenta las condiciones en las que se encontraba el área 24H/MRB, en ella es posible identificar que el área no cuenta con las delimitaciones necesarias, además se observa que el material ahí resguardado no se encuentra identificado adecuadamente.



Figura 1. Área 24H/MRB antes de la mejora.

La Figura 2 presenta los mejoramientos que se implementaron en el área 24H/MRB, en ella se puede apreciar que debido al entrenamiento dado al personal se logró reducir el inventario del área, dando un mayor flujo al material, a su vez se observa la incorporación de tarjetas kanban la cual contiene información sobre el material ahí resguardado como es:

- Número de parte.
- Cantidad.
- Fecha de ingreso del material al área 24H/MRB.
- Número de lote.
- Número de orden de trabajo.
- No conformidades encontradas en el material.



Figura 2. Área 24H/MRB después de la mejora.



Figura 3. Identificación de material.

En la Figura 3 se observa como el material se encuentra correctamente identificado, mostrando una tarjeta en la cual se especifica el defecto que tiene cada una de las piezas.

pudo detectar la razón principal del rezago del material, el cual era la incorrecta identificación de material, se clasificaba como no conformante cuando el material era conformante, esto era debido a que el personal carecía de un entrenamiento sobre el manejo adecuado del mismo y los criterios de aceptación y de rechazo no eran lo suficientemente claros.

## 6. Resultados

Mediante este proyecto fue posible alcanzar la meta de reducir el inventario diario de esta área logrando que los costos se redujeran de \$10,156.22 dólares a \$1,250.00 dólares como máximo, además contando que el personal se encuentra capacitado en el manejo adecuado del material se evitaban reparaciones por estas causas y se redujo la cantidad del material clasificado como no conformante procedente del área de ensamble.

En la Figura 5 y la Figura 6 es posible observar la reducción del material almacenado en el área 24H/MRB, los cuales disminuyeron de un promedio de 2,020 piezas diarias a 120 piezas en promedio al implementar el proyecto.

Inventario 24H										Código de colores							
SPH01	RELOT	SEL	Ord	LINE	FABR	Defecto 1	Defecto 2	Defecto 3	Defecto 4	Unid. x lot	Entreg	REC	ALMAC	FECHA	FECHA	Observaciones	
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP0000	04	1	00	Problemas de calidad				4	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME	NO CONFORME			
4430204	FLACED	LP															

## 7. Conclusiones

Haciendo uso del análisis de distribución de planta y de la filosofía de las 5'S fue posible disminuir la cantidad de materiales en espera de certificación por parte de calidad de 2,020 piezas diarias a 120 unidades, lo que representa una disminución del 94%.

Asimismo, mediante un cambio de procedimientos que definieran claramente los criterios de aceptación y de rechazo fue posible lograr una disminución de costos asociados de \$10,156.22 dólares a \$1,250.00 dólares lo que representa una disminución del 87.69% diaria.

Lo anterior se logro haciendo uso de herramientas básicas de mejoramiento continuo, de observación y análisis de la situación actual, lo que prueba a la empresa que aún es posible lograr beneficios para el proceso productivo sin necesidad de hacer implementaciones onerosas.

*Mira a tu alrededor todo cambia, todo en este mundo está en un continuo estado de evolución, afinado, mejora, adaptación, ..., cambiando. No fuimos puestos en esta tierra para permanecer estancados.*

*Steve Maraboli*

## 8. Referencias

- [1] Heizer, Jay y Render, Barry (2004). "Principios de Administración de Operaciones". Editorial Pearson Educación. México. ISBN-10 # 9702605253, ISBN-13 # 9789702605253.
- [2] Groover, Mikell P. (2007). "Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas". Editorial Pearson Educación. México. ISBN-10 # 9688808466, ISBN-13 # 9789688808466.
- [3] Hernández García, Humberto; Torres Cantero, José y Pérez Olguín, Iván Juan Carlos (2012). "Desarrollo e Implementación de Procedimientos para el Área de Almacén". Memorias de Estadía Industrial. Editorial UTCJ. ISBN-13 # 9786078262007.
- [4] Pérez Martínez, Leonardo Daniel; Pérez Olguín, Iván Juan Carlos; Fernández Gaxiola, Consuelo Catalina y Zepeda Miranda, Javier (2014). "Reducción y Control de Inventarios". Ingeniería de Procesos: Casos Prácticos. Editorial UTCJ. ISBN-13 # 9786078262038.
- [5] Vázquez Hipólito, Marís Yeni; Pérez Olguín, Iván Juan Carlos y Sánchez de Lara, Juan (2016). "Redistribución en el Área de Recibos Mediante SLP (Systematic Layout Planning)". La Investigación Como Herramienta del Desarrollo. Editorial UTCJ. ISBN-13 # 9786078262083.

# Manejo, control y disposición final del fundente: Residuos peligrosos

Héctor Alejandro Esquivel Rosales

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Francisco Durán Hernández

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Resumen:** La contaminación por metales pesados es un tema de actualidad tanto en el área ambiental como en el de salud pública, debido al impacto negativo que se ha dejado en la percepción de la población. El presente documento tiene como finalidad proponer la implementación de un sistema de gestión ambiental para la disminución del acumulamiento de residuos peligrosos en áreas no adecuadas para su contención. El principal objetivo de este proyecto es dar a conocer propuestas para un adecuado manejo, control y disposición de residuos peligrosos, para contribuir de esta manera a reducir los impactos negativos al medio ambiente, evitando daños a los ecosistemas, a la población en general y evitar violaciones a los preceptos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), así como evitar multas que van desde 20,000 a 50,000 días de salario mínimo al momento de imponer la sanción.

**Palabras clave:** Control de residuos peligrosos y fundente.

---

## 1. Introducción

Cada vez es mayor la demanda de materiales para la construcción o fabricación de nuevos productos para satisfacer las necesidades humanas, como también tiende a crecer, la cantidad de residuos peligrosos generados por estos procesos. Esto significa que, si bien las políticas gubernamentales tienden a generar una mayor competitividad, lo hace a costa de un mayor desorden en las zonas externas de donde se surte de los materiales y a las cuales expulsa sus residuos.

En la mayor parte de los residuos peligrosos, no es tanto el peligro que entraña el residuo, sino sus altas tasas de generación y el volumen de ocupación del mismo, lo que ha incentivado diversos estudios acerca del aprovechamiento y manejo de residuos, en busca de soluciones para una sostenibilidad ambiental.

Por esta razón y partiendo del análisis de la situación actual de los residuos peligrosos, específicamente los derivados del proceso de soldadura por arco sumergido, se pretende

dar respuesta, a la falta de conocimiento interno en la empresa del daño provocado por estos procesos y del mal manejo de reciclaje de estos residuos, dentro de las características de un programa de administración ambiental, mostrando una solución al problema generado por la producción de residuos peligrosos.

## 2. Planteamiento del problema

Industrias Zaragoza S.A. de C.V. en una empresa mexicana de ramo metalmecánica dedicada a la fabricación de recipientes sujetos a presión para contener gas L.P., gran parte de estos recipientes se elaboran de aceros inoxidables, aceros al carbón y aleaciones metálicas, utilizando los procesos de soldadura de arco sumergido y tratamientos térmicos.

Dentro de sus actividades principales se encuentran los trabajos de soldadura, corte, pailería, conformado, y maquinado de piezas metálicas. Dentro de estas áreas de producción el proceso de soldadura por arco sumergido

(Figura 1) es donde se genera la mayor cantidad de residuos peligrosos. El fundente es un material de aporte utilizado en el proceso de soldadura de arco sumergido.

La falta de control y manejo adecuado de este residuo se debe a que el personal desconoce las características que categorizan a un residuo como residuo peligroso y como consecuencia estos son depositados como cualquier otro residuo sólido generado (Figura 2).

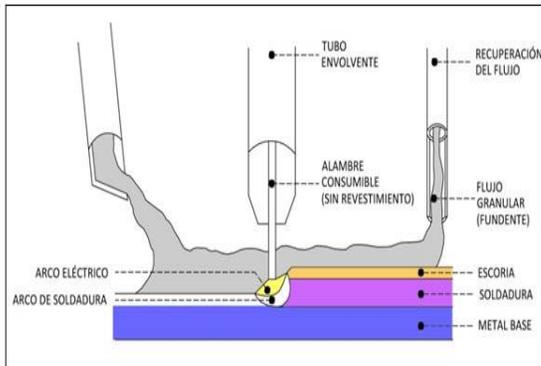


Figura 1. Proceso de soldadura por arco sumergido.



Figura 2. Residuo peligroso depositado de manera incorrecta.

La Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-93 define los residuos peligrosos como: aquel residuo generado por la actividad humana y procesos productivos que, en cualquier estado físico, por sus características, corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, venenosas o biológico-infecciosas, representan un peligro para el equilibrio ecológico.

### 3. Objetivo

El principal objetivo de este proyecto es incrementar el conocimiento de la organización referente al manejo adecuado de los residuos peligrosos y presentar propuestas para el manejo adecuado, contribuyendo de

esta manera a reducir los impactos al medio ambiente, evitando daños a los ecosistemas y a la población.

### 4. Marco teórico

Para llevar a cabo la implementación correcta de un sistema de gestión ambiental fue necesario realizar una revisión y análisis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), referente al, Título 4°, capítulo VI, Artículos 150 al 152 BIS, los cuales establecen lo siguiente:

**Artículo 150.** Los materiales y residuos peligrosos deberán ser manejados con arreglo de la presente Ley, su reglamento y las normas oficiales mexicanas que expida la Secretaría, previa opinión de las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, de Comunicaciones y Transporte, de Marina y de Gobernación. La regulación del manejo de esos materiales y residuos incluida según corresponda, su uso, recolección, almacenamiento, transporte, reusó, reciclaje, tratamiento y disposición final.

El reglamento y las normas oficiales mexicanas a que se refiere el párrafo anterior, contendrán los criterios y listados que identifiquen y clasifiquen los materiales y residuos peligrosos por su grado de peligrosidad, considerando sus características y volúmenes; además, habrán de diferenciar aquellos de alta y baja peligrosidad. Corresponde a la Secretaría la regulación y el control de los materiales y residuos peligrosos.

Asimismo, la Secretaría en coordinación con las dependencias a que se refiere el presente documento, expedirá las normas oficiales mexicanas en las que se establecerán los requisitos para el etiquetado y envasado de materiales y residuos peligrosos, así como para la evaluación de riesgo e información sobre contingencias y accidentes que pudieran generarse por su manejo, particularmente tratándose de sustancias químicas.

**Artículo 151.** La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera. En el caso de que se contrate los servicios de manejo y disposición final de los residuos peligrosos con empresas autorizadas por la Secretaría y los residuos sean entregados a dichas empresas, la responsabilidad por las operaciones será de estas independientemente de la responsabilidad que, en su cargo, tenga quien lo genere.

Quienes generen, reúsen o reciclen residuos peligrosos, deberán hacerlo del conocimiento de la Secretaría en los términos previstos en el reglamento de la presente Ley.

En las autorizaciones para el establecimiento de confinamientos de residuos peligrosos, sólo se incluirán los residuos que no puedan ser técnica y económicamente sujetos de reusó, reciclamiento o destrucción térmica o físico química, y no se permitirá el confinamiento de residuos peligrosos en estado líquido.

**Artículo 151 BIS.** Requiere autorización previa de la Secretaría:

- I. La prestación de servicios a terceros que tenga por objeto la operación de sistemas para la recolección, almacenamiento, transporte, reusó, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de residuos peligrosos.
- II. La instalación y operación de sistemas para el tratamiento o disposición final de residuos peligrosos, o para su reciclaje cuando éste tenga por objeto la recuperación de energía, mediante su incineración.
- III. La instalación y operación, por parte del generador de residuos peligrosos, de sistemas para su reusó, reciclaje y disposición final, fuera de la instalación en donde se generaron dichos residuos.

**Artículo 152.** La Secretaría promoverá programas tendientes a prevenir y reducir la generación de residuos peligrosos, así como a estimular su reusó y reciclaje.

En aquellos casos en que los residuos peligrosos puedan ser utilizados en un proceso distinto al que los generó, el reglamento de la presente Ley y las normas oficiales mexicanas que se expidan, deberán establecer los mecanismos y procedimientos que hagan posible su manejo eficiente desde el punto de vista ambiental y económico.

Los residuos peligrosos que sean usados, tratados o reciclados en un proceso distinto al que los generó, dentro del mismo predio, serán sujetos a un control interno por parte de la empresa responsable, de acuerdo con las formalidades que establezca el reglamento de la presente Ley.

En el caso de que los residuos señalados en el párrafo anterior sean transportados a un predio distinto a aquél en el que se generaron, se estará a lo dispuesto en la normatividad aplicable al transporte terrestre de residuos peligrosos.

**Artículo 152 BIS.** Cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que éste pueda ser destinado a

alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable, para el predio o zona respectiva.

La NOM-052-SEMARNAT-2005 establece un listado de los residuos peligrosos, sus características y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

El listado presente en dicha norma es:

1. Clasificación de residuos peligrosos por fuente específica.
2. Clasificación de residuos peligrosos por fuente no específica.
3. Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (Tóxicos Agudos).
4. Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (Tóxicos Crónicos).
5. Clasificación por tipo de residuos, sujetos a condiciones particulares de manejo.

Los residuos peligrosos, en cualquier estado físico, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, inflamables, tóxicas, biológico-infecciosas y por su forma de manejo pueden representar un riesgo para el equilibrio ecológico, el ambiente y la salud de la población en general, por lo que es necesario determinar los criterios, procedimientos, características y listados que los identifiquen (Tabla 1).

Tabla 1. Códigos de peligrosidad de los residuos (CPR).

Características	Código de Peligrosidad de los Residuos (CPR)
Corrosividad	C
Reactividad	R
Explosividad	E
Toxicidad	T
Ambiental	Te
Aguda	Th
Crónica	Tt
Inflamabilidad	I
Biológico-infeccioso	B

La NOM-005-STPS-1998, establece condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.

La NOM-018-STPS-2000, establece un sistema para la identificación, la comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.

La NOM-010-STPS-1993, es relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se

produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas peligrosas capaces de generar contaminación al medio ambiente laboral.

La NOM-003-SCT-2000, es relativa a las características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.

La NOM-007-SCT2-2002, es relativa al marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.

### 5. Condición actual

El proceso de soldadura por arco sumergido, al igual que en los demás procesos de soldadura por arco, este es un proceso en el cual el calor es aportado por un arco eléctrico generado entre uno o más electrodos y la pieza de trabajo. El arco eléctrico mencionado está sumergido en una capa de fundente granulado que lo cubre totalmente protegiendo el metal depositado durante la soldadura. De ahí el nombre del proceso.



Figura 3. Soldadura por arco sumergido.

Los fundentes para la soldadura por arco sumergido están granulados a un tamaño controlado y pueden ser de tipo fundido, aglomerado o sinterizado. El polvo fundente no fundido durante la operación de soldadura se recupera para utilizarlo nuevamente hasta en dos ocasiones, pero debe tenerse cuidado que no esté contaminado. Está fabricado con carbón, manganeso, silicio, fósforo, azufre, molibdeno, níquel y sílice cristalino.

La sobre-exposición a este polvo en el proceso es peligroso ya que el humo, puede ocasionar daños severos en las vías respiratorias, pulmones, sistema nervioso y causar cáncer. La emisión de este compuesto ocasiona en un soldador la inhalación de medio gramo de partículas venenosas durante 8 horas (un turno laboral diario), 100 gramos al año y hasta 2.5 kilogramos en 25 años.

Se vierten importantes cantidades de esta sustancia altamente tóxica al agua, las cuales se emplean para riego agrícola. Asimismo, esta sustancia es emitida a la atmósfera durante el proceso de producción, dañando el aire. Los residuos generados en el proceso de soldadura son contenidos de manera inadecuada llegando al suelo y por medio de la lluvia se filtran a los mantos freáticos.



Figura 4. Residuo peligroso depositado en el suelo.



Figura 5. Capas del suelo.

Estos residuos se disponen de una manera incorrecta por el personal del área de soldadura, mostrando la Figura 6 el porcentaje del mal manejo de los residuos peligrosos, es decir el destino de dichos residuos.

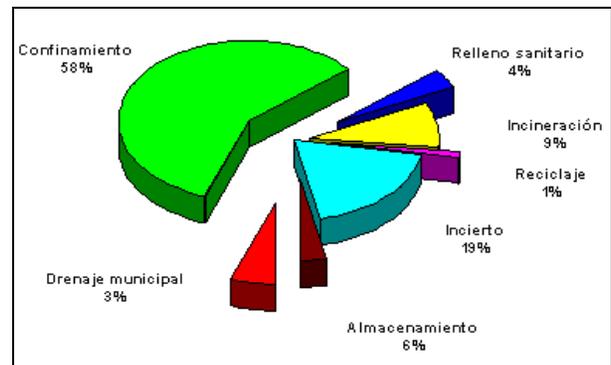


Figura 6. Destino de los residuos peligrosos.

La cantidad de residuos que se generan mensualmente es variable, el reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los residuos Categoriza a las empresas de la siguiente manera:

- I. Gran generador: El que realiza una actividad que genere una cantidad igual o superior a diez toneladas en peso bruto total de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida.
- II. Pequeño generador: El que realice una actividad que genere una cantidad mayor a cuatrocientos kilogramos y menor a diez toneladas en peso bruto total de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida.
- III. Microgenerador: El establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta cuatrocientos kilogramos de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

Como resultado de la revisión a las bitácoras de residuos peligrosos y a la cantidad de residuos actualmente almacenados. Se ha determinado que la categoría de la empresa corresponde a pequeño generador.

Tomando en cuenta la categoría que corresponde a la empresa la Ley establece una serie de obligaciones para pequeños generadores como son:

1. Los generadores deberán identificar, clasificar y manejar sus residuos de conformidad con las disposiciones contenidas en esta Ley y en su reglamento, así como en las normas oficiales mexicanas que al respecto expida la Secretaría.
2. Deberán de registrarse ante la Secretaría y contar con una bitácora en la que llevarán el registro del volumen anual de residuos peligrosos que generan y las modalidades de manejo.
3. Sujetar sus residuos a planes de manejo, cuando sea el caso, así como cumplir con los demás requisitos que establezcan el Reglamento y demás disposiciones aplicables.

## 6. Propuesta

Aunado a lo anterior, la principal solución o respuesta al problema es la capacitación, con el propósito principal de formar una cultura y un hábito a todo el personal que trabaja directamente con los residuos peligrosos.

Además de elaborar un procedimiento de efectiva aplicación para la sensibilización del personal; incluyendo propuestas para un adecuado manejo de residuos peligrosos, contribuyendo de esta manera a reducir los impactos al medio ambiente, evitando daños a los ecosistemas y a la población.

## 7. Implementación

Conforme a la Ley Federal de Trabajo, se deberá impartir cursos de capacitación a los trabajadores ya que es una obligación del patrón, por lo que, si no se cuentan con el personal adiestrado en capacitaciones, se debe contratar el servicio de capacitadores externos que cuenten con las debidas certificaciones que sean necesarias para la industria.

Se realiza un procedimiento bajo un plan que proyecte una estandarización en el reciclado del residuo peligroso (Figura 7).

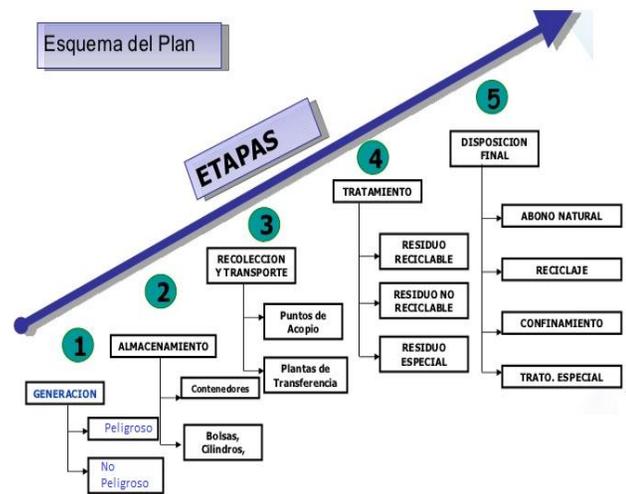


Figura 7. Esquema de plan de disposición de un residuo.

Este plan requiere una inversión en contenedores para el almacenamiento de los residuos peligrosos, los cuales deben ser seguros y homologados a los lineamientos de las normas aplicables. Este tipo de restos pueden manifestarse en estado sólido, líquido o gaseoso, por lo que existen contenedores para cada tipo:

- Para los líquidos, los contenedores deben ser de polietileno de alta densidad y alto peso molecular.
- Para los que almacenen residuos sólidos, se usan contenedores de metal que son resistentes a la corrosión.
- Para los desechos con peligro de ser potencialmente explosivos, se usan contenedores herméticos de metal que luego son enterrados.

Estos depósitos deben ir señalizados mediante rótulos claros, legibles e indelebles, firmemente unidos al envase (Figura 8).



Figura 8. Tipos de contenedores.

El costo del contenedor adecuado para el residuo generado en la empresa está desplegado en la Tabla 2.

Tabla 2. Precio unitario del contenedor propuesto.

CONTENEDORES	P/UNITARIO	TOTAL UN AÑO
51	\$368.99	\$ 18,818.49 MNX

### 8. Resultados esperados

Considerando los retos que actualmente enfrenta la compañía por la contaminación causada por el manejo inadecuado de los residuos generados, se espera concientizar tanto al personal como a la gerencia, para prevenir su generación y en caso de que los residuos se generen, reducirlos o en caso contrario, valorizarlos y hacer más eficaz su gestión en todas las etapas de su manejo.

Coadyuvando con las normas regulatorias, se comenzaría con los formatos de trámite a cumplir ante las instancias gubernamentales como a continuación se enlistan:

1. Aviso de inscripción como empresa generadora de residuos peligrosos.
2. Hoja general de registro para los trámites de la dirección general de materiales, residuos y actividades riesgosas.
3. Informe anual en el apartado correspondiente dentro del documento de Cedula de Operación Anual.
4. Reporte semestral de residuos peligrosos enviados para su reciclaje, tratamiento o disposición final.
5. Manifiesto de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos.

La Figura 9 muestra el formato de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales relativo al registro de generadores de residuos peligrosos (SEMARNAT-07-17).

**SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**  
**SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE MATERIALES Y ACTIVIDADES RIESGOSAS**  
**SEMARNAT-07-017 - REGISTRO DE GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS**  
 Fundamento jurídico: Artículo 46 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

1 de 2

**Identificación del generador de residuos peligrosos**

NRA: [ ] RUPA: [ ] CURP [ ]  
 Nombre, denominación o razón social\* (Artículo 43, fracción I inciso a) (LPGPGR) RFC: [ ]  
 Nombre del representante legal\* (Artículo 43, fracción I inciso b) (LPGPGR)  
 CIBAP o actividad principal\* (Artículo 43, fracción I inciso c) (LPGPGR)  
 Fecha de inicio de operaciones\* (Artículo 43, fracción I inciso d) (LPGPGR)

Domicilio para oír y recibir notificaciones (únicamente en caso de ser distinto al domicilio donde se realiza la actividad generadora de residuos peligrosos):  
 Calle: [ ] No. Ext.: [ ] Colonia: [ ]  
 C.P.: [ ] Municipio o Delegación: [ ] Entidad Federativa: [ ]  
 Teléfono: Área: [ ] Número: [ ] Ext.: [ ] Fax: Área: [ ] Número: [ ] Ext.: [ ]  
 Correo electrónico: [ ]

Domicilio (laboración donde se realiza la actividad generadora de residuos):  
 Calle: [ ] No. Ext.: [ ] Colonia: [ ]  
 C.P.: [ ] Municipio o Delegación: [ ] Entidad Federativa: [ ]  
 Teléfono: Área: [ ] Número: [ ] Ext.: [ ] Fax: Área: [ ] Número: [ ] Ext.: [ ]  
 Correo electrónico: [ ]

**Ubicación geográfica del generador (opcional)**

Latitud Norte: Grados: [ ] Minutos: [ ] Segundos: [ ]  
 Longitud Oeste: Grados: [ ] Minutos: [ ] Segundos: [ ]  
 Altitud sobre el nivel del mar: [ ]

Además de la información antes requerida, el interesado deberá presentar los siguientes documentos (sólo para la modalidad A)

Identificación oficial o RUPA, cuando se trate de personas físicas. (Artículo 43, fracción I (LPGPGR))  
 Acta constitutiva o RUPA, cuando se trate de personas morales. (Artículo 43, fracción II (LPGPGR))

Sello de la Secretaría

Nombre y firma del representante legal (Artículo 43, fracción I inciso a) (LPGPGR)

Fecha de recepción

El acto protesta de fe de veracidad y especificado de los datos en que recurren quienes declaran tácitamente ante una autoridad pública a la jurisdicción, el firmante de este documento declara que toda la información aquí contenida es fidedigna y que puede ser verificada por la SEMARNAT, la que en caso de omisión o falsedad, podrá cancelar el trámite y/o ejecutar las acciones correspondientes.

Figura 9. Formato de solicitud SEMARNAT-07-17.

Con la finalidad de identificar los aspectos documentales en materia de residuos peligrosos y verificar su observancia dentro de la empresa se recomienda un listado con una serie de requerimientos legales y fundamentos a cumplir con las leyes y normas aplicables tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Aspectos documentales para la gestión de residuos peligrosos.

CONCEPTO	FUNDAMENTO LEGAL
1 Identificar y conocer si los residuos que genera con peligrosos.	LGPGIR ARTÍCULO 45 NOM-053-SEMARNAT-2005
2 Se identifican los residuos generados de acuerdo con sus características CRETIB.	LGPGIR ARTÍCULO 46 RLGPGIR ARTÍCULO 46-I NOM-052-SEMARNAT-2005
3 Se determina las características de incompatibilidad de los residuos peligrosos generados entre sí.	LGPGIR ARTÍCULO 54 RLGPGIR ARTÍCULO 46-II NOM-054-SEMARNAT-1993
4 Inscripción como empresa generadora de residuos peligrosos (ante la Secretaría).	RLGPGIR ARTÍCULO 43 LGPGIR ARTÍCULO 47 LGPGIR ARTÍCULO 48
5 Contar con el número de registro ambiental que otorga la Secretaría a las empresas generadoras de residuos peligrosos.	RLGIPR ARTÍCULO 43-III
6 Contar con un programa de capacitación al personal responsable del manejo de residuos peligrosos y del equipo relacionado con este.	LGEEPA ARTÍCULO 12
7 Contar con una bitácora mensual de generación de residuos peligrosos actualizada.	LGPGIR ARTÍCULO 46 LGPGIR ARTÍCULO 47
8 Registrar movimientos de entrada y	RLGPGIR ARTÍCULO 71-I-

salida del almacén temporal de residuos peligrosos en una bitácora.	D
9 Contar con los servicios de manejo de residuos peligrosos con autorización y/o datos de los residuos peligrosos de la disposición final que corresponda.	LGPGIR ARTÍCULO 42
10 Conservar la documentación de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos originales y sus copias durante 5 años, cantados a partir de la fecha en que se hayan suscritos.	RLGPIR ARTÍCULO 75-II
11 Informar a la Secretaría en caso de producirse una infiltración, derrame, descarga o vertido de residuos peligrosos.	RGEIPA ARTÍCULO 42

Posterior a la revisión documental, se continuaría con la revisión de actividades, creándose un listado donde se especifiquen los conceptos a verificar para evaluar el cumplimiento de un almacén temporal de residuos peligrosos. Cada actividad se encuentra fundamentada con las leyes y normas que según le aplique tal como se observa en la Tabla 4, basada en el reglamento de la Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (RLGPGIR), DOF 30-11-2006.

Tabla 4. Actividades en el almacén temporal de residuos.

ACTIVIDAD	FUNDAMENTO LEGAL
1 Estar separadas de las áreas de producción, servicios, oficinas y de almacenamiento de materias primas o productos terminados.	RLGPIR ARTÍCULO 82-I-A
2 Estar ubicadas en zonas donde se reduzcan los riesgos por posibles emisiones, fugas, incendios, explosiones e inundaciones.	RLGPIR ARTÍCULO 82-I-B
3 Contar con dispositivos para contener posibles derrames, tales como muros, pretilas de contención o fosas de retención para la captación de los residuos en estado líquido o de los lixiviados.	RLGPIR ARTÍCULO 82-I-C
4 Cuando se almacenan residuos líquidos, se deberá contar en sus pisos con pendientes y, en su caso, con trincheras o canaletas que conduzcan los derrames a las fosas de retención con capacidad para contener una quinta parte como mínimo de los residuos almacenados o del volumen del recipiente de mayor tamaño.	RLGPIR ARTÍCULO 82-I-D
5 Contar con pasillos que permitan el tránsito de equipos mecánicos, eléctricos o manuales, así como el movimiento de grupos de seguridad y bomberos, en casos de emergencia.	RLGPIR ARTÍCULO 82-I-E
6 Contar con sistemas de extinción de incendios y equipos de seguridad para atención de emergencias, acordes con el tipo y la cantidad de los residuos peligrosos almacenados.	RLGPIR ARTÍCULO 82-I-F
7 Contar con señalamientos y letreros alusivos a la peligrosidad de los residuos peligrosos almacenados, en lugares y formas visibles.	RLGPIR ARTÍCULO 82-I-G

8 El almacenamiento debe realizarse en recipientes identificados considerando las características de peligrosidad de los residuos, así como su incompatibilidad, previniendo fugas, derrames, emisiones, explosiones e incendios.	RLGPIR ARTÍCULO 82-I-H
9 La altura máxima de las estibas será de tres tambores en forma vertical.	RLGPIR ARTÍCULO 82-I-I
10 No deben existir conexiones con drenajes en el piso, válvulas de drenaje, juntas de expansión, albañales o cualquier otro tipo de apertura que pudieran permitir que los líquidos fluyan fuera del área protegida.	RLGPIR ARTÍCULO 82-II-A
11 Las paredes deben estar construidas con materiales no inflamables.	RLGPIR ARTÍCULO 82-II-B
12 Contar con ventilación natural o forzada. En los casos de ventilación forzada, debe tener una capacidad de recepción de por lo menos seis cambios de aire por hora.	RLGPIR ARTÍCULO 82-II-C
13 Estar cubiertas y protegidas de intemperie y, en su caso, contar con ventilación suficiente para evitar acumulación de vapores peligrosos y con iluminación a prueba de explosión.	RLGPIR ARTÍCULO 82-II-D

Se deberá contar con el manifiesto de entrega transporte y recepción, en este documento se registrarán las actividades de manejo de residuos peligrosos, que deben elaborar, conservar los generadores y, en su caso, los prestadores de servicios de manejo de dichos residuos y el cual se debe utilizar como base para la elaboración de la cédula de operación anual (Figura 10).

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL  
DIRECCIÓN GENERAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE MATERIALES Y ACTIVIDADES RIESGOSAS  
MANIFIESTO DE ENTREGA, TRANSPORTE Y RECEPCIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS  
NCA

1.- NUM. DE REGISTRO AMBIENTAL	2.- NUM. DE MANIFIESTO	3.- PAGINA		
4.- RAZÓN SOCIAL DE LA EMPRESA GENERADORA:				
DOMICILIO:				
MUNICIPIO O DELEGACIÓN: ESTADO:				
TELÉFONOS:				
5.- DESCRIPCIÓN (Nombre del Residuo y características CRETIB)	CONTENEDOR		CANTIDAD TOTAL DE RESIDUO	UNIDAD VOL. / PESO
	RI (Num. Perf)	No. Cantidad Tipo		
6.- INSTRUCCIONES ESPECIALES E INFORMACIÓN ADICIONAL PARA EL MANEJO SEGURO. Ver hojas de emergencia para el transporte.				
7.- CERTIFICACIÓN DEL GENERADOR DECLARO QUE EL CONTENIDO DE ESTE LOTE ESTÁ TOTAL Y CORRECTAMENTE DESCRITO MEDIANTE EL NOMBRE DEL RESIDUO, CARACTERÍSTICAS CRETIB BIEN EMPACADO, MARCADO Y ROTULADO, Y QUE SE HAN PREVISTO LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA SU TRANSPORTE POR VÍA TERRESTRE DE ACUERDO CON LA LEGISLACIÓN NACIONAL VIGENTE. NOMBRE Y FIRMA DEL RESPONSABLE				
8.- NOMBRE DE LA EMPRESA TRANSPORTISTA: DOMICILIO: TELÉFONO: AUTORIZACIÓN DE LA SEMARNAT: NUM. DE REGISTRO S.C.T.				
9.- RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO PARA SU TRANSPORTE. NOMBRE: FIRMA: CARGO: FECHA DEL EMBARQUE 03 / ENERO / 2007 MES - DIA - AÑO				
10.- RUTA DE LA EMPRESA GENERADORA HASTA SU ENTREGA:				
11.- TIPO DE VEHICULO No. DE PLACA:				
12.- NOMBRE DE LA EMPRESA DESTINATARIA RESIDUOS INDUSTRIALES MULTIQUM, S.A. DE C.V. NÚMERO DE AUTORIZACIÓN DE LA SEMARNAT: 19-37.PS.VII-01-93 NUM. DE REGISTRO AMBIENTAL: RIMM61903711 DOMICILIO: AV. LAZARO CARDENAS No. 2400 PTE. EDF. LOSOLES, DESP. B-21, GARZA GARCÍA, N.L. TELÉFONOS (81) 8152-2100 FAX 8152-2153 PLANTA CTJDF. CARRETERA MONTERREY-MONCLOVA KM. 86 PUERTO SAN BERNABE, MUNICIPIO DE MIRA, N.L.				
13.- RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO. OBSERVACIONES: NOMBRE: FIRMA: CARGO: FECHA DE RECEPCIÓN: 03 / ENERO / 2007 MES - DIA - AÑO				

Figura 10. Formato de manifiesto de entrega transporte y recepción de residuos peligrosos.

Finalmente, para concluir con una adecuada Gestión deberá realizarse un plan de actividades (Figura 11).



Figura 11. Plan de actividades.

Una vez implementados los controles aquí descritos, se espera como resultado:

- Reducción de la contaminación.
- Reducción de emisión dióxido de carbono.
- Reducción del efecto invernadero, la lluvia acida, la ruptura de la capa de ozono, la extinción de especies y la deforestación.

### 9. Conclusiones y recomendaciones

Como conclusiones de este proyecto, se informó a la empresa sobre las obligaciones que debe cumplir en materia de residuos peligrosos, dentro de las que destacan la correcta gestión para minimizar los impactos al ambiente que va desde su identificación, clasificación y el marcado de envases, así como las características que debe cumplir el almacén temporal de residuos peligrosos de acuerdo con lo que estipulan las leyes.

Además de lo anterior se hizo del conocimiento a la empresa sobre los trámites que se deben cumplir al ser un generador de residuos peligrosos, tales como darse de alta ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la categorización ya sea como grande, pequeño y micro generador, así como las obligaciones a las que están sujetos como contar con planes de manejo, llevar bitácoras de registros en el almacén temporal de residuos peligrosos y contar con los manifiestos de transporte de residuos.

Finalizando, es necesario que las bases de este proyecto se lleven a cabo por la empresa a fin de cumplir con las obligaciones que estipulan las leyes gracias a que con estas acciones la empresa fomentará su responsabilidad con el medio ambiente y avanzará

hacia un futuro sustentable para distinguirse ante la competencia.

### 10. Referencias

- [1] Ley General para el Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). DOF 04-06-2012.
- [2] Ley general para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), DOF 16-01-2014.
- [3] Reglamento de la Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (RLGPGIR). DOF 30-11-2006.
- [4] Comisión Ambiental Metropolitana (1997). Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro Metalmeccánica.
- [5] NOM-052-SEMARNAT-2005. Características, el Procedimiento de Identificación, Clasificación y los Listados de los Residuos Peligrosos. DOF 23-06-06.
- [6] NOM-054-SEMARNAT-1993. Procedimiento para Determinar la Incompatibilidad entre Dos o más Residuos Considerados como Peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993) DOF 22-10-93.
- [7] NOM-005- STPS-1998. Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo para el Manejo, Transporte y Almacenamiento de Sustancias Químicas Peligrosas. DOF 02-02-99.
- [8] NOM-018-STPS-2000. Sistema para la Identificación y Comunicación de Peligros y Riesgos por Sustancias Químicas Peligrosas en los Centros de Trabajo. DOF 27-10-00.
- [9] NOM-010-STPS-1993. Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo donde se Produzcan, Almacenen o Manejen Sustancias Químicas Peligrosas Capaces de Generar Contaminación al Medio Ambiente Laboral.
- [10] NOM-003-SCT-2000. Características de las Etiquetas de Envases y Embalajes Destinadas al Transporte de Sustancias, Materiales y Residuos Peligrosos.
- [11] NOM-007-SCT2-2002. Marcado de Envases y Embalajes Destinados al Transporte de Sustancias y Residuos Peligrosos.

#### Páginas web:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsarp/e/fulltext/m anual1/manual1.pdf>

# Rediseño de estación de trabajo considerando factores ergonómicos mediante un estudio de movimientos

José Jonathan Armendáriz Guzmán

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Francisco Durán Hernández

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Resumen:** Actualmente la industria está en búsqueda de mejorar la productividad, en el sector de la industria manufacturera. La ergonomía forma parte importante en el desempeño del ser humano, aunque tradicionalmente se le ha conocido como una ciencia enfocada a la prevención y control de lesiones musculares originadas en el trabajo o de accidentes, la ergonomía aplicada a la industria de manufactura puede contribuir al incremento de la productividad a través de mejoras en las capacidades físicas y mentales del trabajador. La aplicación de esta ciencia en el diseño de puestos de trabajo y herramientas consigue minimizar la fatiga, las lesiones, accidentes de trabajo, por estas razones incrementa la productividad. El presente trabajo muestra la evaluación realizada dentro de la estación de re-empaque, el rediseño de esta y la evaluación de la productividad, en una empresa que produce abrazaderas de metal para la industria automotriz. La evaluación de la estación se llevó a cabo por medio de conceptos de ergonomía, productividad y un estudio de tiempos.

**Palabras clave:** Ergonomía, productividad y estudio de tiempos.

---

## 1. Introducción

Norma Group S. de R.L. de C.V., es una empresa maquiladora dedicada a la fabricación de abrazaderas de metal; está formada por una planta que desarrolla todo el proceso productivo, por un centro de distribución de producto terminado y recepción de materia prima, es en este lugar en donde se encuentra la estación de trabajo en la cual se enfocó el presente trabajo. Esta operación depende principalmente del trabajo de los operarios, por eso es necesario prestar atención en la manera en que realizan las diferentes actividades.

Desde la perspectiva de los autores, la empresa da mucha importancia al hecho de producir, en menoscabo del entorno y las necesidades reales de los operarios. Generalmente los ingenieros solo se enfocan en los métodos y procesos para hacer mejoras con respecto a la productividad.

En México esta práctica no es muy recurrente (el enfoque ergonómico de las operaciones), así que se busca que esta empresa de los primeros pasos para que se practiquen evaluaciones de este tipo, ya que el uso de la ergonomía es muy importante puesto que estudia el trabajo en relación con el entorno donde se realiza y quienes lo realizan.

La aplicación de esta reporta muchos beneficios, pues el trabajador tiene condiciones de trabajo más seguras y sanas, en el caso del empleador, el resultado es más productividad.

El presente trabajo efectúa una evaluación, el rediseño de la estación de re-empaque, el cálculo de tiempos estándar dentro de las operaciones que se llevan a cabo, además presenta conclusiones del estado en que se encuentra y algunas recomendaciones para mejorar las deficiencias que se encontraron. Con ayuda de instrumentos de medición se evaluaron los diferentes equipos que son utilizados para esta operación.

## 2. Objetivo

Evaluar la ergonomía aplicada en una empresa manufacturera, en una estación de re-empaque dentro de un almacén de producto terminado y la utilización de diferentes métodos para diseñar estrategias de mejora en el rediseño de la estación de trabajo, para reducir el tiempo de ciclo de las operaciones realizadas para lograr el incremento de la productividad, evaluando los tiempos de ciclo mediante la metodología del estudio de tiempos.

## 3. Marco teórico

### 3.1. La ergonomía en la industria

En muchos casos, los lugares de trabajo no cuentan con un interés real por las comodidades de los empleados, ya que todo se maneja de acuerdo con criterios establecidos, a normas, a formas lineales y funcionales de trabajar, en las que simplemente se administra una cantidad específica de recursos, y se busca ganar mucho más de lo que se invierte para, aparentemente, evitar pérdidas económicas.

Si bien muchas veces se habla del reconocimiento de las relaciones sociales, no hay un espacio real que reconozca que los equipos de trabajo suelen ser inadecuados a las capacidades y características de los trabajadores y, mucho menos, en el que se reconozcan sus limitaciones dentro de su ambiente de trabajo.

No existe un ambiente adaptado a sus requerimientos, sino empleados adaptados a su contexto laboral. Una consecuencia grave es la incomodidad de los trabajadores, que a la larga puede producir no sólo problemas de salud, sino también bajo rendimiento, estrés y, por consiguiente, pérdidas en la calidad de los productos que se elaboran, repercutiendo no solamente en la economía de la empresa específica, sino en el estado y finalmente en el país (Rodríguez, 2016).

### 3.2. Ergonomía

La ergonomía estudia los factores que intervienen en la interrelación hombre-máquina, afectados por el entorno. El conjunto se complementa recíprocamente para conseguir el mejor rendimiento; el hombre piensa y acciona, mientras que el objeto se acopla a las cualidades del hombre, tanto en el manejo como en aspecto y comunicación. El objetivo de la ergonomía es dar las pautas que servirán al diseñador para optimizar el trabajo a ejecutar por el conjunto conformado por el operario-máquina. Se entiende como operario el usuario o persona que manipula el artefacto, y como entorno el medio ambiente físico y social que circula al conjunto (Rodríguez, 2016).

Según Rodríguez (2016) una máquina u artefacto es todo aquel objeto utilitario para servicio y comodidad del hombre. Producto del raciocinio, conocimiento e inventiva humanos. Como resultado de una tecnología, expresa el nivel de vida, el dominio y manejo de los recursos humanos y materiales de una sociedad. Todo artefacto es conformado por el hombre para una actividad en la solución de una necesidad; este objetivo lo conveniente en artefacto utilitario. La singularidad de su forma y lenguaje se deben a dos importantes factores:

- El hombre y sus cualidades en los órdenes fisiológicos y sociales.
- La configuración funcional, respuesta de un sistema productivo.

En cuanto a su función, todo artefacto es funcional en tanto permita solucionar una necesidad. La razón de su creación es complementar, aligerar, magnificar y dar comodidad al trabajo del hombre. La manera como desempeñan la tarea los individuos del grupo es una referencia para el estudio de la función y la posterior utilización del artefacto o máquina. La función del objeto debe responder a las necesidades y características del grupo.

Definir la función pormenorizada del artefacto sirve para estudiar la necesidad de los componentes y su sintetización como un todo. La causa de la existencia individual de cada uno de los componentes de un artefacto es la de complementarse para conformar un mecanismo operante. No tiene utilidad alguna el desempeño por separado de cada uno de los componentes, solo cobran importancia como parte de un conjunto operante. Su ordenada y congruente contribución determinan el aspecto y significación del objeto utilitario; un solo componente faltante o deficiente en su trabajo de como resultado una mala o nula utilización del artefacto (Rodríguez, 2016).

### 3.3. Anatomía

La anatomía se ocupa del estudio de la estructura descriptiva, topografía de los órganos y aparatos (esqueleto, articulaciones, músculos, vasos y nervios), permite comprender el cuerpo humano en sus partes y como un todo, dado que ningún órgano se halla aislado física ni funcionalmente (Rodríguez, 2016).

### 3.4. Antropometría

La antropometría dimensiona las partes anatómicas. Esta disciplina se ocupa de las dimensiones físicas y proporciones del cuerpo humano. El lineamiento principal es diseñar el lugar de trabajo para proporcionar espacio a más individuos respecto al tamaño y estructura del cuerpo humano. La ciencia de la medición del cuerpo humano se llama antropometría y, por lo general, utiliza una gran cantidad de

dispositivos parecidos a los calibradores para medir las dimensiones estructurales, por ejemplo, la estatura y la longitud del antebrazo. Sin embargo, en la práctica, sólo una pequeña cantidad de ergonomistas e ingenieros recaban sus propios datos, debido a la enorme cantidad de información que ya ha sido recolectada y tabulada (Niebel and Freivalds, 2009).

### **3.5. Productividad**

De acuerdo con Ramírez Cavassa (2000) en términos generales y a nivel de estado, la productividad es la relación entre insumos y productos. En este sentido se considera como insumos el trabajo, esto es, el total de las horas trabajadas en el sector privado, medido por áreas y niveles salariales; sin embargo, este concepto demasiado genérico no puede ser aplicado a nivel de empresa por lo tanto vale la pena hacer un estudio desde este punto de vista:

- El primer punto de análisis será básicamente el estudio de lo que se entiende por productividad.
- Un segundo punto de análisis será el estudio de cada uno de los elementos que se considera que inciden en la productividad (trabajo-hombre-máquina-entorno).
- Un tercer punto de análisis será el estudio de la medición de la productividad.
- Finalmente, se presentan conclusiones que permiten facilitar el incremento de la productividad.

### **3.6. Análisis del puesto de trabajo**

El análisis ergonómico sobre productividad está circunscrito específicamente al trabajo, lo que equivale a analizar por una parte la tarea y el entorno, y por otra el esfuerzo del elemento hombre, con el objeto de determinar la eficacia, armonía y la seguridad entre dichos elementos (Ramírez Cavassa, 2000).

### **3.7. Factores ergonómicos que afectan la productividad**

Son aquellos que inciden en el comportamiento del sistema hombre-máquina-entorno. Entre los factores ergonómicos se encuentran (Ramírez Cavassa, 2000):

**Diseño del equipo**, un diseño normalizado del equipo que obedece a las características somáticas y fisiológicas del trabajador, con estudios específicos de los puntos críticos de accidentes, como cuchillas, elimina posibles causas de accidentes, permitiendo al trabajador desarrollar su trabajo en situaciones menos riesgosas y permitiendo, por otro lado, menores equivocaciones y estereotipando al individuo, con lo que puede mejorarse inclusive el rendimiento y la productividad.

**Diseño del puesto**, para efectos del análisis del presente modelo debe considerarse que el diseño del puesto en sus aspectos dimensionales y de acondicionamiento permite una mayor soltura y desenvolvimiento al trabajador,

mejores condiciones de trabajo, menores riesgos por el orden y racionalización de las diversas actividades o tareas que habrán de realizarse, con lo que se conjura una posible causa de disfuncionamiento de sistema.

**Equipos y herramientas**, al igual que el diseño de la máquina, los demás equipos auxiliares y herramientas de trabajo deben ser diseñados tomando en cuenta su uso, los fines, los posibles riesgos y las características antropométricas y biomecánicas del individuo, con el fin de evitar riesgos de accidentes, tanto en su manipulación como en su almacenamiento. Un sistema de guardas en los puntos críticos de los equipos y herramientas deberá ser considerado por el diseñador y el fabricante.

**Diseño del lugar de trabajo**, es la distribución en la planta de hombres-máquinas y elementos de control, de tal manera que se encuentran ubicados en forma apropiada, teniendo en consideración la facilidad de uso de los medios, la velocidad de operación de las máquinas y la precisión del trabajo. Entre los aspectos que debe plantearse figuran: la colocación hombre-máquinas, las necesidades de privacidad y de territorio, las diversas posturas del trabajador, espacios entre equipos, consideraciones de comunicación que obedezcan a requerimientos antropométricos. El factor humano también tiene que ver con el diseño del lugar de trabajo; normalmente existe una interacción entre trabajadores que puede afectar el desempeño laboral.

### **3.8. Estudio de tiempos**

De acuerdo con Ramírez Cavassa (2000) el estudio de tiempos finca su razón de ser en el concepto de cualquier sistema de trabajo puede ser mejorado por otro a través de un análisis racional de los tiempos y movimientos empleados en su ejecución con base en la observación permanente de las actividades.

A este respecto, lo que se busca es que un trabajador calificado y debidamente entrenado ejecute una tarea a una velocidad normal de operación, pretendiendo con ello llegar a consolidar tiempos estándares o de referencias para los demás trabajadores y que no vallan ni en contra del esfuerzo y el bienestar del trabajador, ni de un incremento en los costos de operación. Los resultados de dicho análisis, además de lo anunciado como esencial, son que:

- Permite establecer programas de producción y cargas de trabajo.
- Facilita la supervisión y el control del personal.
- Determina el posible número de máquinas que un trabajador puede operar.
- Facilita el establecimiento de los costos de operación y la determinación de incentivos económicos.

Ante la desconfianza del procedimiento de tiempos y movimientos, ya sea por la mala interpretación del sistema o por el mal uso de sus resultados y falta de flexibilidad en su reajuste, la ergonomía si considera dichos resultados como fuente de información disponible, pero aplicando además criterios adicionales tales como la comodidad del trabajador, su seguridad, satisfacción y la implicación del medio ambiente en que se desarrolla el trabajo (ruidos, iluminación, temperatura, ...). El estudio del trabajo y la ergonomía se traslapan en determinado momento cuando ambos se interesan por:

- El sistema de trabajo y su tecnología.
- El ambiente laboral.
- Las tareas por llevar a cabo.
- Los métodos de trabajo y el entrenamiento para ejecutarlos.
- Los estándares de producción o de actuación.
- La evaluación de puestos y, por tanto, el perfil humano y los salarios correspondientes.

De acuerdo con Heizer y Render (2009) el estudio clásico con cronómetro, o estudio de tiempos, originalmente propuesto por Frederick W. Taylor en 1881, sigue siendo el método de estudio de tiempos más ampliamente usado. Los autores establecen que el procedimiento de un estudio de tiempo implica medir el tiempo de una muestra del desempeño de un trabajador y usarlo para establecer un estándar.

Una persona capacitada y experimentada puede establecer un estándar siguiendo estos ocho pasos:

1. Definir la tarea a estudiar.
2. Dividir la tarea en elementos precisos (partes de una tarea que con frecuencia no necesitan más de unos cuantos segundos).
3. Decidir cuantas veces se medirá la tarea (el número de ciclos de trabajo o muestras necesarias).
4. Medir el tiempo y registrar los tiempos elementales y las calificaciones del desempeño.
5. Calcular el tiempo observado (real) promedio. El tiempo observado promedio es la media aritmética de los tiempos para cada elemento medido, ajustada para la influencia inusual en cada elemento:

$$\text{Tiempo Estándar} = \frac{\text{Tiempo Normal Total}}{1 - \text{Factor de Holgura}}$$

$$\text{Tiempo Observado Promedio} = \frac{\text{Suma de los Tiempos Registrados Para Realizar Cada Elemento}}{\text{Número de Observaciones}}$$

6. Determinar la calificación del desempeño (paso del trabajo) y después calcular el tiempo normal para cada elemento.

$$\text{Tiempo Normal} = (\text{Tiempo Observado Promedio}) \cdot (\text{Factor de Calificación})$$

7. Sumar los tiempos normales para cada elemento a fin de determinar el tiempo normal de una tarea.
8. Calcular el tiempo estándar. Este ajuste al tiempo normal total proporciona las holguras por necesidades personales, demoras inevitables de trabajo y fatiga del trabajador.

#### 4. Evaluación y rediseño de la estación de trabajo

Para el rediseño de estación de trabajo, es muy importante apoyarse en el uso de la ergonomía ya que esta ciencia estudia el trabajo en relación con el entorno en que se lleva a cabo y quienes lo realizan. La aplicación de esta reporta muchos beneficios, pues el operario tiene condiciones de trabajo más seguras y sanas, en el caso del empleador el resultado es más productividad.

##### 4.1. Diseño de estación actual

Para el diseño de la estación actual se realizó una propuesta improvisada, por requerimiento del incremento del volumen de trabajo, en la cual no se llevó a cabo ningún estudio de ergonomía, tiempos y movimientos. El diseño de la estación actual se puede observar en la Figura 1.

Las operaciones que se realizan en esta estación de trabajo son:

**Armado de cajas.** Para esta operación se cuenta con tres cajas de diferente tamaño (12x13x12 pulgadas, 11x14x14 pulgadas y 13x13x20 pulgadas). Esta se lleva a cabo por una operación manual, utilizando para el sellado, cinta canela.

**Llenado de cajas.** Esta operación se realiza manualmente depositado la cantidad de material requerida por el cliente. Así mismo se rellenan con un papel especial para cuidar la integridad del producto.

**Pesado de cajas.** Esta actividad se realiza pesando la caja que fue llenada anterior mente, en la cual se utiliza una báscula electrónica para conocer el peso deseado.

**Etiquetado de cajas.** El etiquetado de cajas se realiza con la utilización de un software y una impresora las cuales proporcionan la información que debe contener la etiqueta (número de parte, lote, peso, ...).



Figura 1. Estación de trabajo en condición previa al estudio.

### Medición de estación actual

Para poder llevar a cabo el re-diseño de estación, se tuvo que dimensionar la estación actual de trabajo, las dimensiones obtenidas se muestra en la Figura 2.

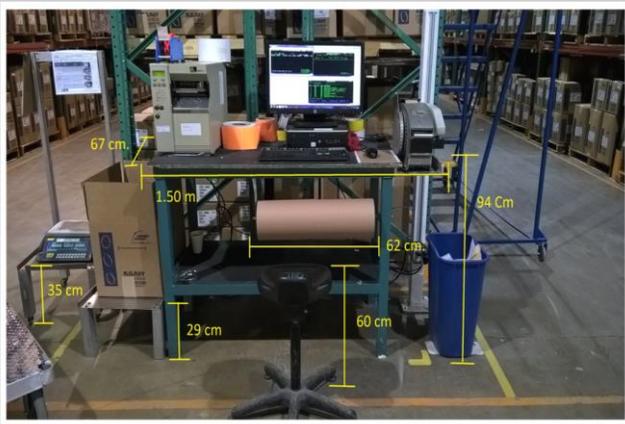


Figura 2. Estación de trabajo dimensionada.

Una vez realizado el análisis dimensional de la estación, se encontró que esta no cumple con los principios de diseño de trabajo el cual especifica que la altura de superficie de trabajo (ya sea que el empleado se encuentre sentado o parado) debe determinarse con base en una postura de trabajo cómoda para el operador (Niebel y Freivalds, 2009), esto significa que los brazos superiores deben colgar de forma natural y los codos flexionarse a  $90^\circ$  de tal manera que los antebrazos estén paralelos respecto al piso (Figura 3).

Existen modificaciones a este principio. Para un ensamble que involucra el levantamiento de partes pesadas, representa una gran ventaja bajar la superficie de trabajo 8 pulgadas (20 centímetros), para utilizar los músculos más fuertes del tronco (Figura 4).

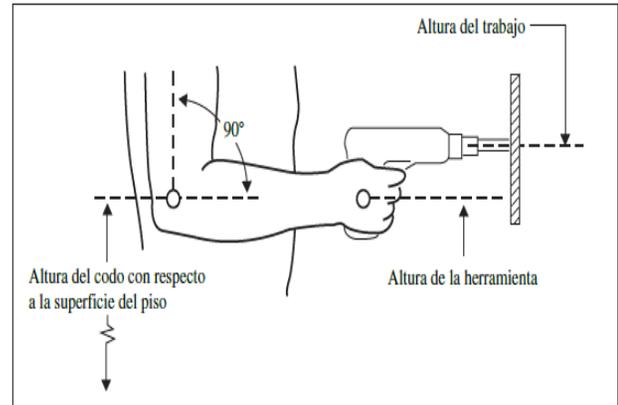


Figura 3. Ayuda grafica para determinar la altura correcta de la superficie de trabajo.

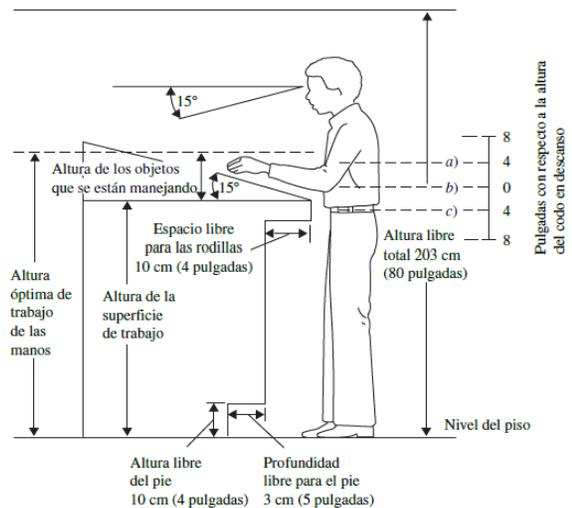


Figura 4. Dimensiones recomendadas del lugar de trabajo de pie para realizar un trabajo de precisión con descansa brazos.

### 4.2. Propuesta de mejora

Para realizar el rediseño de la estación de trabajo y lograr el incremento de la productividad se propusieron los siguientes cambios en el diseño de la estación:

1. Cambiar ubicación de la estación hacia otra área de la planta.
2. Cambia altura de las mesas de las básculas y en donde se colocan las cajas para su llenado.
3. Cambiar posición de rollo de papel y su sistema de ensamble.
4. Reubicar posición del despachador de cinta canela a un costado de la impresora.
5. Rediseñar mesa para el aprovechamiento de espacio
6. Eliminar silla y colocar tapete anti-fatiga.

En la Figura 5 se muestran los cambios propuestos a la estación de trabajo.

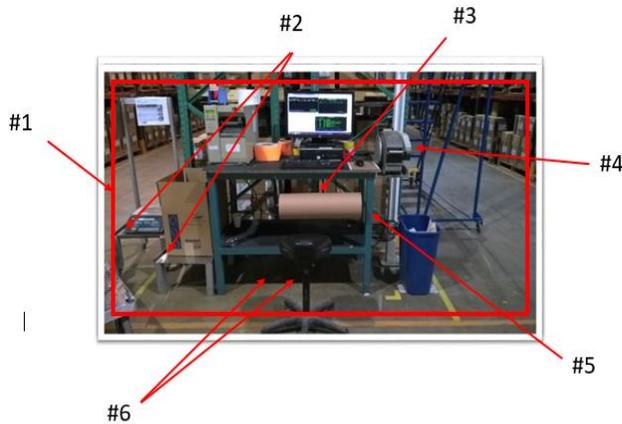


Figura 5. Cambios propuestos a la estación de trabajo.

#### 4.3. Análisis de las propuestas

##### 1. Cambiar ubicación de la estación hacia otra área de la planta:

- Debido al espacio donde se encuentra es necesario cambiar ya que es un área de tráfico de montacargas.
- En el área actual la iluminación es deficiente.
- Se encuentra en una zona de racks donde se estiban cajas y se puede presentar algún accidente.
- Las condiciones de seguridad del espacio de trabajo deben ser seguras cumpliendo con las normas legales (dispositivos de protección necesarios, instalaciones eléctricas seguras, ...).

##### 2. Cambia altura de las mesas de las básculas y en donde se colocan las cajas para su llenado:

- Se requiere cambiar ya que la altura es muy baja y el operador se tiene que agachar para tomar las cajas.
- Por diseño la altura de las mesas debe elegirse de tal modo que la parte alta del cuerpo este ligeramente inclinada hacia delante. Tomando como punto medio los codos.
- Los trabajadores deben poder trabajar con los brazos a lo largo del cuerpo y sin tener que encorvarse ni girar la espalda excesivamente.

##### 3. Cambiar posición de rollo de papel y su sistema de ensamble:

- Se requiere cambiar posición ya que estorba en la parte baja de la mesa.
- El sistema de ensamble no cumple con los requisitos de diseño para las herramientas ya que no cualquiera puede cambiar el rodillo, es difícil ya que solo cuenta con un tornillo con tuerca de lado a lado.

##### 4. Reubicar posición del despachador de cinta canela a un costado de la impresora:

- Se requiere cambiar ya que al cerrar las cajas el operador al poner las etiquetas que salen de la impresora tiene que recorrer una distancia hacia al otro lado y recoger el tape para poder cerrarla o viceversa, y es un recorrido innecesario.

##### 5. Rediseñar mesa para el aprovechamiento de espacio:

- Debido al diseño de la mesa actual no se tiene espacio para poner los rollos de tape, se requiere diseñar la mesa de una forma que se aproveche el espacio al máximo.
- Se propone la instalación de gabinetes en la parte superior si no se tiene más espacio en la mesa para rollos extras de tape, etiquetas, ...

##### 6. Eliminar silla y colocar tapete anti-fatiga:

- Al analizar la operación que se lleva a cabo en la estación basados en diseño ergonómico se observó que la silla no es necesaria porque el operador no está en esa estación mucho tiempo. Además, la silla queda fuera de la zona delimitada y queda en el tráfico del montacargas, aun y cambiándola al área nueva.
- Por diseño se pide colocar un tapete anti-fatiga y un descanso p e en las estaciones que se labore de pie, para disminuir el cansancio y tener una posición correcta.

#### 5. Rediseño de la estación de trabajo

En base a los estudios y análisis realizados, se logró establecer un nuevo diseño que se ajustara más a los principios de ergonomia y del diseño del trabajo, mismos que pueden ser observados en la Figura 6 y la Figura 7.

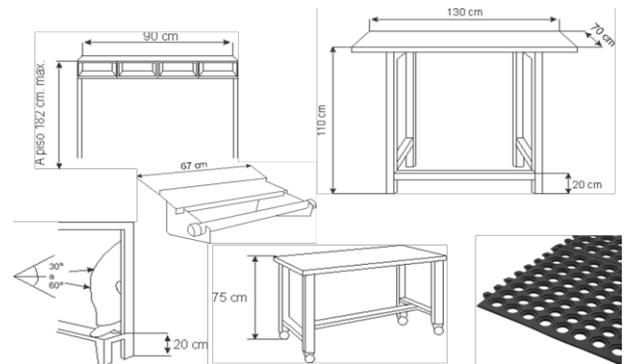


Figura 6. Estación de trabajo propuesta (dimensiones).

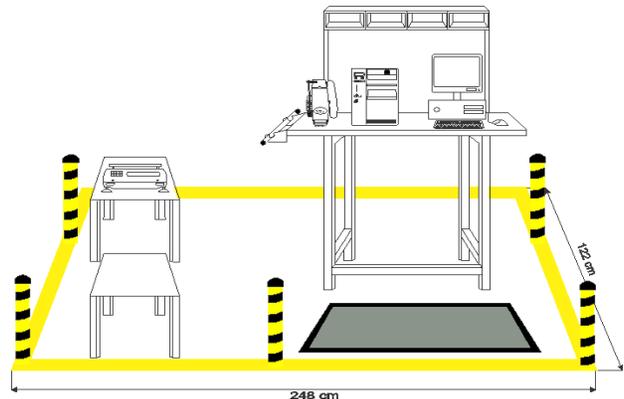


Figura 7. Delimitación de la estación de trabajo propuesta.

## 6. Estudios de tiempos

El estudio de tiempos fue aplicado a una muestra de 12 operarios, los cuales el 100% son hombres (de entre 26 y 57 años, con una media de 34) todos ellos se desenvuelven en el mismo puesto de trabajo.

Durante la visita de trabajo, cada empleado fue observado y cronometrado desempeñando sus actividades. Se determinó cual era el tiempo que tardaba en realizar cada una de las operaciones de la estación antes de su rediseño y se registró la toma de tiempos (Tabla 1).

Tabla 1. Tiempos reales del proceso previos al rediseño.

TOMA DE TIEMPO EN SEGUNDOS						
OPERARIO	EDAD	ARMADO DE CAJAS	LLENADO DE CAJA	PESADO DE CAJAS	ETIQUETADO DE CAJAS	TIEMPO TOTAL
1	25	47.67	79.10	19.76	120.10	266.63
2	28	46.73	78.69	20.20	128.68	274.30
3	31	48.10	81.05	18.15	119.90	267.20
4	36	47.93	81.56	19.76	122.69	271.95
5	29	48.15	82.54	18.96	122.59	272.23
6	38	48.36	83.51	18.75	122.49	273.12
7	36	48.58	84.49	18.55	122.39	274.00
8	30	48.79	85.46	18.34	122.29	274.89
9	57	49.01	86.44	18.14	122.19	275.77
10	35	49.22	87.41	20.93	122.09	279.66
11	33	49.44	88.39	19.73	121.99	279.54
12	29	49.65	89.36	17.52	121.89	278.43
<b>TIEMPO PROMEDIO</b>		<b>48.47</b>	<b>84.00</b>	<b>19.06</b>	<b>122.44</b>	<b>273.98</b>
<b>CALIFICACION DE DESEMPEÑO</b>		<b>90%</b>	<b>85%</b>	<b>98%</b>	<b>75%</b>	
<b>FACTOR DE HOLGURA</b>		<b>2%</b>	<b>2%</b>	<b>9%</b>	<b>2%</b>	<b>15%</b>

$$\text{Tiempo Normal} = (\text{Tiempo Observado Promedio}) / (\text{Factor de Calificación})$$

$$\text{Armado de cajas} = (48.47)(0.90) = 43.62 \text{ segundos}$$

$$\text{Llenado de cajas} = (84.00) (0.85) = 71.40 \text{ segundos}$$

$$\text{Pesado de cajas} = (19.06)(0.98) = 18.67 \text{ segundos}$$

$$\text{Etiquetado de cajas} = (122.44)(0.75) = 91.83 \text{ segundos}$$

$$\text{Tiempo Estándar} = \frac{\text{Tiempo Normal Total}}{1 - \text{Factor de Holgura}}$$

$$\text{Tiempo Estándar} = \frac{225.52}{1 - 0.15} = 265.32 \text{ segundos}$$

Una vez implementado el rediseño de la estación de trabajo, se tomaron nuevamente los tiempos en cada una de las

operaciones para verificar si existió algún cambio en el proceso (Tabla 2).

Tabla 2. Tiempos reales del proceso posteriores al rediseño.

TOMA DE TIEMPO EN SEGUNDOS						
OPERARIO	EDAD	ARMADO DE CAJAS	LLENADO DE CAJA	PESADO DE CAJAS	ETIQUETADO DE CAJAS	TIEMPO TOTAL
1	25	23.32	46.23	11.20	80.38	161.13
2	28	24.16	45.32	10.17	79.40	159.05
3	31	27.45	47.65	11.80	76.39	163.29
4	36	23.35	44.10	10.68	74.73	152.86
5	29	25.50	46.81	10.98	72.74	156.03
6	38	26.08	44.40	10.99	70.74	152.21
7	36	26.49	44.00	10.99	68.75	150.23
8	30	26.41	43.59	11.00	66.75	147.76
9	57	27.32	43.19	11.01	108.12	189.63
10	35	27.33	42.78	11.02	71.60	152.73
11	33	28.14	42.37	11.02	69.90	151.44
12	29	28.56	41.97	11.03	75.10	156.65
<b>TIEMPO PROMEDIO</b>		<b>26.18</b>	<b>44.37</b>	<b>10.99</b>	<b>76.22</b>	<b>157.75</b>
<b>CALIFICACION DE DESEMPEÑO</b>		<b>90%</b>	<b>85%</b>	<b>98%</b>	<b>75%</b>	
<b>FACTOR DE HOLGURA</b>		<b>2%</b>	<b>2%</b>	<b>9%</b>	<b>2%</b>	<b>15%</b>

$$\text{Tiempo Normal} = (\text{Tiempo Observado Promedio}) / (\text{Factor de calificación})$$

$$\text{Armado de cajas} = (26.18)(0.90) = 23.56 \text{ segundos}$$

$$\text{Llenado de cajas} = (44.37) (0.85) = 37.71 \text{ segundos}$$

$$\text{Pesado de cajas} = (10.99)(0.98) = 10.77 \text{ segundos}$$

$$\text{Etiquetado de cajas} = (76.22)(0.75) = 57.16 \text{ segundos}$$

$$\text{Tiempo Estándar} = \frac{\text{Tiempo Normal Total}}{1 - \text{Factor de Holgura}}$$

$$\text{Tiempo Estándar} = \frac{129.20}{1 - 0.15} = 152.00 \text{ segundos}$$

## 7. Análisis de resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos mediante el estudio de tiempos y movimientos:

**Estudio de tiempos en estación antes de rediseño**, en primera instancia se pudo observar que era más complicado para los operarios llevar a cabo las diferentes actividades en la estación anterior de trabajo debido a la falta de ergonomía que existía antes del estudio actual ya que todas las actividades se realizan de pie. Con base en el estudio de tiempos se pudo calcular los tiempos promedio y normales

por cada elemento de la operación total. Representado en la Figura 8.

**Estudio de tiempos en estación rediseñada**, en este punto se pudo observar que con la implementación de las mejoras a la estación fue más sencillo para los operarios desempeñar las diferentes actividades que conlleva la operación completa. Los resultados del estudio de tiempos se pueden observar en la Figura 9.



Figura 8. Tiempos promedio por operación previos al rediseño.



Figura 9. Tiempos promedio por operación posteriores al rediseño.

## 8. Conclusiones

Existen diversos métodos para realizar evaluaciones de tiempos y se estableció que el método de estudio de tiempos y movimientos es el más adecuado para el presente trabajo de investigación, en función de los parámetros que contempla, ya que es un método sencillo de comprender y de llevarlo a cabo.

A simple vista se pudo observar que una estación mal diseñada ergonómicamente favorece a la improductividad, debido a los factores expresados anteriormente.

Con el presente análisis se realizó un diagnóstico preciso para llevar a cabo el rediseño de la estación con base en principios ergonómicos y de diseño de espacios de trabajo, para poder lograr un incremento en la productividad.

Con el nuevo diseño implementado se eliminaron movimientos y desplazamientos innecesarios, también se observó cierta comodidad del operario al realizar sus actividades.

## 9. Referencias

- [1] Cruz Gómez, J. y Garnica Gaitán, G. (2001). "Principios de Ergonomía". Primera Edición. Santa fé de Bogotá: Universidad de Bogotá. ISBN-10 # 9589029337, ISBN-13 # 9789589029336.
- [2] Heizer, J. y Render, B. (2009). "Principios de Administración de Operaciones". Séptima Edición. México. Pearson Education. ISBN-10 # 9702605253, ISBN-13 # 9789702605256.
- [3] Niebel, B. y Freivalds, A. (2009). "Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo". Onceava Edición. México. McGraw-Hill Interamericana. ISBN-10 # 9701509935, ISBN-13 # 9789701509937.
- [4] Ramírez Cavassa, C. (2000). "Ergonomía y Productividad". Primera Edición. México. Limusa. ISBN-10 # 9681837975, ISBN-13 # 9789681837976.
- [5] Rodríguez, J. (2016). "Seguridad y Salud Laboral - Prevención de Riesgos Laborales. Elergonomista.com. Recuperado de <http://www.elergonomista.com/>

# Recap on bio-sensorial stress detection methods and technology

Florencio Abraham Roldán Castellanos

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Luis Carlos Méndez González

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Abstract:** Mental stress consist in a biological condition that allows reaction to a demand or unknow situation, it is a necessary aspect for survivable, but, in a big among can turn into acute stress and if acute or common stress is not treated can become chronic stress a very dangerous health condition which can also be trigger for several cardiac disorders like heart attack or even strokes, for the las 20 years stress has increase severely due to our new lifestyle, this document gives a complete recap of stress detection by showing characteristics, health consequences and types of stress, as well as, recollect a background of previous research from methodologies like machine learning implementation to complex sensorial analysis, impacts and advances in stress detection, it also contain general concepts needed to obtain a full compression of stress detection, explanations of EDA (Electrodermal activity), cardiovascular activity, muscular activity, respiratory response, etc. follow by an explanation of devices capable of read such signals using GSR (Galvanic skin reflection), PPG(Photo plethysmography), EMG(Electromyogram), ECG(Electrocardiogram), etc. in addition, the proposed of a comparative table between all the common stress detection techniques, emphasizing parts of the body in which a lecture can be obtain, advantage and disadvantages of each signal and common application, equally important a new classification for stress detection methods.

**Keywords:** Mental stress, GSR, PPG, EMG, BSN, EDA, bio-signal and stress detection.

---

## 1. Introduction

Monitoring biological signals from human body has become a necessity to ensure individual and health, therefore, in recent years such monitoring has received special attention in scientific and technological development [1]. In terms of healthcare is well accepted that some psychological conditions can be “Triggers” for adverse cardiac conditions, one common and harmful condition is mental stress more specific “chronic stress”; it consequent biomarkers are to be found in hypertension, showing us a direct relation between stress and cardiovascular diseases [2]. Stress was definite by Chen et al. [3] as “stress represents an imbalanced state of an individual and is triggered when environmental demands exceed the regulatory capacity of the individual”, as mentioned environment demands represent a great part in the origin of stress, modern world demands more and more of us, even something as simple as tablet of

smartphone screen’s resolution [4] can turn into a trigger for stress and consequential conditions. If acute stress is not treated, it can become chronic stress, taking part in the origin of hypertension and coronary atherogenesis, in addition, short-term chronic mental stress can act as a detonator for abnormal heart read and spontaneous dead on people with pre-existences cardiac conditions [2]. This health conditions have increase in late years, requiring a long-term solution but mainly an improve diagnostic methods to promote prevention and pre-care.

Consequences of uncared stress are well known and its treatment as a sickness has become a common medical practice [2], even with all the measures taken from medical authorities, spontaneous illness or even death are common health risk until these days. To reduce this risk several actions have been taken, the introduction of wearable body sensor networks has increased reliability of quick diagnosis and treatments, this has only be improve by the

technology available now [5], this has allow the incorporation of simple sensors on smartphones and cars, however, even with the existing evidence in the detection of stress, these new techniques are faced with a traditional reading model, which does not provide the necessary results for a fast, constant and correct diagnosis, even then concept of “emotions” is unclear and difficult to categorize by a person with traditional methods, requiring time and complexity. Stress detection and treatment have been done by psychological and medical experts for years but using a combination of invasive and disturbing technology with long diagnosis methods has create a slant between real conditions and perceive lectures or diagnostic. The use of technology have shown to be a high reliable way (accuracy rages of 96.6%) to detect biological conditions like emotions or stress [6], taking what mention before into account is imperative de deploy of an actual stress detector with a medical level reliability that also allows us to prove anti stress techniques by comparing lecture values.

## 2. Previous work

The development of technologies such as tactile sensors offer an option to acquire data from various systems, including, but not limited to, the human body [7], consequently health care changed [8], this is due to development of body sensor networks (BSN) and portable sensors [5]. The portable sensors offer a practical option for multiple disciplines from medicine to leisure [9]. Haag et al made an analysis of which statically method works better to prove reliable on a bio-sensor (specifying bio signal) base system, this have allow us to develop more efficient sensorial systems based on bio signals [6]. According to Sioni et al. measuring stress depends greatly of psychological signals obtain by sensors of electrodermal activity and heart rate [1], an example of this was seen when Das et al. show a 99.44% of accuracy reading between opposite emotions using electrocardiography and electrodermal activity together [10] and as later proved Muaremi et al. by using these new technologies to monitory sleep patterns on peregrines and its effect on their health [11], most of sensorial technology have been orientated to improve sensor and lecture methods as mentioned by Yang et al [7], Konijnenburg et al for example used a five channel multisensory acquisition system in a wristband he prove that a multisensorial versatile and portable device can be make, focusing more in a general propose multi lecture than a specific condition high reliable system [12], while all the devices and studies mention before had focus in the acquisition of bio signal using external no invasive sensorial methods some others base on improving or adapting to an existing technology as Sano et al. proposed when used a single sensor supported

by smartphone machine learning to detect stress, mood and sleep but with some low accuracy [13] something similar was pull by Warnick et al show in Figure 1, but using electrocardiography to detect heart attacks [14].

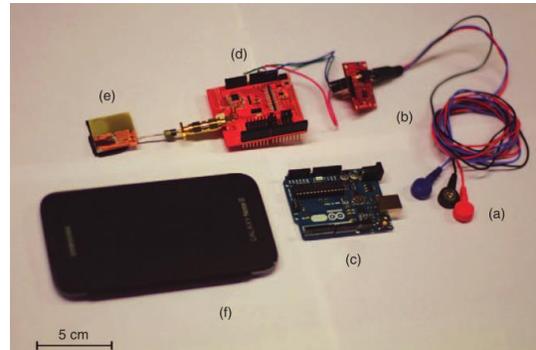


Figure 1. Warnick et al. Wireless Body Area Network for Heart Attack Detection. 2016 [14].

It is also well know that some tendencies have approach to improve cellphone and general lecture by using fuzzy logic and machine learning as shown by Chiang with his implementation to improve single signal biometric lectures[15].

If a device or technique has a high reliability either by having multiple lectures from different signal or a complete machine leaning code this technology oriented to stress or emotional detection have been use on hard environments, in order to make it safer or help the user to overcome such environment, one example of this is the implementation of such system in a car in order to improve the environment by knowing how does the driver feels [16], as well apply in a more safety oriented manner like show by Lee et al, by making a biometrical glove which detects drowsiness on drivers and sounds an alarm to awake them, he as well use multiple signals (GSR and PPG) in order to improve reliability.

Most of current biological detection systems depends of sensorial technologies and it capability to become a wearable item as an example of a use of a sensorial wearable device we have Liu et al. and it sweat monitoring witch control remote fans [17] other example of this is Sim and Cho sweat detector using only one sensorial base of conductivity in skin [18]. The new biometrical detection systems will depend greatly of the sensorial tool, current developed trends to sensors base on tactile technologies, demands self-power, biocompatible, biodegradable, skin merge and not invasive devices, as show in Figure 2 [5]. As conclude [7] advances on tactile sensor like wearable electronic patch and electrochromic polymer has the capacity to perceive way beyond any human common check, having the potential to replace a human medical diagnostics entirely.

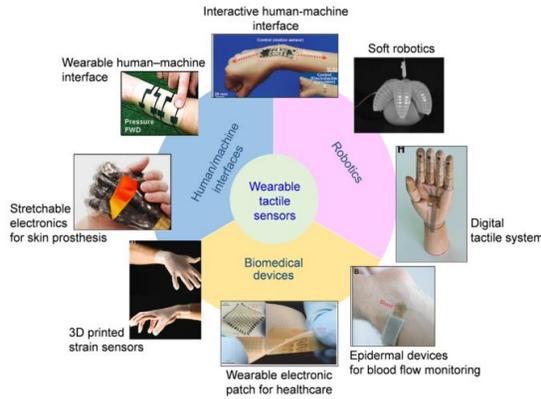


Figure 2. T. Yang et al. Materials Science and Engineering 2017 [7].

**2.1. Patents**

Scientific interest in monitoring physiological and physiological conditions have drove to the design of several devices and methodologies to improve healthcare base on stress. As so patens as shown in Table 1., trend to create an advantage by improving it technologic briefcase and allowing more continuous development, next we present a chart with some patents related to a stress lectures or detection.

Table 1. Patens table.

Patent Name	Patent Number
Physiological stress detector device and system [19].	US7171251B2
Methods and systems for detecting, measuring, and monitoring stress in speech [20].	US7283962B2
Method and device for measuring stress [21].	US7160253B2
Voice, lip-reading, face and emotion stress analysis, fuzzy logic intelligent camera system [22].	US7999857B2
Procedure for detection of stress by segmentation and analyzing a heartbeat signal [23].	US20050256414A1
Advanced patient management for identifying, displaying and assisting with correlating health-related data [24].	US20090105554A1
Methods and apparatus for profiling cardiovascular vulnerability to mental stress [25].	US20080081963A1
Wearable computing apparatus and method [26].	US20140347265A1
System and method for physiological monitoring [27].	US20120071731A1
Method and apparatus for analysis of psychiatric and physical conditions [28].	US20090292180A1

Real-time monitoring and control of physical and arousal status of individual organisms [29].	US20090312998A1
Assessing subject's reactivity to psychological stress using fmri [30].	US20090253982A1
Method for analyzing stress based on multi-measured bio-signals [31].	US20090069641A1
Methods and devices for relieving stress [24].	US20070056582A1
Data capable strapband for sleep monitoring, coaching, and avoidance [32].	US20150186609A1
Mental state analysis using wearable-camera devices [33].	US20130245396A1
Method and apparatus for determining heart rate variability using wavelet transformation [34].	US20120123232A1
Portable psychological monitoring device [35].	US20110151418A1
A method and apparatus for measuring and reducing mental stress [36].	WO2009138923A1
Metabolic monitoring, a method and apparatus for indicating a health-related condition of a subject [37].	US20070060803A1
Physiological signal detecting device and system [38].	US20150031964A1
The method and system, as well as their use for the physiological and psychological / physiological monitoring [39].	JP2008532587A
System and method for pain monitoring using a multidimensional analysis of physiological signals [40].	US8512240B1
Continuous monitoring of stress using environmental data [41].	US20120289789A1
Mental state analysis using web services [42].	US20110301433A1
Method, system and software product for the measurement of heart rate variability [43].	US20100174205A1
Continuous monitoring of stress using accelerometer data [41].	US20120289793A1
Continuous monitoring of stress using self-reported psychological or behavioral data [44].	US20120289790A1
Physiological and environmental monitoring systems and methods [45].	US8204786B2
Vehicle driver monitor and a method for monitoring a driver [46].	US20130070043A1
Washable wearable biosensor [47].	US 8140143 B2
Detection of cardiac arrhythmias using a photoplethysmograph [48]	US 7794406 B2

## **2.2. Stress detection**

Stress diagnostic and psychological changes in general, can be improved with the use and more extensive application of sensory technology as demonstrated by [10] in its analysis of application of electrodermal activity and electrocardiogram, demonstrating that the use of sensory technologies is vastly superior to traditional models of emotional detection. This has led to sensor-based biometric systems becoming safe measures for disease and accident prevention, as posteriorly prove [49] and [50], these systems are a valuable asset for a safe and healthy between human and environment interaction, in other hand, [18] designed a portable sweat detector to control a house fan, while [51] developed a biometric human-machine interface controller, demonstrating that these technologies are not limited to healthcare instead having multiple applications.

## **3. Collection of data**

Modern technology has proven to be able to read biological changes and condition without recurring to complex analysis and unprecise diagnosis, stress detection depends totally of the biological conditions that comes with it, biological condition of stress allows us to possible detect other medical condition as show by [52] or [53], but as mention before in order to detect and measure biological conditions in a proper way is needed a comprehension of the biological reaction in analysis.

### **3.1. Stress**

To detect and measure stress using technology or any traditional method it is necessary to know what stress is and how many kinds are, all this information will help us to realize what kind of signal are we looking for and how are we going to measure them, according to [54] mental stress consist in "a body or mental tension resulting from factors that tend to alter an existing balance", this is presented as a natural reaction to an unexpected change, also stress can be seen as a defensive process to protect a person against possible injuries or treats to emotional well-being [1]. In this research, we definite stress as a biological condition of the autonomic nervous system (ANS) that allows reaction to a demand or unknow situation. All physiological responses related to stress are controlled in the autonomic nervous system (ANS). The latter is divided into sympathetic (SNS) and parasympathetic nervous system (PNS), the former controls activities that are detonated during emergency or unknown situations and the latter controls the rest and restoration functions of energy.

### **3.1.1. Types of stress**

There is a wide variety of conditions under the name stress, and as mentioned before it is a very natural reaction, based on [55], there are three different types of stress, Eustress, Neustress and Distress. Not all kind of stress are bad or health prejudicial and it is needed to know which kind of stress is useful and which demands immediate detection and treatment. Eustress consist on good stress, it is call good stress because it increases in moments of inspiration, joy or motivation. Neustress is a neutral kind of stress and it comes to presence when a stimulus does not trigger a biological response and at last Distress, this final type of stress is the one considered harmful and is commonly known as "stress", Distress is detonating by an unexpected event or circumstance, this is the type of stress that required constant monitoring because chronic phycological distress can have harmful cardiovascular consequences [2].

Distress is divided into two different kinds, acute stress and chronic stress. Acute stress comes from intense and strong stimulus, but with a short duration, it is also a common stress and in big quantities triggers chronic stress. Most of population is exposed to develop acute stress in any point of his/her life. Chronic stress is not as strong as acute stress but it can last days, weeks and even months [55].

### **3.2. Biological signals**

All new methods of stress or emotional detection depends heavily on been able to monitor biological changes and translate them into readable signals. Biological signals fulfill that purpose, according to Kaniusas [56] a biological signal describes a physiological phenomenon, there is almost an unlimited quantity of biometrical markers, these markers are apply in the analysis, study and prediction of biological phenomenon, there are three bio-signals classification:

1. First classification is base on it "existence".
  - Permanent bio-signals. Permanent bio-signals are those that "exist" without need of impact, arousal or external trigger and can be measure anytime.
  - Induced bio-signals. Consisting on those signals exhibit only when external artificial triggers activate them.
2. Second class. This classification is based on the dynamic nature of the signal.
  - Static bio-signals. Are those that suffer slow changes in long periods, these carry information on static state, for example body temperature.
  - Dynamic bio-signals. These bio-signals changes considerably over short periods of time
3. Third and last classification is base in the bio-signal origin, which include the next bio-signals:
  - Electrics.
  - Magnetics.

- Mechanics.
- Optics.
- Acoustics.
- Chemicals.
- Thermals.

**3.2.1. Signals and tools for stress detection**

Next, we present most common signals use for stress detection, each signal is follow by a hardware to read such signal, many of them are sensor other are more complex devices integrating sensors, filter, etc. and all of them are explain in each section, also, Figure 3 shows a visual summary of every signal and hardware use to measure them.

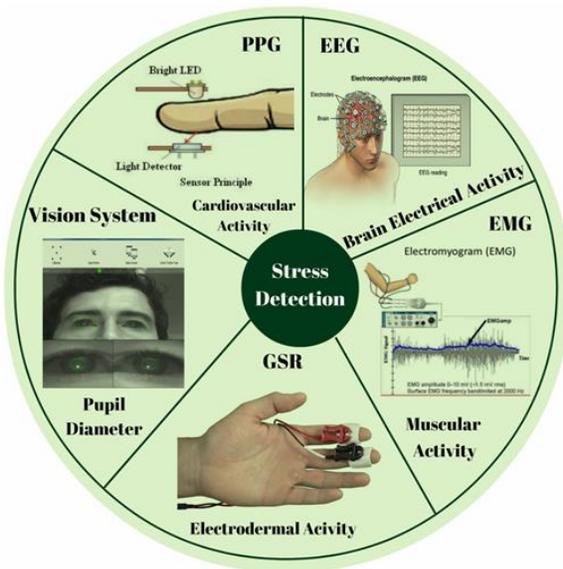


Figure 3. Stress detection methods (own image).

**3.2.2. Electrodermal Activity (EDA)**

One of the most common bio signal use to read stress on humans is electrodermal activity, this may be the most use bio signal to detect chronic stress, and many researchers considered the ideal stress signal. Human skin consist on an electrical conductor, in case of a cognitive, emotional or physical stressor, skin glands will produce ionic sweat [57]. This change on a physical condition can be measure and analyzed to obtain information about a person’s condition. According to Johnson and Lubin (1966) cite by Boucsein [58] electrodermal activity (EDA) is definite as a common term for all electrical phenomenon and properties (passive or active) present or traceable to the skin. electrodermal activity is divided in two, EDL ( Electrodermal Level) and EDR (electrodermal reaction) [58].

**3.2.2.1. Galvanic Skin Reflection (GSR)**

Considering that EDA as a bio signal, is still need to be obtain and translate into a readable unit in order to

interpreter and understand what this signal is telling us about our body, Galvanic Skin Reflection is an indicator of electrical conductivity in skin or SC (Skin Conductivity), this conductivity increases linearly in presence of external or internal stimulus [59].) The changes in the electrodermal activity are created by physical and emotional stimuli on the autonomic nervous system (ANS) generating variations in the activity of the sweat glands (increasing the conductivity of the skin) [1] and [60], also GSR detects a wide rate of emotions and it has become a standard stress measurer. An example of a GSR process (noise reduction) signal is shown on Figure 4.

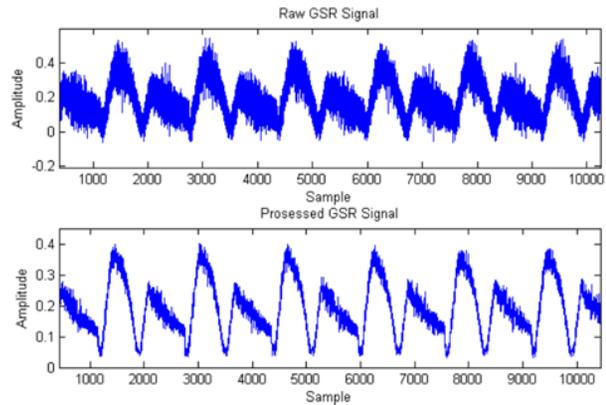


Figure 4. P.Das et al. Design and Development of Portable Galvanic Skin Response Acquisition and Analysis System. 2016 [60].

**3.2.3. Cardiovascular activity**

Cardiovascular activity refers to any measure that involve hearth and blood vessels, this bio signal provides a wide range of lectures for different physical and psychological conditions, cardiovascular activity can be measure throughout several different physiological signals, most common and use signals are blood volume pulse (BVP), electrocardiography (ECG). Blood volume pulse is related with the amount of blood that flows into the peripheral vessels and is generally measure using plethysmograph (PPG) [1].

**3.2.3.1. Photoplethysmography (PPG)**

In order to translate cardiovascular signals several devices have been create, one of them is the plethysmograph, Photoplethysmography (PPG) has been used for the development of small and portable pulse sensors. These devices consist of infrared (LED) and light emitting diode photodetector; the infrared LED crosses the skin giving a reflex, this reflex is detected by the photodetector, detecting changes in the volume blood volume flow using changes in light intensity through reflection microvascular tissue (Figure 5). This is a reliable and economical method to monitor heart rate in a non-invasive and portable way [61].

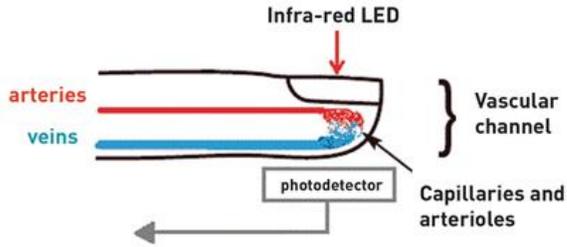


Figure 5. PPG operation by Scott Wilkes et al. Br J Gen Pract. 2015. 65 (635): 323-324.

**3.2.4. Muscular Activity (EMG) and Respiratory Response**

Tension in muscles is a common indicator of an external stimulus, as consequence it is possible to found certain emotional changes using muscular signals, muscular activity can be measure by EMG which stands for Electromyogram. EMG uses electrodes on the skin muscles to detect electrical discharger during muscles fiber contractions, [1], is need to be notice that the electrodes most be stick or insert using needles , is because of this that EMG is traditionally considered an invasive technique. Even so, new technologies have made possible to use EMG in a more practical way reducing invasively and improving lecture.

Continuing with stress detection signals, there is a well know relationship between stress and respiration, SNS and PNS have a close relation with berating patterns [62], inhalation and exaltation length turn into biomarkers for stress, during stress respiration becomes irregular. This respiration unbalance affects different body phenomenon such as HRV and EDA, this is since almost all physiological activities in human body depends on respiration. Respiratory response is usually measure by using a related

bio signal, an example the relation between breathing and HRV in sleep patterns [11], or by measuring air flow and quantities.

**3.2.5. Analysis by Vision Systems**

A relative new technique to measure stress and emotional changes is by using vision system, as shown by Chen et al the use of Hyperspectral Imaging which uses oxygen saturation and temperature in order to detect emotional changes, also small movements in the face [3]. Another implementation of vision system is in the use of pupil, Torres et al. using a cam detected stress by measuring the changes on the pupil using different stimulus [63], showing many of the possibilities using this technology.

**3.2.6. Other tools and signals**

Some other signals have been used to determine the presence of stress, electroencephalography or EEG is a common tool for diagnosis for several psychological conditions, it consist of a big amount of electrodes place on the user head measuring the electrical activity on the brain. This technique has been used successfully to read stress by clustering results [64],[65]. Another signal also use for stress detection is electrocardiogram or ECG, this consist of an interpretation of electrical activity in heart [66] this allow a wide variety of lectures and it has been use to monitoring heart conditions including but not limiting to heart attacks or sudden death.

**3.2.7. Comparative Chart**

Next, we show a descriptive chart (Table 2), first mentioning all the common ways to detect and measure stress and where its commonly measure (body part), second its characteristics and benefices or disadvantages.

Table 2. Comparative chart.

<b>Stress Detection Comparative Chart</b>					
<b>Bio-signal</b>	<b>Devices to read signals</b>	<b>Body part for recollection of data</b>	<b>Beneficies</b>	<b>Disadvantage</b>	<b>Applications</b>
Electrodermal activity.	GSR	Any soft skin tissues. (Hand fingers, hand palm, foot plant.)	Noninvasive, detects a wide range of emotional changes.	Hard to interpreter, requires signal conditioners and post processing techniques.	Commonly use to stress detection or emotional detection [67], [68], [60], [69].
Cardiovascular activity. -	PPG, Polygraph, etc.	Wrist, finger tips, lobule, chest, etc.	Detects a wide variety of biological conditions and	Sensible to movement. Sensible to internal biological conditions and cardiac diseases.	Its application varies [61] from detecting emotions and stress [70], [6] to cardiac conditions like heart attacks [5].
Muscular activity	EMG	Any muscular section, is recommended upper arm.	Clear lectures and reliable.	Very invasive. Sensible to movement	EMG are usually use to interface machines with human body [71], [51], but can also been used to detect psychological stimulus in human body [64].

Respiratory Response	Breath sensor (like gas sensor) or a sensorial chest trap.	Chest and mouth.	Detects a wide variety of conditions. Doesn't need much signal preconditioning.	Uncomfortable and some invasive. Sensible to movement.	Applications for this are monitoring for patient in hospital and also can be used to detect stimulus or conditions like apnea or stress [72], [62].
Vision	Camera	Usually monitoring eyes or face muscular changes.	Noninvasive, detects a wide variety of conditions, doesn't require direct contact with the user.	Requires a high level of programing and debugging. Its affected by a lot of noise.	Using vision can detect al emotional range or emotional conditions [63], [3].
Electrocardiogram	ECG	Chest area.	Precise and versatile (proven technology)	Big hardware	Can be used to detect almost any cardiac conditions [66], [52].
Electroencephalography	EEG	Head.	Can read a wide range of signals and conditions derivate from brain activity.	Invasive and require a big hardware	Used on control of devices by human brain and to detect neural illness, but can be used to detect emotions and stress, any brain related condition [73], [49].

#### 4. Stress bio-lecture techniques/methods

To correctly detect biological changes like emotions or stress by bio signals, it is necessary to determine which sensor, method and / or technique work optimally. To do this, first, we must identify which signals are more efficient when reading the stress. Some authors affirm that the EDA (Electrodermal Activity) are “ideal” obtaining psychological signals for stress measurement [60], [1], EDA measure changes in electrical conductivity of the skin and receive data mostly when an unexpected situation occurs or that demands a reaction [1]. Some stress detection have been well done by using only a single or various GSR sensors, an example of this is appreciate in a portable Galvanic Skin Response Acquisition and Analysis System done by Das et al [60], focusing in improving the lecture and analysis of a GSR signal and obtaining good result. Based on previous mentioned, some others studies report using this type of sensor to perform detection and quantification of stress based only on an EDA in form of a GSR (Galvanic Skin Response) sensor [74], [69]. Other often use biological characteristics for optimal stress detection or emotional changes are cardiovascular signals, there are several cardiovascular phenomenon and these conditions are closely linked to stress [53] most common cardiovascular reads/signals used on stress detection according to [1] are BVP (Blood Volume Pressure) which is measured by a plethysmograph (PPG) [57] and ECG (Electrocardiography) [75], [76]. These sensors consist of an infrared emitting diode (LED) and photodetector, which allows to be a reliable, non-invasive and low cost sensor [61], in addition, the PPG sensors are the basis of modern pulse monitoring devices and extensively apply on medical monitoring area [77], however, its performance still can be improved by

using noise canceling techniques. As has been noticed EDA and cardiovascular activity tend to be the most accepted way to detect stress and have become a proven method to read emotional changes, even so there is some debate in which sensor is more efficient and if a single sensor is enough, due to this divergence is necessary to establish a relation between lecture method/sensor/signal approach and benefits or disadvantage respectably.

In this paper, we divided stress’s lecture technique into two main classes:

- Unisensor.
- Multisensor.

The first one applies when the user depends of only one sensor/type of signal to obtain the stress lecture, this technique depends greatly from filter, signal conditioning, and hardware (sensor), this method benefits from complete sensor and signals that carry a wide variety of data as cardiovascular or electrodermal activity, being said that, instruments like PPG or GSR sensor can be used to detect a wide variety of biological phenomenon have shown a high efficiency individually apply.

Unisensor lectures carry a disadvantage of needed an advance code and digital and/or analog filters to avoid noises like movement to get mandatory precision, often this technique is very useful when we try to find big changes in data, like detect happiness or sadness, calm or arousal, but it lacks lecture’s reliability when we try to read a more precise biological state, some authors have solved this problem by applying to the signal classifiers,

RAF (Rectifier, Amplifier and Filters) and genetic algorithms in a synergistic way (Figure 6).

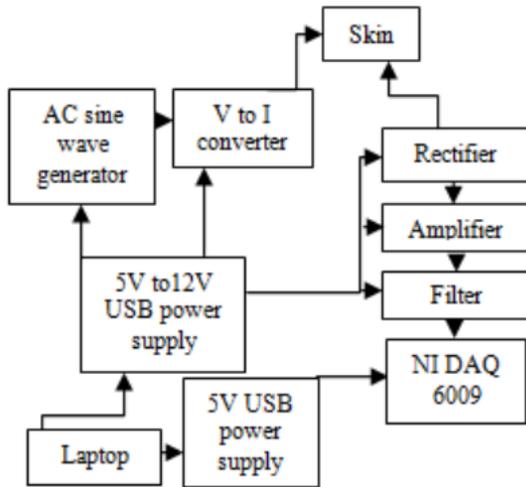


Figure 6. Design and Development of Portable Galvanic Skin Response Acquisition and Analysis System /Schematic block diagram of design methodology/ Das, Priyanka (2016).

Second, we have multisensorial technique as the name subject require several signals and sensor, also biological sensor networks enter in this category, this method requires a high synergic between it sensors to acquire a measure without conflict between them. This method, if is correctly complemented (machine learning or genetic algorithm)[78] can detect and measure almost every known biological phenomenon, as an example by using PPG, EMG, GSR, Vision, etc. to detect stress you can achieve a reliable lecture and proving to be much exact [79].

In both techniques there is a common problem worth to be mention and analyses how each technique deal with it, this is, what if the biological signal which your lectures are taken from is affected for other external or internal conditions ?, this is the divergence where unisensor method seen to be inferior to multisensor, because of his lack of feedback from some other bio-signal meaning that unisensor relays to much in the device making hard to responded to a unpredicted stimulus non readable, explain in another way, if we are taking a cardiovascular lecture and the subject has or had cardiac diseases the lecture is going to be affected because of this conditions or if we are taking a electrodermal measure and the user has some respiratory problems our lecture won make a patron causing doubt in the system. Consequently, this may create false positives and wrong lectures, in cases like stress or heart attacks this kind of errors must never happen due to the dangerous nature of such conditions,

many authors claim that the best and only way to measure biological signals is by using multiple bio signal data acquisition [80], [81] to avoid false positives, for example, in case of cardiac previous diseases cardiovascular lectures are supported by electrodermal lectures so if the data show conflict between it different receptors we could discard some conditions depending on which phenomenon are we trying to measure, this is a basic principle of a body sensor network[82], even so, some other claim that a unisensorial method is highly efficient if proper signal treatment and generic algorithm are apply [77], [83], but there still no a unified posture.

### 5. Future Research

According to what was mention before, stress detection has and will be an important part of our lives, oriented to help to avoid illness in a day a day basis, new technologies allow us to obtain several bio-signals from a single sensor and the develop of biopolymer attach to skin, will make stress detection a future symbiotic aspect of technology in human’s healthcare. There is no dough that smaller and complex skin attach sensors will make the future of stress detection and also an integration of these kind of sensors into cars, houses, furniture and industry.

A new use or open field for this kind of devices is in the industry, although some of these devices have been use to monitoring stress in workers, is always in a health perspective, but, the reach of these technologies is far greater than that, a new way of use in industry could be by verifying polities or techniques to improve production and workers efficiency, for example when a company starts to apply anti-fatigue mats, which claim to also reduce stress and improve workers efficiency, how can a company actually know this decision is working, well for all those kinds of decisions a biometric stress detector can be apply, even something as simple as illumination or color use in a plant can affect workers but using of these technologies could lead to an actual improvement.

### 6. Conclusions

To conclude, stress (distress) has increase greatly in the las 20 years due to a wide variety of life style changes, computer use and work and living conditions have spread and increase the number of people affected by this condition becoming a mass harmful condition, triggering several cardiac terminal afflictions and physical diseases, forcing us to detect and measure stress and its specific varieties to avoid it or reduce it. Previous said, have driven the creation of several methodologies, sensors and devices

which can detect stress in a certain condition, allowing us to actually have a knowledge and control of our mental state, this device opened a door of several possibilities of which we are still trying of fully to take advantage of, to take advantage of there is a wide variety of applications for stress detection and the technology advances only make it more efficient and portable, making possible an integration in home automation, wearable devices, car design, computer interface, phycological diagnosis, healthcare, vision system, etc. Also, all the studies of biological signals use to detect this phenomenon can be applied to detect several conditions phycological and physical, making this kind of technology a continuous study area.

This section is not mandatory but can be added to the manuscript if the discussion is unusually long or complex.

**Acknowledgments:** Special thanks to UACJ technological innovation department for supporting this document and all which help in its creation.

**Author Contributions:** For this article Dr. Luis Carlos Méndez offer a bio sensorial background, Dr. Ivan Perez gave an application and patents background and future research, and Ing. Florencio Roldan made the general stress detection research, create the comparative table and proposed the division between lecture methods.

**Conflicts of Interest:** “The authors declare no conflict of interest”.

## 7. References

- [1] L. Sioni, Riccardo and Chittaro, “Stress Detection Using Wearable Physiological Sensors,” *Artificial Computation in Biology and Medicine Lecture Notes in Computer Science*, vol. 360, no. t7 2, pp. 526–532, 2015.
- [2] M. Esler, “Mental stress and human cardiovascular disease,” *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 74, pp. 269–276, 2016.
- [3] T. Chen, P. Yuen, M. Richardson, G. Liu, and Z. She, “Detection of Psychological Stress Using a Hyperspectral Imaging Technique,” *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 5, no. 4, pp. 391–405, 2014.
- [4] K. Sakamoto, Y. Tanaka, K. Yamashita, and A. Okada, “Effect of display resolution on brain activity and physical and mental stress when using a tablet,” pp. 4–5, 2016.
- [5] B. P. L. Lo, H. Ip, and G.-Z. Yang, “Transforming Health Care: Body Sensor Networks, Wearables, and the Internet of Things,” *IEEE pulse*, vol. 7, no. 1, pp. 4–8, 2016.
- [6] A. Haag, S. Goronzy, P. Schaich, and J. Williams, “Emotion Recognition Using Bio-sensors: First Steps towards an Automatic System,” *Affective dialogue systems*, vol. i, pp. 36–48, 2004.
- [7] T. Yang, D. Xie, Z. Li, and H. Zhu, “Recent advances in wearable tactile sensors: Materials, sensing mechanisms, and device performance,” *Materials Science and Engineering: R: Reports*, vol. 115, pp. 1–37, 2017.
- [8] A. Sharma, T. Pande, P. Aroul, K. Soundarapandian, and W. Lee, “Circuits and Systems for Energy Efficient Smart Wearables,” pp. 147–150, 2016.
- [9] D. Graham and G. Zhou, “Prototyping Wearables: A Code-First Approach to the Design of Embedded Systems,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 806–815, 2016.
- [10] P. Das, A. Khasnobish, and P. D. N. Tibarewala, “Emotion Recognition employing ECG and GSR Signals as Markers of ANS,” pp. 37–42, 2016.
- [11] A. Muaremi, A. Bexheti, F. Gravenhorst, B. Arrrich, and G. Tröster, “Monitoring the Impact of Stress on the Sleep Patterns of Pilgrims using Wearable Sensors,” in *IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, 2014, pp. 3–6.
- [12] M. Konijnenburg *et al.*, “A Multi ( bio ) sensor Acquisition System With and Two PPG Readouts,” *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 51, no. 11, pp. 2584–2595, 2016.
- [13] A. Sano and R. W. Picard, “Stress Recognition Using Wearable Sensors and Mobile Phones,” *Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*, 2013 *Humaine Association Conference on*, pp. 671–676, 2013.
- [14] K. F. Warnick *et al.*, “Wireless Body Area Network for Heart Attack Detection,” no. October, 2016.
- [15] H.-S. Chiang, “ECG-based Mental Stress Assessment Using Fuzzy Computing and Associative Petri Net,” *Journal of Medical and Biological Engineering*, vol. 35, no. 6, pp. 833–844, 2015.
- [16] C. D. Katsis, N. Katertsidis, G. Ganiatsas, and D. I. Fotiadis, “Toward emotion recognition in car racing drivers: a biosignal processing approach,” *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 38, no. 3, pp. 502–512, 2008.
- [17] G. Liu *et al.*, “A wearable conductivity sensor for wireless real-time sweat monitoring,” *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 227, pp. 35–42, 2016.
- [18] J. K. Sim and Y. H. Cho, “Portable sweat rate sensors integrated with air ventilation actuators,” *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 234, pp. 176–183, 2016.
- [19] I. S. Y. Heimenrath, “Physiological stress detector device and system,” US7171251B2, 2003.

- [20] J. L. M. J. H. L. Hansen, "Methods and systems for detecting, measuring, and monitoring stress in speech," US7283962B2, 2003.
- [21] S. Nissilä, "Method and device for measuring stress," US7160253B2, 2003.
- [22] F. E. Bunn, R. D. Adair, R. N. Peterson, and D. D. Adair, "Voice, lip-reading, face and emotion stress analysis, fuzzy logic intelligent camera system," US7999857B2, 2003.
- [23] J. Kettunen and S. Saalasti, "Procedure for detection of stress by segmentation and analyzing a heart beat signal," US20050256414A1, 2003.
- [24] J. E. Stahmann, J. Hatlestad, and Q. Zhu, "Advanced patient management for identifying, displaying and assisting with correlating health-related data," US2009010554A1, 2008.
- [25] M. Naghavi, T. J. O'Brien, C. Jamieson, M. C. Johnson, and H. A. Hassan, "Methods and Apparatus for Profiling Cardiovascular Vulnerability to Mental Stress," US20080081963A1, 2007.
- [26] C. A. Aimone *et al.*, "Wearable computing apparatus and method," US20140347265A1, 2014.
- [27] J. M. Gottesman, "System and method for physiological monitoring," US20120071731A1, 2011.
- [28] S. Mirow, "Method and Apparatus for Analysis of Psychiatric and Physical Conditions," US20090292180A1, 2007.
- [29] D. Berckmans, S. Quanten, and J.-M. Aerts, "Real-time monitoring and control of physical and arousal status of individual organisms," US20090312998A1, 2006.
- [30] J. Wang, "Assessing subject's reactivity to psychological stress using fmri," US20090253982A1, 2007.
- [31] C.-H. CHO, D. Kim, J.-G. Cho, S. Jung, and S. Lizawati, "Method for analyzing stress based on multi-measured bio-signals," US20090069641A1, 2008.
- [32] M. E. U. II, "Data capable strapband for sleep monitoring, coaching, and avoidance," US20150186609A1, 2014.
- [33] D. Berman, R. el Kaliouby, and R. W. Picard, "Mental state analysis using wearable-camera devices," US20130245396A1, 2013.
- [34] K. Najarian *et al.*, "Method and apparatus for determining heart rate variability using wavelet transformation," US20120123232A1, 2009.
- [35] P. Armand *et al.*, "Portable psychological monitoring device," US20110151418A1, 2009.
- [36] H. Reiter *et al.*, "A method and apparatus for measuring and reducing mental stress," WO2009138923A1, 2009.
- [37] L. Liljeryd and U. Magnusson, "Metabolic Monitoring, a Method and Apparatus for Indicating a Health-Related condition of a Subject," US20070060803A1, 2006.
- [38] M. J. Bly, S. Mazar, and K. D. Ruda, "Physiological signal detecting device and system," US20150031964A1, 2013.
- [39] オーバック, トウビ, "The method and system, as well as their use for the physiological and psychological / physiological monitoring," JP2008532587A, 2006.
- [40] G. Zuckerman-Stark and M. Kliger, "System and method for pain monitoring using a multidimensional analysis of physiological signals," US8512240B1, 2010.
- [41] J. Jain, D. L. Marvit, B. T. A. A. Gilman, and A. H. M. Reinhardt, "Continuous Monitoring of Stress Using Environmental Data," US20120289789A1, 2011.
- [42] R. S. Sadowsky, R. el Kaliouby, R. W. Picard, O. O. Wilder-Smith, P. J. Turcot, and Z. Zheng, "Mental state analysis using web services," US20110301433A1, 2011.
- [43] S. and S. P. for the M. of H. R. V. Method, "Method, System and Software Product for the Measurement of Heart Rate Variability," US20100174205A1, 2009.
- [44] J. Jain, D. L. Marvit, B. T. Adler, A. H. R. M., and R. Balakrishnan, "Continuous Monitoring of Stress Using Self-Reported Psychological or Behavioral Data," US20120289790A1, 2011.
- [45] S. F. LeBoeuf, J. B. Tucker, and M. E. Aumer, "Physiological and environmental monitoring systems and methods," US8204786B2, 2011.
- [46] N. Geva, Y. GEVA, and Y. Tal, "Vehicle driver monitor and a method for monitoring a driver," US20130070043A1, 2011.
- [47] R. W. Picard *et al.*, "Washable wearable biosensor," US 8140143 B2, 2012.
- [48] D. Reisfeld and S. Kogan, "Detection of cardiac arrhythmias using a photoplethysmograph," US 7794406 B2, 2010.
- [49] L. B. Leng, L. B. Giin, and W.-Y. Chung, "Wearable Driver Drowsiness etection System Based on Biomedical and Motion Sensors," 2015 IEEE SENSORS, pp. 1–4, 2015.
- [50] C. Eggert, O. D. Lara, and M. A. Labrador, "Recognizing mental stress in chess players using vital sign data," in *Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON*, 2013, pp. 0–3.
- [51] J. Ma, Y. Zhang, A. Cichocki, and F. Matsuno, "A novel EOG/EEG hybrid human-machine interface adopting eye movements and ERPs: Application to robot control," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 62, no. 3, pp. 876–889, 2015.
- [52] V. Wahane and P. V. Ingole, "An Android based wireless ECG monitoring system for cardiac arrhythmia," 2016 IEEE Healthcare Innovation Point-Of-Care Technologies Conference (HI-POCT), pp. 183–187, 2016.
- [53] S. Parvaneh, N. Toosizadeh, and S. Moharreri, "Impact

- of mental stress on heart rate asymmetry,” *2015 Computing in Cardiology Conference (CinC)*, no. October 2016, pp. 793–796, 2015.
- [54] W. R. Lovallo, *Stress and health: Biological and psychological interactions (3rd ed.)*. Sage publications, 2016.
- [55] B. Seaward, “Managing stress: Principles and strategies for health and wellbeing.” Sudbury, MA: Jones and Bartlett, 2009.
- [56] E. Kaniusas, *Biomedical Signals and Sensors I Linking Physiological Phenomena and Biosignals*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [57] M. Saadatzi, F. Tafazzoli, K. Welch, and J. Graham, “EmotiGO: Bluetooth-enabled Eyewear for Unobtrusive Physiology-based Emotion Recognition,” *Automation Science and Engineering*, no. c, 2016.
- [58] W. Boucsein, *Electrodermal activity*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [59] A. Nakasone, H. Prendinger, and M. Ishizuka, “Emotion Recognition from Electromyography and Skin Conductance,” *The 5th International Workshop on Biosignal Interpretation*, pp. 219–222, 2005.
- [60] P. Das, A. Das, and D. N. Tibarewala, “Design and Development of Portable Galvanic Skin Response Acquisition and Analysis System,” pp. 127–131, 2016.
- [61] T. Tamura, Y. Maeda, M. Sekine, and M. Yoshida, “Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present,” *Electronics*, vol. 3, no. 2, pp. 282–302, 2014.
- [62] S. Gandhi, M. Shojaei Baghini, and S. Mukherji, “Mental stress assessment - A comparison between HRV based and respiration based techniques,” *Computing in Cardiology*, vol. 42, pp. 1029–1032, 2016.
- [63] L. A. Torres-Salomao, M. Mahfouf, and E. El-Samahy, “Pupil diameter size marker for incremental mental stress detection,” *2015 17th International Conference on E-Health Networking, Application and Services, HealthCom 2015*, pp. 286–291, 2016.
- [64] M. S. Kalas, “Stress Detection and Reduction using EEG Signals,” pp. 2–6, 2016.
- [65] J. Wijsman, B. Grundlehner, H. Liu, H. Hermens, and J. Penders, “Towards mental stress detection using wearable physiological sensors,” *Conference proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, vol. 2011, pp. 1798–801, 2011.
- [66] I. Alexandre, V. Felizardo, N. Pombo, and N. Garcia, “Contribution of biosignals for emotional analysis on image perception,” *IET Conference Publications*, vol. 2016, pp. 1–7, 2016.
- [67] A. Fernandes, R. Helawar, R. Lokesh, T. Tari, and A. V Shahapurkar, “Determination of Stress using Blood Pressure and Galvanic Skin Response,” pp. 165–168, 2014.
- [68] D. Competition, “Monitoring of Arduino-based PPG and GSR Signals through an Android Device,” 2016.
- [69] T. B. Tang, L. W. Yeo, and D. J. H. Lau, “Activity awareness can improve continuous stress detection in galvanic skin response,” in *Proceedings of IEEE Sensors*, 2014, vol. 2014–Decem, no. December, pp. 1980–1983.
- [70] S. P. Linder, S. Wendelken, and J. Clayman, “Detecting Exercise Induced Stress using the Photoplethysmogram,” *Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS '06. 28th Annual International Conference of the IEEE*, vol. 1, pp. 5109–5112, 2006.
- [71] L. Minati, N. Yoshimura, and Y. Koike, “Hybrid Control of a Vision-Guided Robot Arm by EOG, EMG, EEG Biosignals and Head Movement Acquired via a Consumer-Grade Wearable Device,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1–1, 2017.
- [72] Z. Chen, D. Lau, J. T. Teo, S. H. Ng, X. Yang, and P. L. Kei, “Simultaneous measurement of breathing rate and heart rate using a microbend multimode fiber optic sensor.,” *J Biomed Opt*, vol. 19, no. 5, p. 57001, 2014.
- [73] J. A. P. H. Perera, P. M. C. Perera, L. M. Rathnarajah, and H. B. Ekanayake, “Biofeedback Based Computational Approach for Working Stress Reduction through Meditation Technique,” pp. 132–140, 2016.
- [74] C. Camara, P. Peris-Lopez, J. E. Tapiador, and G. Suarez-Tangil, “Non-invasive Multi-modal Human Identification System Combining ECG, GSR, and Airflow Biosignals,” *Journal of Medical and Biological Engineering*, vol. 35, no. 6, pp. 735–748, 2015.
- [75] B. Hu *et al.*, “Signal Quality Assessment Model for Wearable EEG Sensor on Prediction of Mental Stress,” *IEEE Transactions on Nanobioscience*, vol. 14, no. 5, pp. 553–561, 2015.
- [76] N. Li, T. Misu, and A. Miranda, “Driver behavior event detection for manual annotation by clustering of the driver physiological signals,” in *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 2016.
- [77] V. Jindal, “Integrating Mobile and Cloud for PPG Signal Selection to Monitor Heart Rate During Intensive Physical Exercise,” *2016 IEEE/ACM International Conference on Mobile Software Engineering and Systems*, pp. 36–37, 2016.
- [78] A. R. Subhani, W. Mumtaz, M. Naufal, B. I. N. Mohamed, N. Kamel, and A. S. Malik, “Machine Learning Framework for the Detection of Mental Stress at Multiple Levels,” vol. 5, pp. 13545–13556, 2017.
- [79] M. Sevil *et al.*, “Social and Competition Stress

- Detection with Wristband Physiological Signals,” pp. 39–42, 2017.
- [80] N. Widanti, B. Sumanto, P. Rosa, and M. F. Miftahudin, “Stress Level Detection using Heart Rate , Blood Prxessure , and GSR and Stress Therapy by Utilizing Infrared,” *leee*, no. Icac, pp. 275–279, 2015.
- [81] G. De Morais Borges and V. Brusamarello, “Bayesian fusion of multiple sensors for reliable heart rate detection,” in *Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2014, pp. 1310–1313.
- [82] H. A. Sabti and D. V. Thiel, “High reliability body sensor network using gesture triggered burst transmission,” *Procedia Engineering*, vol. 112, pp. 507–511, 2015.
- [83] P. S. Pandey, “Machine Learning and IoT for Prediction and Detection of Stress.”

# Estudiantes y su dependencia a los teléfonos móviles: Caso UTCJ

Perla Ivette Gómez Zepeda

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Domingo Salcido Ornelas

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Jorge Armando Cárdenas Morales

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

René Meléndez Sepúlveda

*Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Resumen:** En la actualidad los teléfonos móviles han impactado de diversas formas a la población, pero específicamente a los estudiantes universitarios lo cual se ve reflejado en su desempeño académico; es por lo que la presente investigación se centra en aquellos alumnos de nivel superior de las diversas carreras que se ofertan en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez específicamente en el turno matutino, con la finalidad de determinar el impacto que genera en ellos el uso de las nuevas tecnologías específicamente el de los teléfonos móviles así como su dependencia a estos. La población bajo estudio la componen 5,700 alumnos con una muestra representativa de 250 alumnos a quienes se les aplicó el instrumento de medición correspondiente, siendo el diseño de esta investigación no experimental, transversal y descriptiva, buscando la asociación y relación entre variables.

**Palabras clave:** Dependencia, adicción, redes sociales, tecnologías de la información y teléfonos móviles.

---

## 1. Introducción

Con el paso de los años y los diversos avances tecnológicos, el hombre se ha visto involucrado en cambios vertiginosos para su diario vivir. El estudio, se centra en conocer el manejo que los estudiantes tiene sobre los teléfonos móviles, los cuáles a partir de su aparición han permitido que los seres humanos estén mayormente comunicados a pesar de la distancia y separados físicamente a pesar de su cercanía, el uso excesivo de los teléfonos móviles nos ha separado cada vez más, para estar en sintonía con los cambios en el mundo, las nuevas aplicaciones, las noticias de las diversas áreas; dejando de lado las relaciones interpersonales y el trato directo.

Debido a que la investigación se realiza en una institución de nivel superior, adquiere su importancia ya que los resultados se enfocan, a cómo los estudiantes se ven afectados por el uso de los teléfonos móviles independientemente del nivel socioeconómico que ocupen, en cuestiones como desempeño académico,

esfuerzo en actividades de clases y participación. La investigación se propone con el fin de describir cuál es el uso que los estudiantes del turno matutino de las carreras que ofrece la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez realizan de los teléfonos móviles y que nivel de aprovechamiento se tiene para aplicarlo en sus estudios, para descartar así, que los alumnos en su mayoría manifiesten tener dependencia de los teléfonos móviles.

En las secciones posteriores del artículo se conocerán los temas relevantes al estudio como: el origen de los teléfonos móviles y su uso en la vida cotidiana, como el avance de las tecnologías ha impactado en el hombre y sus adicciones por las mismas, la metodología que se llevó a cabo para la investigación, los resultados obtenidos, para finalizar con las conclusiones sobre este tema relevante en nuestros días.

### **1.1. De teléfonos móviles a teléfonos inteligentes**

AT&T introdujo el primer servicio telefónico móvil en los Estados Unidos el 17 de junio de 1946 en San Luis, Missouri. El sistema operaba con 6 canales en la banda de

150 MHz con un espacio entre canales de 60 KHz y una antena muy potente. Este sistema se utilizó para interconectar usuarios móviles (usualmente autos) con la red telefónica pública, permitiendo así, llamadas entre estaciones fijas y usuarios móviles. Un año después, el servicio telefónico móvil se ofreció en más de 25 ciudades de los EE.UU. y unos 44.000 usuarios en total, aunque por desgracia había 22.000 más en una lista de espera de cinco años. Estos sistemas telefónicos móviles se basaban en una transmisión de Frecuencia Modulada (FM) (Robledo Ramos, 2007).

El surgimiento de internet en 1969, el uso cada vez más popular de la computadoras, y principalmente el advenimiento a partir de los 90's de la World Wide Web, generó el apareamiento de los correos electrónicos, las páginas web, los blogs, los videos de You Tube, los iPods; se imponen a nivel global los teléfonos móviles con aplicaciones cada vez más diversas; los video juegos se han vuelto más sofisticados y se prefieren los juegos de roles y los juegos en línea; a esto se suman las archiconocidas redes creadoras de comunidades virtuales, como MySpace, Facebook, LinkedIn y Twitter (Caro Mantilla, 2017).

Las tecnologías de la información y comunicación (TIC) son el conjunto de recursos, procedimientos y técnicas usadas en el procesamiento, el almacenamiento y la transmisión de información. Las TIC actuales permiten que una persona pueda permanecer conectada constantemente sin que importe el lugar en el que se encuentre (Hardey, 2011).

### **1.2. La tecnología y la comunicación interpersonal**

El uso generalizado del Internet, en especial en los entornos de la denominada web 2.0 (por ejemplo, en las redes sociales) ha creado nuevos ámbitos para los intercambios sociales y la comunicación interpersonal, que aparece como uno de los principales usos a los que se destinan estos nuevos medios. Cabe destacar que aunque datos recientes refieren que su utilización todavía no llega a sustituir a los medios tradicionales, los métodos utilizados para comunicarse con familiares y amigos para el segmento de población comprendido entre 16 y 24 años, indican que el 85.5% utiliza el teléfono móvil, el 57.8% los SMS, el 55% las llamadas a teléfono fijo, el 53.2% la comunicación en persona, el 36.7% el correo electrónico, el 29.3% la mensajería instantánea y el 5% los mensajes a redes sociales, los datos anteriores fueron obtenidos en el año de 2008, por lo que es de considerar el incremento que pudieron haber sufrido dichos porcentajes en el transcurso de los años (Cáceres, San Román y Ruiz Brändle, 2009).

### **1.3. La adicción**

Los cambios y avances tecnológicos son grandes mejoras para el hombre, sin embargo, se presentan diversas

condiciones de comportamiento que afectan al individuo, las principales señales de alarma que denotan una dependencia a las TIC's o a las redes sociales y que pueden ser un reflejo de la conversión de una *afición* en una *adicción* son las siguientes (Echeburúa y de Corral, 2010):

- a) Privarse de sueño (<5 horas) para estar conectado a la Red, a la que se dedica unos tiempos de conexión anormalmente altos.
- b) Descuidar otras actividades importantes, como el contacto con la familia, las relaciones sociales, el estudio o el cuidado de la salud.
- c) Recibir quejas en relación con el uso de la red o del teléfono móvil de alguien cercano, como los padres o los hermanos, amigos o compañeros.
- d) Pensar en la red o en el teléfono móvil constantemente, incluso cuando no se está conectado, y sentirse irritado excesivamente cuando la conexión falla o resulta muy lenta.
- e) Intentar limitar el tiempo de conexión, pero sin conseguirlo, y perder la noción del tiempo.
- f) Mentir sobre el tiempo real que se está conectado o jugando a un videojuego.
- g) Aislarse socialmente, mostrarse irritable y bajar el rendimiento en los estudios.
- h) Sentir una euforia y activación anómalas cuando se está delante del teléfono móvil.

Chen, Ross y Yang (2011), determina qué, las condiciones adictivas al teléfono móvil inicialmente son controladas por un refuerzo positivo, es decir tienen un efecto placentero determinado por la novedad o la curiosidad, para terminar por un refuerzo negativo donde la persona dedica más tiempo al móvil para tener alivio a la tensión emocional ocasionado por la dependencia o adicción al dispositivo. Un uso normal del dispositivo se da cuando puede hablar, escribir textos, conectarse a internet para interactuar por el placer o la funcionalidad inmediata (rápida) y no interfiere en sus actividades diarias.

Un abuso del dispositivo se da cuando lo hace buscando alivio a la tensión emocional causada por el aburrimiento, la soledad, la ira y excitación, entre otras, Charro, Meneses y Del Cerro (2012). Las conductas normales y saludables se convierten en anormales en función de la intensidad, frecuencia de uso, dinero gastado y el tiempo invertido en el dispositivo, con una interferencia grave en su vida familiar, trabajo, escuela y sus relaciones sociales.

De este modo, estar permanentemente atento al teléfono móvil, conectarse al ordenador al llegar a casa, conectarse a Internet al levantarse y ser lo último que hace antes de acostarse, así como reducir el tiempo de las tareas cotidianas, tales como comer, dormir, estudiar o charlar con la familia, configuran el perfil de un adicto a Internet o

al teléfono móvil. Más que el número de horas conectado a la Red, lo determinante es el grado de interferencia en la vida cotidiana (Davis, 2001).

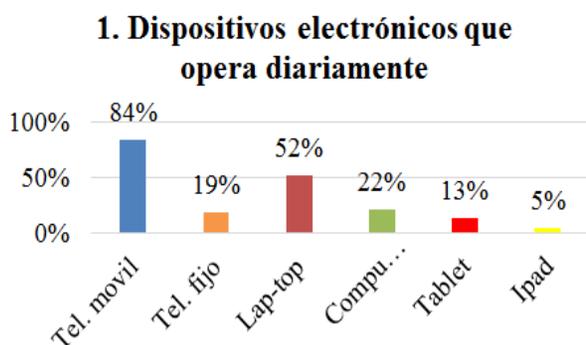
## 2. Metodología

El estudio se realiza en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez a los alumnos de las carreras de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Terapia Física, Logística Internacional, Fiscal y Financiera, Innovación y Desarrollo, Nanotecnología, Protección Civil, Procesos Industriales, Tecnologías de la Información y Comunicación. La población bajo estudio la componen 5700 alumnos aproximadamente, distribuidos en 11 cuatrimestres, considerando de estos a los alumnos del turno matutino a los cuales se les aplicaron 250 cuestionarios el cual fue elaborado exprofeso, durante los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2015.

El diseño de la investigación es no experimental, transversal, y descriptiva, lo cual permitirá describir las circunstancias de los alumnos con respecto al tema de investigación en cuestión. El cuestionario incluyo 50 preguntas enfocadas al uso de los dispositivos electrónicos, sus problemáticas generadas por el uso de los dispositivos, el manejo de las tecnologías de la información y comunicación, y por último el efecto de dependencia o adicción sobre ellos.

## 3. Resultados

En los gráficos de la Figura 1, se puede visualizar que los alumnos encuestados operan de 1 a 2 dispositivos, resaltando de estos como número uno el uso del teléfono móvil, perteneciendo a 2 o 5 redes sociales.



## 2. Grupo de redes sociales a los que pertenece

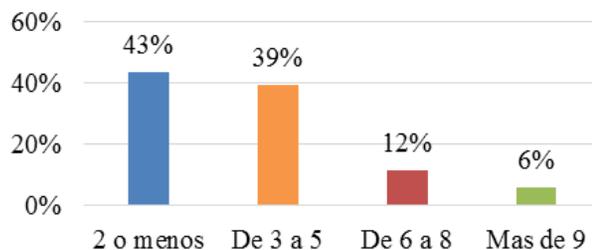
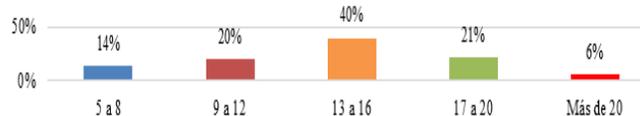


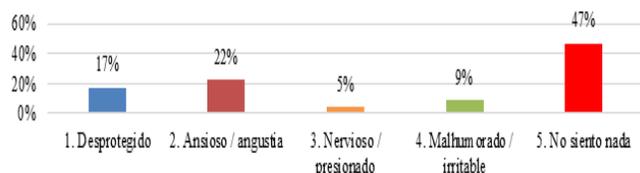
Figura 1. Dispositivos electrónicos y pertenencia a redes sociales (Elaboración propia).

El uso de los dispositivos se da a partir de los 13 a 16 años, se obtiene, que no presentan un sentimiento reconocible al desprenderse del celular, sin embargo, sí muestran un porcentaje promedio de dependencia y los principales problemas ocasionados por el uso del móvil, es principalmente con la familia, esto de acuerdo con los gráficos de la Figura 2.

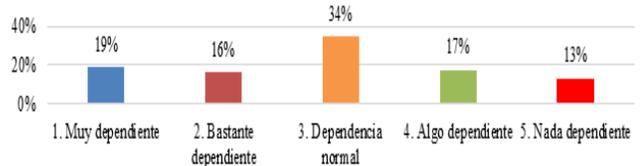
### 3. En que años empezaste a utilizar el teléfono móvil



### 4. Al no traer el teléfono móvil te sientes



### 5. Que tan dependiente te sientes del móvil



### 6. Problemas por estar pendiente del teléfono móvil con

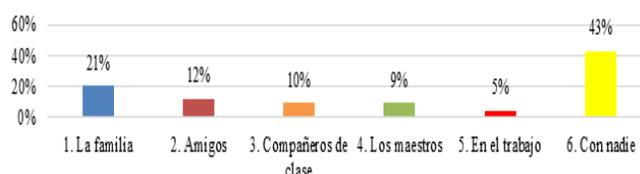


Figura 2. Edad, dependencia y problemas (Elaboración propia).

Los gráficos de la Figura 3, muestran que en el ámbito escolar el uso del móvil es frecuente y las interrupciones en clase son vergonzosas para el alumno, representando este ámbito el principal pretexto para el uso del dispositivo. Facebook, Whatsapp y YouTube son los más utilizados, y los alumnos por lo menos están en 5 redes o más inscritos para navegar en ellas, Facebook el número uno para relacionarse con otras personas, sin tener un control de los ingresos a las redes sociales como principal medio de entretenimiento, brindándoles un nivel de satisfacción alto, eliminando la atención en lo que hace, generando una patología obsesiva compulsiva seguida del estrés, adicción y por último dependencia.

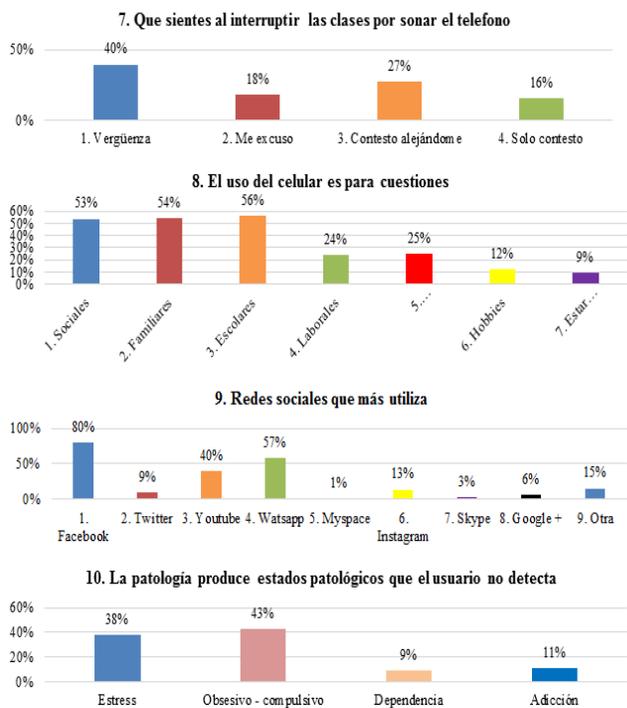


Figura 3. Usos, problemáticas y dependencia (Elaboración propia).

#### 4. Conclusión

Con la información obtenida se puede reconocer que los estudiantes de la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez mantienen un uso constante de los dispositivos móviles, no solo para actividades personales como establecer nuevas relaciones, sino también, para poder desarrollar actividades de carácter educativo, sin embargo, por los resultados mostrados en el apartado anterior, es visible que ni los propios estudiantes pueden reconocer su dependencia sobre los teléfonos móviles, ya que el no tener el dispositivo si genera una patología obsesiva compulsiva por saber sobre las novedades que hay en las redes. Es importante el desarrollo de investigaciones de

carácter longitudinal para determinar los efectos en el desempeño académico del alumno generadas por estas dependencias, mismas que sirvan para generar por las instituciones educativas como la que fue objeto de estudio, estrategias para que los estudiantes aprovechen los recursos para su propio crecimiento académico.

#### 5. Referencias

- [1] Cáceres, María Dolores; San Román, José A.; Ruiz Brändle, Gaspar (2009). "Comunicacion Interpersonal y Vida Cotidiana. La Presentación de la Identidad de los Jóvenes en Internet". Madrid: CIC Cuadernos de información y comunicación, 14, 215. ISSN # 1135-7991.
- [2] Caro Mantilla, M. M. (2017). "Adicciones Tecnológicas: ¿Enfermedad o Conducta Adaptativa?". Cuba: Universidad de Ciencias Médicas de Cienfuegos. MediSur, 15(2), 251-260. ISSN # 1727-897X.
- [3] Charro Baena, Belén, Meneses Falcón, Carmen. y Del Cerro Marín, Pilar. (2012). "Motivos para el Consumo de Drogas Legales y su Relación con la Salud en los Adolescentes Madrileños. Revista Española de Drogodependencias, 37, 257-268. ISSN # 0213-7615.
- [4] Chen, J.V., Ross, W.H. y Yang, H.H. (2011). "Personality and Motivational Factors Predicting Internet Abuse at Work". Cyberpsychology: Journal of Psychosocial Research on Cyberspace, 5 (1), article 1. Recuperado de <http://cyberpsychology.eu/view.php?cisloclanku=2011060601&article=1/9> mayo 2015. ISSN: 1802-7962.
- [5] Davis, R. (2001). "A Cognitive-Behavioral Model of Pathological Internet Use". Computers in Human Behavior, 17(2), 187-195. ISSN # 0747-5632.
- [6] Echeburúa, E. y De Corral, P. (2010). "Adicción a las Nuevas Tecnologías y a las Redes Sociales en Jóvenes: Un Nuevo Reto". Adicciones, 22(2), 91-95. ISSN # 0214-4840.
- [7] Hardey, M. (2011). "ICTs and Generations: Constantly Connected Social Lives". Vol. 5. (F. & Colombo, Ed.) New York: Peter Lang. ISBN-13 # 9783631604199.
- [8] Robledo Ramos, C. (2007). "Introducción a la Telefonía Celular". México, D.F. México: Universidad Pedagógica Nacional. Obtenido de [http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-27\\_04-15-36110889.pdf](http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-27_04-15-36110889.pdf)

# Sistema de visión industrial para piezas en procesos con dispositivo móvil o single board computer: Revisión de literatura

Arturo Heriberto Alanís Pérez

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Manuel Iván Rodríguez Borbón

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Luis Asunción Pérez Domínguez

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Luis Alberto Rodríguez Picón

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

---

**Resumen:** Se definen aspectos de los sistemas de visión computacional utilizados en procesos industriales, así como la tecnología actual desarrollada, que incluye la nueva tecnología en dispositivos móviles, la arquitectura de hardware y software, además de la plataforma de desarrollo para aplicaciones Android que facilita el desarrollo de aplicaciones para los programadores; se presentan los avances en la tecnología de los dispositivos móviles y Single Board Computer (SBC) en el procesamiento de imágenes, por último, se presenta una revisión literaria del uso de redes neuronales y conjuntos difusos para reducir el costo computacional en el análisis y procesamiento de imágenes.

**Palabras clave:** Sistema de visión, dispositivo móvil, conjuntos difusos, redes neuronales, bibliotecas para procesamiento de imágenes y SBC.

---

## 1. Introducción

Visión artificial es una disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes, donde el procesamiento de la información presenta una alta complejidad. La visión artificial supone un desafío para la tecnología y la ciencia actual ya que hasta la fecha ni las máquinas más potentes han logrado alcanzar la capacidad de los sistemas visuales naturales [1]. Esto a pesar de que los sistemas de visión artificial han evolucionado a medida que la tecnología ha evolucionado y han permitido la creación de cámaras, computadoras y algoritmos de procesamiento potentes [2].

Actualmente el procesamiento de imágenes tiene como objetivo principal mejorar el aspecto de las mismas para hacer más evidentes los detalles que se consideran importantes [3-4], para lo cual se requiere de la aplicación

de algoritmos que permiten la optimización [5-6], siendo los algoritmos de reconocimiento de imágenes ampliamente utilizados en aplicaciones de visión por computadora [7].

La evolución de los dispositivos de procesamiento como las computadoras y la reducción de sus componentes han desarrollado una tecnología nueva en los dispositivos móviles, la cual ha permitido el desarrollo de nuevas capacidades de procesamiento llegando a ser, algunos dispositivos tan potentes como algunas computadoras personales [8].

En este sentido, las tecnologías inalámbricas están teniendo gran auge y crecimiento en su desarrollo en los últimos años, siendo la de mayor desarrollo la telefonía celular, que desde sus inicios a finales de los 70s ha revolucionado las actividades que se realizan diariamente. Hasta ser convertida en una herramienta primordial de uso cotidiano

para los negocios [9-11]. Uno de los principales problemas que enfrenta la telefonía móvil y las Single Board Computer con independencia de su sistema operativo, es la cantidad limitada de recursos de CPU, memoria RAM y batería [12]. Por lo tanto, el uso eficiente de los mismos se convierte en un elemento clave en el desarrollo y evaluación de una aplicación móvil o embebida que demande un elevado procesamiento computacional, como es el caso de los algoritmos para reconocimiento de imágenes [7]. Donde el ahorro de procesamiento se ve reflejado en el ahorro de energía, el cual es uno de los aspectos que más limitan el uso de aplicaciones [13] y en el tiempo de respuesta que percibe el usuario de la aplicación.

## 2. Problemática

La importancia de la calidad en los productos es de los temas más discutidos en las empresas y la reducción de defectos es uno de los principales puntos de atención, es por ello que se han generado metodologías y programas especializados, para establecer sistemas de detección e inspección confiables del producto [14]. Actualmente se ha optado por utilizar equipos automatizados/especializados para la detección de defectos en las áreas de manufactura, siendo los sistemas de visión un recurso para la detección de productos no conformantes, de alta demanda por los ingenieros de proceso, pero para muchas empresas estos sistemas representan un alto costo, ya que adquirir equipo de visión especializado genera un gasto en los recursos económicos de la empresa que en algunos productos no justifica su adquisición [15]. Lo que hace necesario tener alternativas flexibles, de bajo costo, con niveles de confiabilidad similares a los sistemas tradicionales de visión [16-17].

Arduino, Raspberry Pi, LattePanda y BeagleBoneBlack son ejemplos de tarjetas de desarrollo que realizan tareas computacionales que son usadas como alternativas de bajo costo en proyectos de automatización o para reemplazar PLC/IO Board [18]. Un ejemplo de lo anterior es el Automatic Guided Vehicle (AGV) desarrollado por [19] que consiste en un robot móvil con visión artificial tipo montacargas utilizando Arduino Uno R3, que mediante Matlab procesa las imágenes para guiarse y utiliza el protocolo de comunicación ZigBee, donde una cámara web mapea el área y el robot móvil es detectado por marcas en su parte superior para guiarlo a través del almacén, el control de movimiento utiliza conjuntos difusos para que el sistema de visión encuentre la distancia del robot móvil con respecto a la meta, el cual se calcula obteniendo la distancia euclidiana entre las coordenadas del centroide del área máxima del robot y las coordenadas de la meta.

## 3. Sistemas de visión para aplicación industrial

Para la industria es importante tener sistemas confiables de calidad que ayuden a la inspección visual donde se requiere alto grado de confiabilidad, para reducir la variación del proceso de inspección humano, ya que la confiabilidad de este sistema depende de la experiencia del personal y del estado de ánimo [20-21]. Por lo que es necesario desarrollar y adaptar sistemas de visión que permitan capturar grandes cantidades de datos de forma rápida y procesarlos para ayudar a dotar a la maquinaria de percepción del mundo real, que incluyan métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes con el fin de producir información numérica o simbólica [22-24].

En [25] se muestra el desarrollo de sistemas de visión artificial que detectan anomalías en la superficie de los capacitores con la función Non-sampled Contourlet Transform (NSCT), [26] utiliza técnicas de procesamiento de imágenes para reducir el ruido en el procesamiento se aplica un filtro de tipo umbral para mejorar la inspección de la superficie de los capacitores, el proyecto hace uso de una tarjeta madre industrial SOYO con un procesador Celeron 1037U, 1.8 GHz con 2 GB de RAM donde se utilizan 4 dispositivos para capturar y detectar las superficies del capacitor, el reto principal fue la aplicación de la función NSCT, a la cual se aplicó el umbral por medio de la transformada inversa de Fourier para suprimir el fondo y los contornos, para dar contorno a las imágenes de las superficies del capacitor. En [27] el reto radica en el gran número de superficies a inspeccionar por lo que se plantea una solución basada en instalar cámaras en una banda transportadora. Las ventajas que definen los autores son alta eficiencia y reducción en costos al tener una base de datos de los defectos y no tener que perder tiempo en definir si cumple los requerimientos mínimos.

## 4. Uso de dispositivos móviles y single board computer en aplicaciones industriales

El desarrollo e implementación de la tecnología móvil y sistemas Single Board Computer en la industria ha estado teniendo auge por el ahorro que representa (ahorros del 80% al compararlo con sistemas industriales tradicionales) y las amplias ventajas de aplicación [18]. A continuación, se presentan algunos ejemplos.

### 4.1. Aplicación de Arduino en los sistemas de manufactura

Un sistema inteligente de inspección y selección de piezas en una celda de manufactura es presentado en [28], el sistema detecta color y forma de las piezas, mediante una cámara digital que captura la imagen y las procesa mediante redes neuronales artificiales donde determinan según sus

características el tipo de proceso en la celda de manufactura, haciendo uso de una computadora, se envía información a una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) que a su vez transmite la información a un PLC, el cual controla las electroválvulas de la celda de manufactura. La complejidad del sistema requirió de diferentes técnicas y herramientas para resolver los problemas del proyecto en el sistema de visión en particular, se tenía la dificultad en la detección de las piezas para su proceso, donde uno de los retos fue controlar la iluminación al capturar la imagen, donde la codificación de color se realiza en base al sistema RGB y clasifica los objetos de una manera óptima, sin embargo un problema interesante es la detección de fallas internas y externas de productos por lo que se utilizó un algoritmo para encontrar contornos.

#### **4.2. Aplicación de NVIDIA Jetson Pro-development en sistemas de seguimiento basado en visión computacional**

Una propuesta de desarrollo de un sistema capaz de detectar, localizar y rastrear vehículos en tiempo real utilizando algoritmos de visión computarizada en una plataforma integrada para un sistema avanzado de asistencia al conductor (ADAS) es presentado en [29], la cual es una de las dos áreas enfocadas por la industria automotriz, la otra área es la de los AGV's donde su enfoque es que el vehículo sea autónomo. Se utiliza una cámara de color monocular de punto gris para captura de imágenes, hace uso del lenguaje de programación desarrollado para unidades de procesamiento gráfico (GPU) que proporciona potencia de procesamiento paralelo necesaria para interpretar secuencias de vídeo. Estos procesadores son fundamentales para garantizar el control del vehículo en tiempo real, ya que son capaces de soportar las vibraciones y el uso continuo. Los sistemas integrados ofrecen un tamaño y costo reducido en comparación con los equipos de uso industrial. El video se procesa usando máquinas vectoriales de soporte (SVM) y redes neuronales convolucionales (CNN). Finalmente se utilizan bibliotecas tales como: CUDA, OpenCV y CudNN que están optimizadas para el Jetson TK1, así como las bibliotecas LibSVM y Caffe para entrenar modelos SVM y CNN.

#### **4.3. Aplicación de Raspberry Pi para inspección de piezas de impresión 3D**

En [30] se define que los sistemas automatizados de fabricación con aditivos carecen de la capacidad de evaluar la calidad de los productos que ellos producen. Las impresoras 3D, por ejemplo, continúan imprimiendo hasta que hayan completado todos los pasos de una secuencia, aunque su filamento se haya agotado o se haya atascado parcialmente [31]. Estas impresoras no pueden detectar defectos que potencialmente podrían ser corregidos automáticamente (si se detectan antes de que se implemente otra capa). Tampoco pueden identificar

defectos que requieran intervención manual o que puedan hacer que el objeto no sea apto para el uso. Lo que requiere el reinicio de la impresión y el tiempo adicional, o el desperdicio en los suministros consumidos de la impresión. El escaneo tridimensional representa un subcampo de procesamiento de imágenes, conocido como técnicas de luz estructurada. Donde se utilizan aproximaciones de luz para obtener mediciones en 3D [32-33]. Por lo que se propone utilizar técnicas de luz estructural para monitorear los defectos en la fabricación de piezas con impresoras 3D e interpretar el tipo de defecto y repararlo [34-35]. El proyecto está en desarrollo y se utilizarían 5 tarjetas de Raspberry Pi y 5 cámaras que se conectarán a un servidor mediante conexión Ethernet, el servidor procesará las imágenes obtenidas y realizará una imagen 3D del mapeo obtenido para su comparación y procesamiento, como el propuesto en [36].

#### **4.4. Aplicación de Raspberry Pi que determina la madurez y la graduación de tomate mediante análisis de imagen**

Se han introducido algunos sistemas de selección y clasificación de frutas disponibles comercialmente, pero son muy caros para la pequeña y mediana industria de procesamiento de fruta. En [37] se muestra la inspección de la calidad del tomate en función de la forma, el tamaño y el grado de madurez. Se utiliza un algoritmo de detección de bordes para estimar la forma y el tamaño del tomate y se usa el algoritmo de detección de color para la determinación de la madurez. Todos estos algoritmos se implementan en la tarjeta de desarrollo computacional Raspberry Pi, el sistema completo incluye cinta transportadora, motores, cámara Pi. El sistema es flexible se puede utilizar para otras frutas y verduras también.

#### **4.5. Desarrollo de sistema de visión con Raspberry Pi para inspección de PCB (Printed Circuit Board)**

La inspección visual es una parte esencial en el control de calidad por lo que [38] muestra el desarrollo de técnicas para el procesamiento de imágenes utilizando técnicas para detectar la diferencia en comparación con una imagen de referencia. De esta manera, se pueden detectar defectos de procesamiento como faltantes de componentes, imprecisiones en la posición de colocación y otros defectos. En este trabajo de investigación en particular, se desarrolló un prototipo para detectar automáticamente defectos con el fin de ayudar al trabajador a reconocer los defectos de PCB utilizando un tablero, mouse y teclado Raspberry-Pi, un dispositivo de desplazamiento CNC XY, un dispositivo de visualización y un microscopio USB. Para concluir se definió como la mejor técnica la de filtro Gaussiano adaptativo y que un problema para la captura fue la iluminación.

#### 4.6. Aplicación de Raspberry Pi para detección de matrículas de vehículos

En [39] se muestra la utilización de la tarjeta Raspberry Pi para el reconocimiento de matrículas en un sistema de casetas de peaje, donde el sistema basa su desarrollo en visión artificial por computadora utilizando OpenCV (Open Source Computer Vision) con un sistema operativo basado en Linux. En [40] se establece que actualmente hay tres formas diferentes de recolectar información del usuario, el primero la recolección manual donde un operador de caseta tenía que recolectar los datos, el segundo por medio de la radiofrecuencia más específico RFID (Radio Frequency Identification), el cual consiste en un transmisor que contiene la información y un lector que procesa la información que se recibe, y el tercero por códigos de barras donde se agregaría un código de barras para su identificación y su recolección de datos por medio de escáner.

#### 4.7. Aplicación de Field Programmable Gate Arrays (FPGA) y LattePanda para sistema de visión binocular

En [41] se presenta la simulación de un sistema de visión para protección de plantas incorporando el control de vuelo para obtención de imágenes. Se adaptó una cámara estereoscópica binocular de tipo DM461 considerando la precisión de la medición de la profundidad de la cámara y las necesidades reales del UAV (Unmanned Aerial vehicle). Con la ayuda de la tecnología binocular, la cámara recibe dos datos de imagen infrarroja con una interfaz diferencial de baja tensión y realiza cómputo de alta velocidad en un chip FPGA integrado. El principio básico de la visión estereoscópica binocular radica en la adquisición de la información 3D de la escena. Se observa el mismo objeto desde dos perspectivas para obtener la imagen de proyección desde diferentes ángulos, se calcula mediante triangulación entre los píxeles de la imagen para adquirir la información 3D.

Después de determinar la línea de base entre las dos cámaras, la relación entre la profundidad y la información 3D se calcula mediante similitud triangular. En el desarrollo del proyecto se propone un equipo comercial para la estructura de vuelo y para la obtención de los datos de profundidad de cada punto en el campo de vista se obtendrán y se procesarán en el FPGA, con ayuda de la tarjeta LattePanda se procesarán las imágenes y los datos obtenidos para realizar un estudio de profundidad con ayuda de la herramienta de desarrollo Visual Studio donde se creará un mapa para optimización del control de vuelo. La principal ventaja evidente del diseño basado en FPGA es la flexibilidad para explotar la velocidad de procesamiento paralela. En un procesador en serie, esto puede llevar mucho tiempo, pero en un FPGA pueden tener lugar múltiples tareas por su arquitectura paralela.

Para concluir la única desventaja al usar FPGA para cualquier tipo de procesamiento de señal digital es el requerimiento práctico de incorporar periféricos [42].

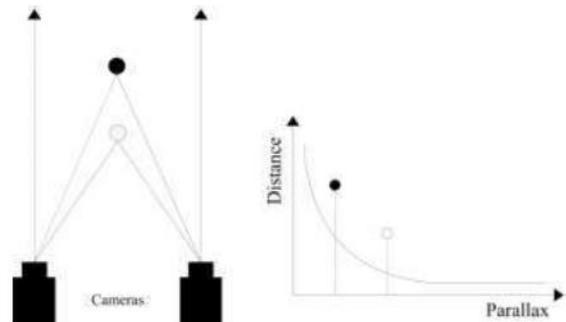


Figura 1. Sistema de cámaras para visión estereoscópica [41].

### 5. Bibliotecas y algoritmos para uso en procesamiento de imágenes

El uso de códigos y librerías para la optimización de recursos computacionales al procesar imágenes en los sistemas de visión es un reto [43]. En la actualidad las aplicaciones de visión computacional en los dispositivos solo se usan de forma recreativa y en pocos casos como herramienta de ayuda, por lo que en general son usados en filtrado, para sobreponer dibujos o animaciones y en casos más específicos en reconocimiento de códigos QR o lectura de caracteres para facilitar al usuario la escritura [44]. Una de las bibliotecas para el procesamiento de imágenes con mayor alcance es OpenCV ya que cuenta con soporte para la mayoría de los sistemas operativos y plataformas, pero también existen bibliotecas basadas en C, C++ y Python como SimpleCV, SciPy, Numpy, Mahotas, H5PY, CellProfiler, PIL, CUDA, CudNN, Boost, ImageMagick, CImg, FreeImage, ImgSource, CxImage, ITK y IM.

#### 5.1. Open Source Computer Vision (OpenCV)

OpenCV se lanzó bajo una licencia de BSD (Berkeley Software Distribution) y por lo tanto es libre para el uso académico y comercial. Tiene interfaces C, C++, Python, Java y soporta Windows, Linux, Mac OS, iOS y Android. OpenCV fue diseñado para la eficiencia computacional y con un fuerte enfoque en aplicaciones en tiempo real. Los usos van desde proyectos escolares hasta la inspección de minas, la creación de mapas en la web o la robótica avanzada. Es una biblioteca de visión artificial originalmente desarrollada por Intel [45-46]. Por su compatibilidad con diferentes plataformas, las librerías OpenCV permiten aprovechar herramientas para crear soluciones potentes en proyectos de visión artificial [14]. OpenCV tiene una estructura modular. Los módulos principales de OpenCV son:

- Core: Este es el módulo básico de OpenCV. Incluye las estructuras de datos básicas y las funciones básicas de procesamiento de imágenes. Este módulo también es usado por otros módulos como Highgui.
- Highgui: Este módulo provee interfaz de usuario, códecs de imagen, vídeo y capacidad para capturar imágenes y vídeo, además de otras capacidades como la de capturar eventos del ratón, ...
- Imgproc: Este módulo incluye algoritmos básicos de procesado de imágenes, incluyendo filtrado de imágenes, transformado de imágenes, ...
- Video: Este módulo de análisis de vídeo incluye algoritmos de seguimiento de objetos, entre otros, ...
- Objdetect: Incluye algoritmos de detección y reconocimiento de objetos para objetos estándar.

En la Figura 2 es posible observar el uso de bibliotecas de procesamiento de imágenes en investigaciones documentadas registradas en la base de datos Scopus, en ella es posible visualizar que la librería con mayor uso es OpenCV; sin embargo, existen otras bibliotecas con frecuencia de uso nada despreciable.

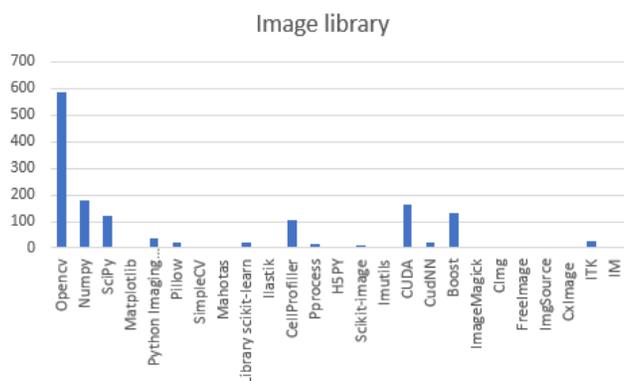


Figura 2. Relación de uso de bibliotecas de procesamiento de imagen en documentos registrados en base de datos Scopus [47].

### 5.2. SimpleCV

SimpleCV es un marco de código abierto, lo que significa que es una colección de bibliotecas y software que puede usarse para desarrollar aplicaciones de visión. Permite trabajar con imágenes o secuencias de video que provienen de cámaras web, Kinects, FireWire, cámaras IP e inclusive teléfonos móviles. Ayuda a crear software para que sus diversas tecnologías no solo vean el mundo, sino también lo entiendan. SimpleCV es de uso gratuito y, como es de código abierto, también puede ser modificado dependiendo de las necesidades particulares de la aplicación. Está escrito en Python y se ejecuta en Mac, Windows y Ubuntu Linux. Fue desarrollado por los ingenieros de Sight Machine y bajo la licencia BSD [48].

### 5.3. Mahotas

Mahotas es una biblioteca de funciones para el procesamiento de imágenes y visión por computadora escrita en Python. Contiene la funcionalidad tradicional de procesamiento de imágenes, como el filtrado y las operaciones morfológicas, así como funciones de visión por computadora más modernas para el cálculo de características, incluida la detección de puntos de interés y descriptores locales. Originalmente fue diseñada para informática de bio-imagen, pero también es útil en otras áreas. Está completamente basado en matrices NumPy. Tiene sus rutinas de procesamiento implementadas en C++ y todo el código es autónomo [49]. Para la lectura y captura de imágenes se tienen los siguientes bloques:

- SURF.
- Umbralización.
- Casco convexo.
- Dibujo poligonal.
- Cómputo de características: texturas Haralick, patrones binarios locales y momento de Zernike.
- Transformadas de distancia.
- Interfaz Freeimage e imread.

### 5.4. NumPy

NumPy es una biblioteca para el lenguaje de programación Python que brinda soporte para matrices grandes y multidimensionales. Mediante NumPy es posible expresar imágenes como matrices multidimensionales con cada píxel codificado en el espacio de color RGB. Representar imágenes como matrices NumPy no solo es computacionalmente eficiente en cuanto a recursos, sino que muchas otras bibliotecas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático también utilizan representaciones de matrices NumPy. Además, al usar las funciones matemáticas de alto nivel integradas a NumPy, es posible realizar rápidamente un análisis numérico. NumPy tiene una interfaz de Python completa, pero también se puede acceder fácilmente desde C, C++ y Fortran, lo que facilita la optimización de los cuellos de botella en rendimiento o la reutilización de bibliotecas existentes a usuarios con escaso o nulo conocimiento de Python [50].

### 5.5. Matplotlib

Es una biblioteca para la generación de gráficos 2D de Python que produce figuras de calidad de publicación en una variedad de formatos impresos y entornos interactivos en todas las plataformas. Puede generar gráficos, histogramas, espectros de potencia, gráficos de barras, diagramas de errores, diagramas de dispersión a partir de datos contenidos en listas o matrices en el lenguaje de programación y su extensión matemática NumPy. Proporciona una API, Pylab [51].

### 5.6. Python Imaging Library (PIL)

Python Imaging Library (PIL) agrega capacidades de procesamiento de imágenes a su intérprete de Python. Esta biblioteca es compatible con muchos formatos de archivo y proporciona un potente procesamiento de imágenes y capacidades gráficas RGB [52].

### 5.7. Imutils

Proporciona una serie de funciones de conveniencia para realizar funciones básicas de procesamiento de imágenes como traducción, rotación, cambio de tamaño, esqueletización, visualización de imágenes de Matplotlib, ordenamiento de contornos, detección de bordes y mucho más fácil con OpenCV y Python [53].

### 5.8. Scikit-learn

No es una biblioteca de procesamiento de imágenes o visión artificial, es una biblioteca de aprendizaje automático. Dicho esto, no se pueden tener técnicas avanzadas de visión artificial sin algún tipo de aprendizaje automático, ya sea clúster, cuantificación vectorial, modelos de clasificación, ..., Scikit-learn también incluye un puñado de funciones de extracción de características de imagen [54].

### 5.9. Ejemplo de aplicación de librería

El uso de bibliotecas y desarrollo de algoritmos para la optimización de costo computacional es de las practicas más utilizadas en visión artificial. En sistemas de inspección con visión artificial dos de las técnicas más utilizadas son umbral donde se segmenta los pixeles a utilizar [43] y binarización donde los pixeles se mandan a uno o a cero [44]. En [45] se presenta un programa para el control de posición en el proceso de perforado "Through-Hole" en la manufactura de placas de circuitos impresos. Este sistema es capaz de proporcionar un mecanismo de realimentación visual a una máquina de control numérico computarizado (CNC), de modo tal que se pueda compensar, detectar y corregir posibles errores en la posición de la herramienta de perforación de manera automática, antes y durante la realización del proceso de perforación. La etapa de detección del área de perforado se hace mediante un sencillo proceso de reconocimiento visual que consta de un tratamiento, una segmentación y un reconocimiento de la ubicación del área de perforado, basado en contornos. El tratamiento previo de la imagen capturada se realiza a través de un filtro de imagen, cuya responsabilidad consiste en aplicar cuatro ajustes básicos a saber:

1. Ajuste de brillo.
2. Incremento del contraste de la escena.
3. Reducción del ruido.
4. Mejoramiento en la definición de los bordes de los elementos presentes en la escena.

Una vez procesada la imagen del PCB se aplica el algoritmo de modelo de color Hue Saturation Lightness (HSV) o Hue Saturation Value (HSL), y el siguiente paso es segmentar y extraer los contornos de los objetos resaltados mediante la aplicación de un filtro Canny, aplicado a la imagen [46]. Para concluir la fase de autocorrección de posición consiste en aplicar las correcciones encontradas durante la fase de detección; dicha aplicación puede ser en tiempo real, mientras se corre el programa de trabajo, o mediante una simulación del desplazamiento, donde las correcciones se guardan en memoria y se aplican al programa de trabajo una vez finalizada la simulación.

## 6. Lógica difusa

La lógica difusa se puede utilizar cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen los modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales y cuando se envuelven definiciones y conocimiento no estrictamente definido (impreciso o subjetivo). Se basa en lo relativo de lo observado como posición diferencial donde hay una imprecisión presente en lenguaje natural cuando se describen fenómenos que no tienen límites claros [55]. Por lo cual la teoría de conjuntos difusos proporciona herramientas matemáticas para llevar a cabo procesos de razonamiento aproximado cuando la información disponible es incierta, incompleta o imprecisa. En [56] se muestra el diseño y desarrollo de un sistema automático de visión para inspeccionar partes procesadas en prensas. Se obtuvieron datos por medio de procesamiento de imágenes basado en lógica de conjuntos difusos por lo que se establecieron parámetros para definir claramente los límites. Se aplican conjuntos difusos que son utilizados para relajar la restricción de que la función de pertenencia tome valores binarios (0–1), y se permite que tome valores en el intervalo (0–1). La necesidad de trabajar con conjuntos difusos surge a partir de la existencia de conceptos que no tienen límites claros [57]. Un ejemplo claro de los conjuntos difusos es la desplegada en la Figura 3, donde todo lo que esta fuera de tiempo  $t_1$  y  $t_2$  es un 0 y cuando está dentro es un 1.

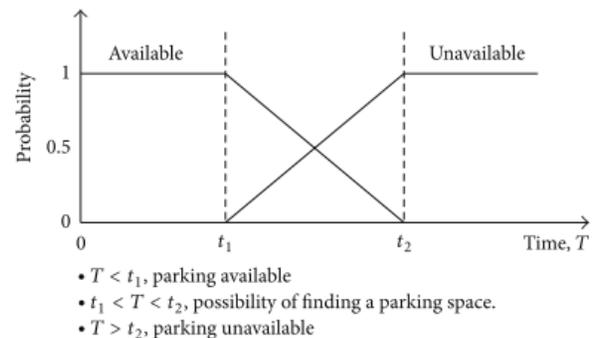


Figura 3. Teoría de conjuntos difusos [57].

## 7. Redes neuronales artificiales (RNA)

En [58-61] definen que una red neuronal es donde se procesa la información, de distribución altamente paralela, constituida por unidades sencillas de procesamiento llamadas neuronas. En definición una red neuronal artificial (RNA) puede considerarse simplemente como una fórmula matemática genérica no lineal con parámetros llamados pesos que se ajustan para representar la conducta de un sistema estático o dinámico. Están formadas por una gran cantidad de unidades o elementos de procesamiento llamados neuronas/perceptrón, las cuales se dividen en tres grupos diferentes:

1. Aquellas que reciben la información del exterior, también denominadas neuronas de entrada.
2. Aquellas que transmiten información al exterior, denominadas neuronas de salida.
3. Por último, aquellas que no tienen ningún contacto con el exterior y solamente intercambian información con otras neuronas de la red, a estas les llaman neuronas ocultas.

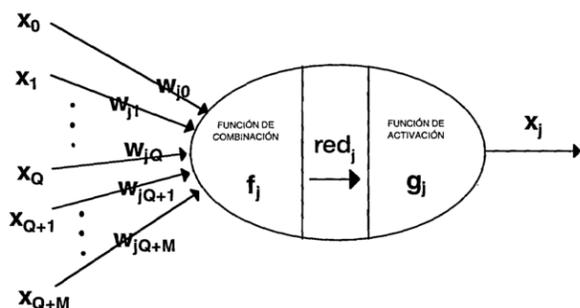


Figura 4. Representación esquemática de una neurona artificial [61].

En [62] se muestra el reconocimiento y clasificación de micro defectos en pantallas Liquid Crystal Display (LCD) aplicando una técnica de aprendizaje utilizando una red neuronal. Por lo primero, se examinaron seis tipos de defectos: grano, Black Matrix Hole (BMH), defecto de indium Tin Oxide (ITO), Missing Edge & Shape (MES), reflejos y partículas. Se obtuvieron los valores de las características, incluidos los valores de defecto de grises, los componentes RGB. Los resultados experimentales mostraron que el reconocimiento de defectos podría completarse tan rápido como 0.154 segundos utilizando el sistema de reconocimiento y el software Borland Development. En la clasificación de micro defectos, la red neuronal de propagación de retorno (BPNN) y el clasificador de distancia mínima (MDC) sirvieron para validar el sistema propuesto, este estudio usó 41 defectos como muestras de entrenamiento y trató los valores de las características de 307 muestras de prueba como las entradas del clasificador

BPNN. La tasa de reconocimiento total fue del 93.7% y cuando se usó un MDC, la tasa de reconocimiento total fue del 96.8%, lo que indica que el MDC es importante en la filtración de micro defectos. Sin embargo, la tecnología de sustracción de imágenes puede verse afectada por la desviación de las posiciones o el ruido causado por las fuentes de luz. Finalmente, todas las características se combinaron para identificar las áreas defectuosas y fueron claramente visibles por lo que la aplicación de técnicas de filtrado, así como el uso de la red neuronal fueron satisfactorias.

## 8. Uso de la tecnología móvil para inspección de piezas en procesos de línea de producción

La implementación de tarjetas de desarrollo, así como de dispositivos móviles, es algo que en tiempo pasado no era posible por la arquitectura y confiabilidad, gracias a la evolución de procesadores y reducción de elementos electrónicos, los dispositivos móviles ya pueden ser incorporarlos a la industria para el monitoreo de procesos [18].

### 8.1. Raspberry Pi

En [63] se implementó para un robot móvil el uso de patrones de reconocimiento en un sistema de visión artificial para detección de contornos y formas, donde el sistema de movimiento se ajusta para procesar correctamente la imagen y al ajustar su posición procesa la imagen detectando color y forma del objeto, algo parecido a lo que se realiza en las maquinas industriales de visión que para calibrar encuentran puntos de referencia. Donde para procesar mejor la imagen se reduce la resolución de la imagen a la mitad y después se devuelve a la resolución original para eliminar ruido, de la imagen obtenida se le aplica un filtro de mínimos y máximos de los valores de tono, saturación y brillo (HSV). Donde la imagen original RGB pasa a HSV para ser binarizada pasando los pixeles a blancos y negros. Para la aplicación de la máscara se filtra por HSV/HSL que eliminan el fondo y define el color predominante del objeto, al usar la máscara se comparan ambas imágenes y se tiene una forma clara del objeto al eliminar el ruido en la saturación de los colores por la luz. El modelo se basa primero en obtener una muestra de color y después su contorno. Para finalizar el robot detecta un objeto similar y se ajusta para posicionarse frente al objeto.

### 8.2 Android

En [64] presenta un enfoque innovador de diseño, desarrollo e implementación de aplicaciones de procesamiento de imágenes basadas en la plataforma de visión integrada. Los dispositivos basados en Android proporcionan una plataforma para el desarrollo de sistemas

embebidos, mediante el uso de la biblioteca OpenCV. Utilizando estas dos herramientas e implementado la visión artificial puede sustituir los sistemas de visión convencionales, con la ventaja de que el sistema de visión basado en dispositivos Android reduce el tamaño del sistema y es una solución rentable para las industrias, al tener un sistema móvil o semi-móvil que puede ser utilizado prácticamente en cualquier lugar, lo que ayuda a resolver los problemas de limitación de espacio y rentabilidad por costos. La aplicación Android presentada en [64] realiza operaciones básicas como transformaciones de color, detección de bordes, operación morfológica, ...

Para concluir, los dispositivos basados en Android son una solución adecuada ya que el sistema incorpora los controladores requeridos para configurar los elementos computacionales y periféricos utilizados por los sistemas de visión. OpenCV proporciona un conjunto de paquetes para desarrolladores de Android, estos paquetes tienen tutoriales que muestran cómo se puede usar OpenCV desde Java API y librerías C y C++ nativas de Android [17], en las pruebas realizadas para el procesamiento de la imagen se aplicaron técnicas como la de inversión de colores, conversión de RGB a escala de grises, filtro gaussiano borroso, umbral adaptativo, detección de bordes y dilatación de imagen.

## 9. Patentes

Se encontraron un total de 104 patentes a partir de 1992 a la fecha, relacionadas con *Embebed Machine Vision System Raspberry*, entre las que destacan las siguientes por su relevancia:

En **US4951223**, con fecha de aprobación del 21 de agosto de 1990, se muestra un sistema de visión para inspeccionar y caracterizar material continuo en banda. Este sistema incluye medios de almacenamiento de grabación para proporcionar una imagen duplicada del material en banda y un dispositivo para revisar la imagen de medios de almacenamiento, para detectar una característica predeterminada de la imagen tal como un defecto en ella. La posición a lo largo de la imagen es detectada y un conmutador responde tanto a la información de contenido como a la información de posición para registrar una indicación de posición de imagen correspondiente a la detección de la característica predeterminada [65].

En **US5301129**, con fecha de aprobación del 5 de abril de 1994, se muestra un método y máquina para inspeccionar por medio de visión artificial la superficie de una banda móvil de material homogéneo, incluyendo el equipo de fuente de luz para iluminar la superficie y un sensor para

recibir datos desde la superficie de la banda. Los datos son representados por la luz reflejada de la superficie, ya que la luz es afectada por anomalías superficiales y de fondo. Los medios de cálculo incluyen diferentes tipos de indicadores para transformar los datos de una manera que se pueda realizar una eliminación sustancial de la información de fondo, y medios para establecer niveles de umbral para la información de fondo. Además, se proporcionan medios automáticos para modificar los niveles de umbral en respuesta a cambios de frecuencia o contraste de la información de fondo recibida por el detector y enviada a los medios de cálculo [66].

En **US5305392**, con fecha de aprobación del 19 de abril de 1994, se proporciona un sistema y un método modular que se utiliza para la inspección a alta velocidad y alta resolución de bandas impresas. Cada módulo inspecciona un carril de una banda impresa detectando defectos de impresión, donde la imagen de entrada se procesa digitalmente y se compara con los valores de umbral mínimo y máximo de la plantilla de imagen mediante el proceso de señal digital en tiempo real. La plantilla de imagen se compara en un proceso secundario en tiempo no real produciendo una representación estadística de un número de imágenes de entrada. La plantilla de imagen está desensibilizada a la fluctuación longitudinal y transversal de la banda impresa de modo que la fluctuación de fase no es identificada por el sistema como un defecto de impresión [67].

En **US6259109**, con fecha de aprobación del 10 de junio del 2001, muestra un sistema de inspección de tela para el análisis de registros de material y almacena la secuencia continua de la tela. El sistema de inspección de tela incluye una cámara para grabar la secuencia continua de la tela, un codificador para sincronizar los movimientos de la tela con la imagen de video que se está grabando y un Sistema de Procesamiento de Imágenes (IPS) que incluye un disco de video en tiempo real para almacenar la imagen de la tela y mostrar la imagen de secuencia continua en una pantalla de video. El IPS también se utiliza para detectar fallos o características y para categorizar los fallos o características detectadas, toda la tela se graba y la imagen puede ser vista de manera interactiva en tiempo real o en un momento posterior. La imagen grabada de la tela se puede reproducir a una velocidad menor para permitir una inspección más detallada de la misma. La imagen de secuencia se puede analizar para construir una base de datos de imágenes de defectos [68].

En **US6750466**, con fecha de aprobación del 15 de junio del 2004, se presenta un sistema de inspección que proporciona la detección de fallas en tela a lo largo de la dirección de la máquina y la dirección transversal. El sistema de inspección utiliza un múltiplo de cámaras inteligentes conectadas a un

ordenador central a través de un concentrador Ethernet. Cada cámara inteligente incluye una cámara de exploración de línea para producir píxeles digitales, un medio para la iluminación y corrección de píxeles, un detector de borde para supervisar los bordes de la tela, un preprocesador de detección de múltiples canales para detectar pequeños cambios en el material, un codificador de longitud de ejecución para generar datos con respecto a la ubicación de cada grupo en una dirección transversal un detector y analizador de bloques 2D para generar datos con respecto a la ubicación de bloques a lo largo de una dirección de máquina. Un sistema de inspección de bajo contraste proporciona una arquitectura equilibrada y distribuida que maneja altas tasas de defectos y que se integra fácilmente con un sistema de fabricación existente [69].

En **US6947571**, con fecha de aprobación del 20 de septiembre del 2005, se expone que un teléfono celular está equipado con una cámara que es un sensor óptico 2D, por lo cual un teléfono puede detectar el movimiento de un patrón de imágenes a través del campo de visión, permitiendo el uso del teléfono como sistema de procesamiento de imágenes como dispositivo de entrada gestual a través del cual un usuario puede indicar instrucciones a un proceso basado en computadora. También se detallan una variedad de otros arreglos con los cuales los dispositivos electrónicos pueden interactuar con el mundo físico, incluyendo la detección y respuesta a marcas de agua digitales, códigos de barras, radio frecuencia, entre otros [70].

En **US7536034**, con fecha de aprobación del 19 de mayo del 2009, menciona el control de un usuario con un sistema remoto el cual se comunica por medio de gestos y pueden detectarse mediante el seguimiento de los movimientos, y a través de un campo de visión de un dispositivo móvil con cámara [72], estando este registro relacionado con [71].

En **US7628320**, con fecha de aprobación del 8 de diciembre del 2009, establece que un usuario por medio de imágenes da valores que al ser procesados generan datos de un objeto físico usando movimientos corporales de extremidades superiores y el dispositivo móvil. El dispositivo entra en contacto con una computadora de manera remota y basado en los datos obtenidos del objeto, se puede realizar una variedad de funciones, como comprar entradas para un concierto o una película o descargar música [72].

En **US7760905**, con fecha de aprobación del 20 de julio del 2010, describe un dispositivo telefónico portátil que incluye un módulo configurado para derivar datos de identificación de contenido de audio o visual. El dispositivo telefónico transmite un paquete de datos a un sistema remoto que incluye tanto datos de contexto como de entorno [73].

En **US8982207** con fecha de aprobación del 17 de marzo del 2015, muestra un método y un dispositivo para inspeccionar un objeto. En respuesta a la presencia del objeto en un área de inspección, se identifica un volumen que contiene el objeto por medio de imágenes. Con un sistema de sensores que asignado a la detección de porciones del volumen es capaz de generar datos con un nivel de calidad deseado alrededor de una superficie del objeto. Los datos sobre la superficie del objeto se generan usando sistemas de sensores asignados a las porciones del volumen [74].

En **US7765780**, con fecha de aprobación del 3 de agosto del 2010, se muestra la invención de un sistema y un método que permiten la recolección de cultivos agrícolas por medio de la robótica. Un enfoque para automatizar la recolección de frutas y hortalizas frescas es usar un robot que con un sistema de visión artificial y con cámaras digitales logra identificar y localizar la fruta en cada árbol, junto con un sistema para realizar la recolección. El robot se desplaza a través de un campo primero para mapear el campo y para determinar las ubicaciones de las plantas, el número y tamaño de la fruta en las plantas y las posiciones aproximadas de la fruta en cada planta. El robot tiene implementado un sensor GPS para simplificar el proceso de mapeo. Tiene una cámara en al menos un brazo del robot que puede montarse en una caja protectora de forma apropiada para que pueda ser movida físicamente a través de la planta, si es necesario para mapear las ubicaciones de fruta desde el interior del árbol. Una vez que mapea y reconoce donde está la fruta el robot puede planificar e implementar un plan de recogida eficiente para sí mismo u otro robot. Esto puede hacerse si el mapa está terminado antes de que el robot esté programado para cosechar o si el algoritmo del plan de recogida seleccionado requiere más tiempo, el robot puede calcular el plan a medida que se está cosechando. El programa para recoger la fruta puede ser generado en el robot scout, robot de cosecha o en un servidor. Cada uno de los elementos del sistema puede estar configurado para comunicarse entre sí utilizando tecnologías de comunicaciones inalámbricas [75].

## 10. Conclusión

Para concluir, con la evolución de hardware y software en dispositivos móviles y Single Board Computers, ha aumentado su utilización en proyectos de automatización y robótica gracias a las ventajas que presentan, por lo que el desarrollo y la implementación de bibliotecas de procesamiento de imágenes ha hecho posible optimizar y crear aplicaciones en diferentes sistemas operativos.

Asimismo, el desarrollo de sistemas de visión en proyectos de investigación educativos ha permitido trasladar esta

tecnología a la industria. Con la ayuda de la transferencia tecnológica, se espera que en corto plazo se incorporen a este tipo de desarrollos los circuitos integrados como los Neural Processing Unit, que permitirán reducir los tiempos de procesamiento mediante la incorporación de las redes neuronales que generarán auto-aprendizaje en el sistema para la optimización de aplicaciones de visión.

## 11. Referencias

- [1] Alberto, P., & García, R. (2015). "Sistemas de Percepción y Visión por Computador". Pp. 1–270.
- [2] Arevalo, E., Zúñiga, A., Villegas, J., & Avilés, C. (2015). "Implementación de Reconocimiento de Objetos por Color y Forma en un Robot Móvil". Vol. 91, pp. 21–31.
- [3] Cuevas, E., Zaldívar, D., & Pérez-Cisneros, M. (2010). "Procesamiento Digital de Imágenes Usando MatLAB & Simulink". Alfaomega.
- [4] Poon, T.C., & Banerjee, P.P. (2001). "Contemporary Optical Image Processing with MATLAB". Elsevier.
- [5] Castillo, A., & Rivera, J. (2014). "Virtual Laboratory for Digital Image Processing". Vol. 12, no. 6, pp. 1176–1181.
- [6] Forero, M.G., & Merchan, M.C. (2016). "Análisis de Técnicas de Binarización Basadas en Histogramas 2D". Ing. Ciencia, Tecnol. e Innovación, vol. 3, no. 2.
- [7] Ilbay, M.Ñ., Córdova, L.T., Raura, G., & Gualotuña, T. (2013). "Imágenes Digitales Aplicables a Dispositivos Móviles Bajo la Plataforma Android".
- [8] Aung, Z., & Zaw, W. (2013). "Permission-Based Android Malware Detection". Vol. 2, no. 3.
- [9] Martínez, E. (2001). "La Evolución de la Telefonía Móvil". Rev. Red, vol. 1, pp. 1–6.
- [10] Robert, A.P., & Kenneth, B.F. (2012). "Los Costos Ocultos en el Uso de la Tecnología Móvil para Consumidor". Motorolasolutions, pp. 1–7.
- [11] Fombona, J.C., Pascual, M.S., & Ferreira, M.A. (2012). "Realidad Aumentada, una Evolución de las Aplicaciones de los Dispositivos Móviles". Pp. 197–210.
- [12] Baz Alonso, A., Ferreira Artime, I., Álvarez Rodríguez, M., & García Baniello, R. "Dispositivos móviles".
- [13] Li, D., & Halfond, W.G.J. (2014). "An Investigation into Energy-Saving Programming Practices for Android Smartphone App Development". Pp. 46–53.
- [14] Jaramillo, A.O., Jimenez, M.R., & Ramos, O.L. (2013). "Inspección de Calidad para un Sistema de Producción Industrial Basado en el Procesamiento de Imágenes". Vol. 18, no. 41, pp. 76–90.
- [15] Holguin, C.M., Cortes, J.A., & Osorio Chaves, J.A.O. (2014). "Sistema Automático de Reconocimiento de Frutas Basado en Visión por Computador Automatic Recognition System of Fruits Based Computer Vision". Vol. 22, pp. 504–516.
- [16] Guede-Fernandez, F., Ferrer-Mileo, V., Ramos-Castro, J., Fernandez-Chimeno, M., & Garcia-Gonzalez, M.A. (2015). "Real Time Heart Rate Variability Assessment from Android Smartphone Camera Photoplethysmography: Postural and Device influences". Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS, vol. 2015–Novem, pp. 7332–7335.
- [17] Serrano, R. (2008). "Reconocimiento de Patrones en Android con OpenCV".
- [18] Raza, A., Ikram, A.A., Amin, A., & Ikram, A.J. (2017). "A Review of Low Cost and Power Efficient Development Boards for IoT Applications". FTC 2016 - Proc. Futur. Technol. Conf., no. December, pp. 786–790.
- [19] González, F., Guarnizo, J.G., & Benavides, G. (2014). "Emulation System for a Distribution Center Using Mobile Robot, Controlled by Artificial Vision and Fuzzy Logic". Vol. 12, no. 4, pp. 557–563.
- [20] Stojanovic, R., Mitropulos, P., Koulamas, C., Karayiannis, Y., Koubias, S., & Papadopoulos, G. (2001). "Real-Time Vision-Based System for Textile Fabric Inspection". Real-Time Imaging, 7(6), 507–518.
- [21] Tantaswadi, P., Vilainatre, J., Tamaree, N., & Viraivan, P. (1999). "Machine Vision for Automated Visual Inspection of Cotton Quality in Textile Industries Using Color Isodiscrimination Contour". Computers and Industrial Engineering, 37(1), 347–350.
- [22] Perez, S.F., Navarro, P.J., & Egea, C.M. (2016). "Desarrollo de una Herramienta Software para el Control de un Sistema de Fenotipado Basado en Visión Artificial". Vol. 9, 102–105.
- [23] Chaw, J., & Mokji, M. (2016). "Analysis of Produce Recognition System With Taxonomist's Knowledge Using Computer Vision and Different Classifiers".
- [24] Pastor López I., Rojas, S., De la Peña, J., Santos, I., & Bringas, P.G. (2014). "Visión Artificial Basada en Aprendizaje Automático para la Categorización de Defectos Superficiales en Fundición (Machine Vision for Surface Defects Categorisation in Foundries)", 89, 325–332.
- [25] Yang, Y., Zha, Z.J., Gao, M., & He, Z. (2016). "A Robust Vision Inspection System for Detecting Surface Defects of Film Capacitors". Signal Processing, 124, 54–62.
- [26] Da Cunha, A.L., Zhou, J., & Do, M.N. (2006). "The Nonsampled Contourlet Transform: Theory, Design, and Applications". IEEE Transactions on Image Processing, 15(10), 3089–3101.
- [27] Jaramillo, A., & Jimenez, A. (2013). "Inspección de Calidad para un Sistema de Producción Industrial Basado en el Procesamiento de Imágenes". 18(41), 76–90.
- [28] Islas, J.C.G., Cano Tejeda, D.D.J., Cansino, J.S., & Morales, V.L. (2013). "Intelligent System for Inspection and Selection of Parts in a Manufacturing Cell". 24th International Conference on Information,

- Communication and Automation Technologies, ICAT 2013.
- [29] Hurtado, A.F., Gomez, J.A., Penenory, V.M., Cabezas, I.M., & Garcia, F.E. (2016). "Proposal of a Computer Vision System to Detect and Track Vehicles in Real Time Using an Embedded Platform Enabled with a Graphical Processing Unit". Proceedings - 2015 International Conference on Mechatronics, Electronics, and Automotive Engineering, ICMEAE 2015, 76–80.
- [30] Straub, J. (2015). "Initial Work on the Characterization of Additive Manufacturing (3D Printing) Using Software Image Analysis". *Machines*, 3(2), 55–71.
- [31] Berman, B. (2012). "3-D Printing: The New Industrial Revolution". *Bus. Horiz*, 55, 155–162.
- [32] Valkenburg, R.J., & Mclvor, A.M. (1998). "Accurate 3D Measurement Using a Structured Light System". *Image Vis. Comput*, 16, 99–110.
- [33] Caspi, D., Kiryati, N., & Shamir, J. (1998). "Range Imaging with Adaptive Color Structured Light". *IEEE Trans. Pattern. Mach. Intell*, 20, 470–480.
- [34] Salvi, J., Fernandez, S., Pribanic, T., & Llado, X. (2010). "A State of the Art in Structured Light Patterns for Surface Profilometry". *Pattern Recognit.* 43, 2666–2680.
- [35] Salvi, J., Pages, J., & Batlle, J. (2004). "Pattern Codification Strategies in Structured Light Systems". *Pattern Recognit.* 37, 827–849.
- [36] Straub, J., & Kerlin, S. (2014). "Development of a Large, Low-Cost, Instant 3D Scanner". *Technologies* 2014, 2, 76–95.
- [37] Ruchita, R.M., Chopade, P.B., & Dale, M.P. (2015). "Determination of Ripeness and Grading of Tomato Using Image Analysis on Raspberry Pi". 2015 International Conference on Communication, Control and Intelligent Systems (CCIS).
- [38] Faisal Ardhy & Farkhad Ihsan Hariadi (2016). "Development of SBC Based Machine-Vision System for PCB Board Assembly Automatic Optical Inspection". 2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), November 29-30, 2016.
- [39] Suryatali, A., & Dharmadhikari, V.B. (2015). "Computer Vision Based Vehicle Detection for Toll Collection System Using Embedded Linux". *International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015]*, 1–7.
- [40] Shuirupdqfh, L.J.K., Iru, F., & Lpdjh, G. (2014). "Computación de Alto Rendimiento para el Procesamiento de Resumen Introducción". 55–65.
- [41] Wang, D., Fan, Y., Zhang, H., & Zhang, Y. (2017). "Simulated Terrain Flight Control of Plant Protection UAV Based on Binocular Vision". Vol. 32, pp. 533–542.
- [42] MacLean, W.J. (2005). "An Evaluation of the Suitability of FPGAs for Embedded Vision Systems". *IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. - Work.*, vol. 3, pp. 131–131.
- [43] Ashford, R. (2017). "College & Research Libraries News QR Codes and Academic Libraries Reaching Mobile Users". 71(November 2010), 1–6.
- [44] Huérfano, A., Numpaque, H., & Díaz, L. (2012). "Desarrollo de un Algoritmo para el Control de Desplazamiento de una Plataforma Robotica, Mediante el Procesamiento Digital de Imágenes". (12), 19–23.
- [45] Sari-Sarraf, H., & Goddard, J. S. (1999). "Vision System for On-loom Fabric Inspection". *IEEE Transactions on Industry Applications*, 35(6), 1252–1259.
- [46] <http://opencv.org/platforms>, (2017).
- [47] <https://www.scopus.com>, (2017).
- [48] <http://simplecv.org>, (2017).
- [49] <http://mahotas.readthedocs.io>, (2016).
- [50] <http://www.numpy.org>, (2017).
- [51] <http://www.matplotlib.org>, (2017).
- [52] <http://www.pythonware.com/products/pil/>, (2017)
- [53] <https://www.pyimagesearch.com/2015/02/02/just-open-sourced-personal-imutils-package-series-opencv-convenience-functions/>, (2015)
- [54] <http://scikit-learn.org/stable/>, (2017)
- [55] Nguyen, H.T., Prasad, N.R., Walker, C.L., & Walker, E.A. (2003). "A First Course in Fuzzy and Neural Control".
- [56] Akbar, H., & Prabuwono, A.S. (2008). "The Design and Development of Automated Visual Inspection System for Press Part Sorting". *Comput. Sci. Inf. Technol.* 2008. ICCSIT '08. Int. Conf., no. Cmm, pp. 683–686.
- [57] Chen, Z., Xia, J.C., & Irawan, B. (2013). "Development of Fuzzy Logic Forecast Models for Location Based Parking Finding Services". *Math. Probl. Eng.*, vol. 2013.
- [58] Herrera, J.C., Medina, S.M., Beleño, K., & Gualdrón, O.E. (2016). "Design of an Automated Coffee Selection System by Means of Computer Vision Techniques". Vol. 15, no. 1, pp. 7–14.
- [59] Cruz J.H.P., Rubio, J.J., Flores, J.L., & Rangel, E. (2015). "Control of Uncertain Plants with Unknown Deadzone Via Differential Neural Networks". Vol. 13, no. 7, pp. 2085–2093.
- [60] Rossomando, F.G., & Soria, C.M. (2016). "Adaptive Neural Sliding Mode Control in Discrete Time for a SCARA Robot Arm". *Lees Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 6, pp. 2556–2564.
- [61] Hiler González, J., & Martínez Hernando, V. (1995). "Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, Modelos y Aplicaciones". Madrid: RA-MA.
- [62] Jeffrey Kuo, C.F., Peng, K.C., Wu, H.C., & Wang, C.C. (2015). "Automated Inspection of Micro-defect Recognition System for Color Filter". *Opt. Lasers Eng.*, vol. 70, pp. 6–17.
- [63] Arevalo Villegas, Z. (2015). "Implementacion de Reconocimiento de Objetos por Color y Forma en un Robot Móvil". 91, 21–31.

- [64] Thakker, S., & Kapadia, H. (2016). "Image Processing on Embedded Platform Android". IEEE International Conference on Computer Communication and Control, IC4 2015.
- [65] Langdon Wales, R. (1979). United States Patent, 3–7.
- [66] Kean, P. L., Kingdom, U., Rogers, K.P., & Legge, R.A. (1993). United States Patent 191, 40.
- [67] At, W., Eisa, O.B., & Camera, C. (1994). United States Patent.
- [68] Towle, G.A. (1976). United States Patent, 1(12), 0–3. [https://doi.org/10.1016/j.\(73\)](https://doi.org/10.1016/j.(73))
- [69] Fraval, J., & Godfrey, M. (2013). United States Patent, 1(12), 5 <https://doi.org/10.1126/science.Liquids>
- [70] Rhoades, G.B. (2005). "Cell Phones with Optical Capabilities, and Related Applications".
- [71] Rhoades, G.B. (2009). "Gestural Use of Wireless Mobile Phone Device to Signal to Remote Systems".
- [72] Rhoades, G.B. (2009). "Methods and System for Interacting with Physical Objects".
- [73] Rhoades, G.B., Rodriguez, T.F., & Hein III, W.C. (2010). "Wireless Mobile Phone with Content Processing".
- [74] Jung Soon Jang (2015). "Automated Visual Inspection System".
- [75] Koselka, H. & Wallach, B. (2005). "Robot Mechanical Picker System and Method".

# Materiales no orgánicos como materia prima en productos textiles: Revisión de literatura

Daniel Iván Chávez López

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

David Oliver Pérez Olgún

*Universidad Autónoma Intercultural de Sinaloa, Los Mochis, Sinaloa, México.*

Delfino Cornejo Monroy

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Alejandra Flores Ortega

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.*

Claudia Selene Castro Estrada

*Universidad Autónoma Intercultural de Sinaloa, Los Mochis, Sinaloa, México.*

---

**Resumen:** Se presenta un recuento de los trabajos de investigación, de los últimos 20 años, que analizan el uso de materiales no orgánicos en la producción de materiales para elaboración de bienes de consumo personal y aplicaciones útiles en la vida cotidiana, tales como el papel y la tela. Se hace una comparación del impacto que tendría utilizar materiales no orgánicos contra los materiales orgánicos y cuáles de los métodos conocidos al momento son más eficientes. Se analiza la tendencia de las nuevas generaciones en reducir el impacto de la huella de carbono; al decidir utilizar nuevos materiales para suplantar métodos de fabricación tradicionales, evitando la tala de árboles y el uso del petróleo. Finalmente se hace una revisión de la investigación teórica realizada, con respecto a este tema, sus posibles aplicaciones prácticas y de comercialización.

**Palabras clave:** Materiales, eco amigable, sustentable y nuevos materiales.

---

## 1. Introducción

Este artículo ofrece un análisis del estado del arte, con respecto al uso de materiales alternativos, no orgánicos, en la fabricación de productos textiles y fibras. Se analizan los resultados de trabajos de investigación recientes y que, con base en las necesidades, proponen alternativas de materiales no orgánicos con factibilidad de uso en procesos actuales y económicamente viables. Asimismo, se presentan las pruebas de validación requeridas para asegurar la confianza y confiabilidad del producto textil terminado.

La utilización de materiales no orgánicos para la elaboración de productos textiles atiende una demanda de insumos para esta época y las venideras, la cual tiene especial interés en la industria espacial por la limitante

de utilizar materia prima orgánica para la manufactura de productos textiles, en ambientes donde dicha materia prima es prácticamente inexistente y debido a las limitantes de espacio para el transporte de insumos.

Por medio de la investigación documental se realiza una exploración de materiales y métodos de fabricación eco-amigables, que actualmente se están implementando y utilizando. Se analizan escenarios acerca del impacto que tiene para la naturaleza el fabricar productos comunes y cuáles serán las ventajas de utilizar materiales no orgánicos, mencionando las líneas de investigación y los trabajos de científicos e investigadores que han atendido esta problemática, los avances que se han logrado, las limitaciones que han encontrado y cómo las han resuelto.

## 2. Materiales orgánicos e inorgánicos

Los materiales orgánicos, contienen células vegetales o animales. Estos materiales pueden usualmente disolverse en líquidos orgánicos como el alcohol o los tetracloruros, no se disuelven en el agua y no soportan altas temperaturas. Algunos de los representantes de este grupo son: plásticos, productos derivados del petróleo, madera, papel, hule y piel. Una de las desventajas de los materiales orgánicos, es el biodeterioro, el cuál es un fenómeno complejo que implica alteraciones de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del material por acción de organismos biológicos. A ello hay que añadir las modificaciones del aspecto estético que se producen en los objetos afectados. La intensidad de las alteraciones se produce en función de los componentes de los soportes y de las condiciones ambientales [9].

Los materiales inorgánicos son todos aquellos materiales que no proceden de células animales, vegetales o relacionadas con el carbón. Por lo regular se pueden disolver en el agua y en general resisten el calor, mejor que las sustancias orgánicas. Algunos de los materiales inorgánicos más utilizados en la manufactura son:

- Los minerales.
- El cemento.
- La cerámica.
- El vidrio.
- El grafito (carbón mineral).

Los materiales, sean metálicos o no metálicos, orgánicos o inorgánicos, casi nunca se encuentran en el estado en el que van a ser utilizados, por lo regular estos deben ser sometidos a un conjunto de procesos para lograr las características requeridas en tareas específicas. Estos procesos han requerido del desarrollo de técnicas especiales muy elaboradas que han dado el refinamiento necesario para cumplir con requerimientos prácticos. Estos procesos aumentan notablemente el costo de los materiales, tanto que esto puede significar varias veces el costo original, por lo que su estudio y perfeccionamiento repercutirán directamente en el costo de los materiales y los artículos que integrarán.

Los procesos de manufactura implicados en la conversión de los materiales originales en materiales útiles para el hombre, requieren de estudios especiales para lograr su mejor aplicación, desarrollo y disminución de costo. En la ingeniería la transformación de los materiales y sus propiedades tienen un espacio especial, ya que, en casi todos los casos, de ello dependerá el éxito o fracaso del uso de un material. El uso de materiales no orgánicos como materia prima en productos textiles requiere un análisis que empieza desde las fibras, ya que del tipo de fibra depende la selección de los elementos que la conforman, y permite comparar la función de cada

elemento, las ventajas de su utilización y los criterios para medir el refuerzo y resistencia a la cual estará sometida [1].

## 3. La industria y el uso de materias primas no tradicionales

En la actualidad y debido al desarrollo de los métodos de investigación es posible predecir, por medio de estudios sustentables, el tiempo y el lugar donde un determinado recurso será abundante en el planeta ya sea de fuente natural o por intervención humana. Utilizando dicha información, la ciencia ha hecho posible realizar búsquedas estructuradas y focalizadas para lograr la combinación de materiales no convencionales, por medio de laboratorios, empresas innovadoras y universidades. Utilizando técnicas para procesos de fusión e integración de materiales, se diseñan procesos industriales que permiten acondicionar propiedades de cada material para lograr su integración entre dos o más de diferente origen.

Con el objetivo de contribuir a la sostenibilidad ambiental y de reducir el impacto negativo ambiental de la huella de carbono [2] se busca el desarrollo e implementación de materias primas no convencionales que minimicen los niveles de contaminación del producto al final de su vida útil y ayuden a reducir la problemática de escasez de los recursos naturales, la cual ha sido el resultado de un proceso lento y acumulativo de actividad humana [3]. Entre las materias primas no orgánicas consideradas se incluyen materiales reciclados como la matriz polimérica en pliegos de papel, el uso de piedra caliza como sustituto de la celulosa de los árboles en la producción de nuevas alternativas de insumos, el uso del carbón como sustituto de fibras en la industria textil, el uso de polímeros en la fabricación de calzado e inclusive el uso de grafeno en la industria electrónica. Lo relevante de estos materiales es que son abundantes en la naturaleza, no se incurre en altos costos de extracción y, una vez manufacturados, al darles el uso correspondiente y posteriormente ser desechados, estos vuelven a la tierra en forma de piedra, carbón o arena. En [4] se muestra un análisis donde se deriva de una vista al futuro una predicción de una era de combustible y de materia prima escasa, con esto es posible darse cuenta del valor actual de ciertos productos y cómo la escasez obligará a dejar de depender de ellos. Ejemplos del uso de materiales no tradicionales para determinados tipos de industria son:

- La industria de la construcción ha empezado a utilizar materiales compuestos de harina, de madera con polipropileno, polietileno, cloruro de polivinilo y resinas termoestables. Estos compuestos, conocidos como Wood-Plastic Composites (WPC) [5].

- La industria textil ha explorado alternativas innovadoras con combinaciones entre plásticos de desecho y fibras de diferente tipo, haciendo uso de los nuevos procesos productivos que permiten incorporar estos materiales. Las pruebas de validación determinan la viabilidad, si las propiedades mecánicas y térmicas son superiores a las de fibras orgánicas. Tal es el caso de las poliolefinas de baja densidad, que son los materiales poliméricos de mayor consumo debido a sus interesantes propiedades y bajo costo. Además, poseen la ventaja de un proceso fácil y económico, la posibilidad de reciclado e incorporación de fibras cortas de refuerzo que permiten aumentar la rigidez y resistencia de estos materiales manteniendo la posibilidad de su transformación mediante las técnicas convencionales empleadas para procesar termoplásticos [6].
- En la industria electrónica ha habido una intensa investigación en la búsqueda de reductores para la producción de grafeno químicamente modificado, el cual tiene buenas propiedades eléctricas. La reducción térmica ha probado una mayor eficiencia en cuanto a la desoxigenación del grafeno, sin embargo, el grafeno químicamente modificado resultante presenta pobre estabilidad coloidal. Esto ha impulsado el estudio a la reducción en medio acuoso. Bajo estas condiciones, uno de los reductores más eficientes es la hidracina, sin embargo, su uso a gran escala representa un problema debido a que es altamente tóxico y potencialmente explosivo, en [7] se muestra el avance y el logro en electrónica al desarrollar fibras especiales lo que da lugar a pantallas ultra delgadas y flexibles.
- En la industria del calzado, se crean prototipos basados en diversos tipos de materiales (orgánicos e inorgánicos) que luego están sujetos a una evaluación adicional [8, 9], los resultados respectivos se incorporan a los prototipos avanzados hasta que la calidad funcional de los zapatos esté en la base. Los procedimientos comunes de pruebas mecánicas para el calzado deportivo se centran en el impacto, la tracción de traslación y rotación, la torsión y las características de optimización del calzado, pasan por fases como se ve en Figura 1.
- En la industria médica; hay una creciente tendencia hacia el uso de tejidos antibacterianos en la forma de ropa o paños médicos, en prendas de protección y en colchas; con el objetivo de que permitan minimizar la posibilidad de infecciones [9]. En [10] se presenta un mayor grado de sofisticación, con la incorporación de elementos que aseguren la no transferencia de enfermedades ni desarrollo bacteriano, asimismo se contemplan una amplia variedad de aplicaciones no médicas.
- Aplicaciones relacionadas con la industria aeroespacial. El desarrollo de componentes para la industria aeroespacial utilizando materiales compuestos. En particular, se desarrollaron tejidos preimpregnados basados en fibras de carbono y resinas fenólicas que permiten obtener componentes resistentes a altas temperaturas. una alta resistencia al fuego, considerablemente mayor que los basados en fibras de carbono y resinas epoxi, que son tradicionalmente utilizados en aplicaciones de alto desempeño [11].

#### 4. La industria textil

Debido a su proceso productivo, la industria textil es una de las fuentes de contaminación más grandes del planeta. Empresas como Santa Constanca (Brasil), Digitale Textil (Brasil) y Enka (Colombia) se han dado al reto de disminuir el impacto de la industria en el medio ambiente, con sus productos innovadores como hilo biodegradable, micro cápsulas de aloe vera, protección UV y fibra antibacterial, los cuales son amigables con el planeta y más aun con el ser humano.

En el proceso de elaboración de productos textiles se presenta un gran número de operaciones unitarias retroalimentadas que utilizan diversas materias primas, como algodón, lana, fibras sintéticas, o mezclas de ellas. El impacto ambiental de sus efluentes líquidos es muy diferente, por la gran variedad de materias primas y reactivos utilizados que varían según los métodos de producción [5]. Entre los productos químicos, altamente contaminantes utilizados se encuentran: alquinoxifenoles para lavado y teñido, clorobenzenos utilizados como disolventes y fabricación de tintes, entre otros [12].

La utilización de productos no convencionales, basados en materiales no orgánicos, permite frenar el impacto ambiental negativo a largo plazo, ofreciendo la ventaja de la fácil integración en su mayoría al ambiente una vez terminada la vida útil de los nuevos productos. La tendencia de las investigaciones científicas es simplificar, utilizar el recurso y después de su uso que este siga siendo inerte al ambiente, ejemplo de lo anterior es la

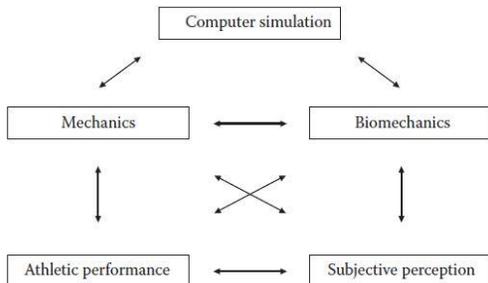


Figura 1. Tecnología del calzado.

patente CN101871182A [13] la cual desarrolla un papel de piedra termoplástico y amigable con el medio ambiente y plantea su método de preparación. El desarrollo comprende los siguientes componentes en partes en peso: 80-90 partes de polvo mineral inorgánico, 3-5 partes de ingrediente activo superficial, 2-3 partes de monómero polimérico, 0.01-0.05 parte de iniciador y 5-15 partes del ingrediente accesorio de lubricación, en el que el polvo mineral inorgánico es al menos uno de varios polvos minerales inorgánicos.

#### **4.1. Fibras para telas**

Una fibra textil es un filamento plegable parecido a un cabello utilizado en la fabricación de hilos textiles y de telas, contribuyen al tacto, textura y aspecto de las telas e influyen en el funcionamiento de las mismas. Los avances en las fibras se hacen presente en investigaciones para desarrollo y mejora de materiales sustentables, muestra de estos son materiales compuestos no convencionales como la fibra de vidrio y de carbono, así como los materiales llamados biocompuestos, dejando a los orgánicos tradicionales como la lana, algodón y papel a base de celulosa en otra categoría.

Los materiales biocompuestos son una alternativa ecológicamente viable para el reemplazo de materiales en la fabricación de componentes o partes de equipos, en donde su función puede o no requerir de unos valores de resistencia mecánica altos o pueden cumplir funciones de tipo estético. Estos materiales están conformados de una resina polimérica que hace parte de la matriz y fibras naturales que actúan como refuerzo, permitiendo mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de la resina sin fibra. Investigaciones de diferentes autores han demostrado la eficiencia de las fibras naturales para disminuir los tiempos de degradación de la resina polimérica cuando esta ha cumplido su ciclo funcional y se someta a condiciones ambientales y procesos naturales de descomposición, lo que permite la reducción de la contaminación en el medio ambiente [14].

##### **4.1.1. Fibras no orgánicas**

Dentro de los recientes desarrollos tecnológicos para el uso e incorporación de materia prima en procesos de producción, se tienen las fibras textiles no orgánicas, entre las que se encuentran [14, 15]:

- Fibras artificiales; estas surgen con el objetivo de imitar las propiedades de las fibras naturales.
- Fibras metálicas; estas son fibras compuestas por metal revestido de plástico, incluye metales fuertes y dúctiles como el acero, cobre o plata.
- Fibras sintéticas; son aquellas creadas por el hombre a través de procesos químicos y mecánicos, con el objetivo de mejorar propiedades de fibras orgánicas naturales.

##### **4.1.2. Fibra artificial inorgánica**

La fibra de vidrio es la única fibra utilizada para la fabricación de productos textiles en grandes cantidades, se fabrica moldeando o soplando el vidrio fundido hasta tomar la forma de hilos, es útil para usarse en cortinas y tapicería debido a su alta resistencia al fuego y al agua, asimismo combinada con distintas resinas constituye un aislamiento térmico de alto nivel de rendimiento; sin embargo, no es recomendable para prendas que estén en contacto con la piel ya que ocasiona irritación cutánea. En indumentaria, se usa para fabricar guantes y trajes a prueba de fuego.

##### **4.1.3. Fibra metálica**

Las fibras metálicas son fibras artificiales compuestas por metal, plástico revestido de metal, metal revestido de plástico o un núcleo central recubierto por metal. No poseen las mismas propiedades que las otras fibras textiles, si no que conforman textiles más pesados y resistentes, que carecen de caída y se arrugan o marcan si son dobladas. Se distinguen las de acero inoxidable (utilizadas por su alto costo en neumáticos o prendas de seguridad), y las fibras de aluminio. Las mismas se producen de dos maneras:

1. Mediante un proceso de laminado que consiste en unir una lámina de aluminio entre dos películas de poliéster plástico, para posteriormente cortarla en tiras muy finas que constituyen el hilo.
2. Mediante el proceso de metalizado que consiste en vaporizar el aluminio a alta presión sobre una película de poliéster.

##### **4.1.4. Fibras sintéticas inorgánicas**

Son aquellas creadas por el hombre a través de procesos químicos y mecánicos con el objetivo de mejorar las propiedades de las fibras naturales aportándoles a su funcionalidad estética y reducción costos, son de fácil cuidado, resistentes, confortables y de gran duración, por lo general se combinan con fibras orgánicas para mejorar la comodidad de sensación con el usuario, son resistentes a la luz solar y a la intemperie, funcionan como aislantes térmicos y no producen alergias.

#### **4.2 Textiles inteligentes**

Los textiles denominados inteligentes cuentan con fibras y tejidos en cuya materia prima se incorpora nanotecnología o micro encapsulados. Entre las aplicaciones de este tipo de fibras se encuentran las vestiduras inteligentes que permiten detectar cambios corporales en los usuarios, cintas elásticas capaces de transmitir el calor de forma controlada, telas que cambian de tonalidad dependiendo de la iluminación, que ayudan al control del peso y a determinar el ritmo cardiaco de los usuarios. Sin embargo, las aplicaciones más populares de este tipo de materiales inteligentes son

los materiales con memoria de forma y los textiles que conducen electricidad [16].

Este desarrollo de nuevas aplicaciones conlleva una demanda de materias primas novedosas, y dados los avances en investigación de materias primas abundantes e investigación de materiales amigables con el planeta de composición inorgánica, se puede especificar las condiciones para diseñar materia prima y después acoplarlo a uno o varios campos en la industria.

#### 4.3. Fibras de refuerzo

Las fibras de carbono, como las fibras de vidrio, fueron los primeros refuerzos, utilizados para aumentar la rigidez y la resistencia de los materiales compuestos avanzados comúnmente utilizados en aeronaves, equipos de recreación y aplicaciones industriales [17]. Son precisamente estas fibras de refuerzo las que dan estabilidad o estructura al material impregnado a ellas.

#### 5. Piedra caliza y tecnologías en fusión piedras con polímeros

Los plásticos tienen un lugar privilegiado entre los nuevos materiales que se han venido desarrollando durante los últimos cincuenta años. Evidentemente que, si se mantuviera la tradición de dar el nombre del material de mayor utilidad a una época determinada, la nuestra debería ser la del plástico. Hoy, como es del conocimiento general, es prácticamente imposible realizar alguna actividad cotidiana sin interactuar con este tipo de materiales.

En la búsqueda de investigaciones y trabajos relacionados con combinaciones de materiales con diferencias en cuanto a sus propiedades, se tiene que en [29] se plantea la mezcla de cementos asfálticos modificados con polímeros, los cuales ofrecen un avance notable en la tecnología de los ligantes asfálticos, ya que dichos compuestos orgánicos le brindan especiales características mecánicas.

La piedra caliza, como materia prima es abundante, ha sido tradicionalmente utilizada en procesos para la obtención de cementos reforzados, losetas y fundición, pero se vuelve a hacer presente en la creación de pliegos de papel, donde se sustituye a la celulosa, lo cual impacta positivamente al medio ambiente ya que no utiliza agua en su proceso de manufactura y al no utilizar celulosa no requiere la tala de árboles [30]. La sustitución de celulosa por material proveniente de la piedra caliza y polímero de alta densidad que al ser reforzado con fibras artificiales provee la base para plantear el uso de productos textiles.

Otro material que también puede ser utilizado es el carbonato de calcio, también conocido como piedra blanca, este material aporta beneficios para fijación de colorante debido a que neutraliza las tintas ácidas en el proceso de producción, misma que ya ha tenido aplicación en la elaboración de papel inorgánico [18].

#### 6. Papel de piedra

El papel de piedra es un papel de origen mineral fabricado a base de carbonato de calcio y como aglomerante se utiliza resina de polietileno no tóxica. El proceso de fabricación del papel de piedra es limpio, no utiliza árboles ni agua y no genera emisiones tóxicas, es libre de cloro, ácidos y muy seguro para el medio ambiente [27], la Figura 2 muestra diferentes artículos producidos a partir de papel de piedra.



Figura 2. Variedad de productos del papel de piedra.

El futuro para el papel de piedra está en sus diversas aplicaciones ya que en su forma de materia prima se encuentra en pliegos laminados, con propiedades físicas favorables para un campo amplio de artículos de oficina. Sus propiedades físicas como son las flexibles, impermeables y dureza, por mencionar algunas, son definidas y aptas para amplio sector de insumos personales.

#### 7. Impresión 3D y tecnología textil

Actualmente estas impresoras se están utilizando en proyectos de investigación científica, así como en múltiples aplicaciones industriales y educativas, como se muestra en la Figura 3. En la industria textil se utilizan para diseñar colecciones originales creando prototipos físicos de dichos diseños [28], la impresión 3D en la industria textil se enfoca en prototipos rápidos para evaluar y validar innovaciones en vestimenta, permitiendo realizar estudios para incorporar materiales sintéticos, artificiales y no orgánicos, lo anterior con la finalidad de encontrar nuevas opciones de proceso y productos.

En el verano de 2016, la diseñadora de modas Danit Peleg lanzó una plataforma de personalización en su sitio web *danitpeleg.com* que permite a los clientes personalizar y pedir la primera prenda impresa en 3D del catálogo de prendas disponibles en su plataforma. Esto abre la posibilidad de utilizar la impresión 3D para realizar el proceso de confección de una prenda textil con base de material de piedra al ser aplicado el material y su correspondiente polímero a una fibra que funcionara como estructura de reforzamiento.

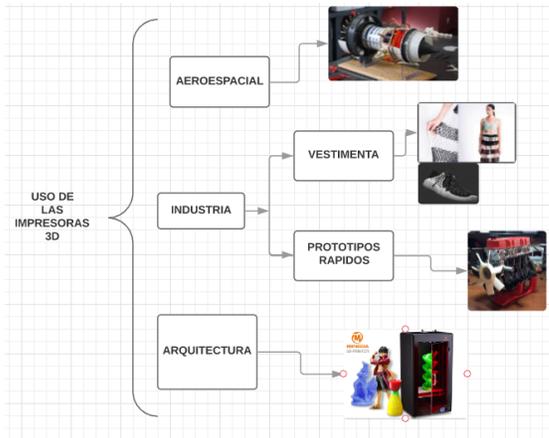


Figura 3. El campo de aplicación de impresión 3D.

## 8. Validación de productos textiles

Las pruebas de durabilidad para productos textiles se deben diseñar y construir bajo criterios de evaluación, basados en normas internacionales [29]. Entre las pruebas físicas, químicas y fisicoquímicas realizadas en fibras, hilos, telas, prendas y accesorios se encuentran:

- AATCC-135: Prueba de cambios dimensionales en textiles después del lavado doméstico.
- AATCC-150: Prueba de cambio dimensional en los lavados domésticos de prendas de vestir tejido punto (1-3/lavadas).
- ASTM-D-5034: Resistencia a la tracción y elongación de tejidos textiles.
- AATCC-61: Solidez del color al lavado doméstico.
- AATCC-8: Solidez del color al frote.
- AATCC-16: Solidez del color a la luz.
- AATCC-107: Solidez del color al agua.
- AATCC-15: Solidez del color al sudor.
- ASTM-D-3512: Resistencia a la formación de pilling.
- ASTM-D-3776: Determinación del peso del tejido (masa/área).
- AATCC-81: Determinación del pH del extracto acuoso de los textiles.

Los métodos de pruebas listados establecen los criterios mínimos requeridos por los clientes, de acuerdo con

normas nacionales o internacionales y se comparan con estándares de calidad establecidos de acuerdo con el uso final del producto. En [35-36] se indica que los métodos de prueba pretenden determinar los cambios en las características del producto (dimensionales, color, resistencia, entre otros) cuando son sujetos a esfuerzos y condiciones ambientales similares a los expuestos una vez que el producto es comercializado, tomando en cuenta cuatro temperaturas de agua y dos temperaturas de secado. La parte técnica consiste en comparar el cambio dimensional, crecimiento, lavado en máquina y encogimiento.

### 8.1. Equipo de resistencia (tensiómetro)

Este equipo presentado en la Figura 4, muestra en forma gráfica el comportamiento de la elongación del material expuesto a un esfuerzo de tensión, hasta que la muestra se rompe por un esfuerzo; el equipo proporciona solamente el dato de tensión, aun así, es posible determinar cuál es el comportamiento elástico de la tela sometida a tensión, datos sobre su deformación plástica, y por tanto conocer el último esfuerzo de tensión antes que se produzca la falla. Aunque se podrían determinar todos estos datos y realizar una curva de la resistencia de cada tela, lo que más interesa conocer es el punto crítico donde se produce la falla en la tela; este indicador sirve para referencia de los clientes, de la empresa y de los procesos de lavandería, secado, planchado y estirado de la tela.



Figura 4. Tensiómetro.

### 8.2. Pruebas de validación

#### 8.2.1. AATCC-135: Prueba de cambios dimensionales en textiles después del lavado doméstico [31]

Este método de prueba está destinado a la determinación de los cambios dimensionales de las telas cuando se someten a procedimientos de lavado en el hogar, utilizados por los consumidores. Cuatro temperaturas de lavado, tres ciclos de agitación, dos temperaturas de

enjuague y cuatro procedimientos de secado cubren las opciones comunes de cuidado en el hogar disponibles para los consumidores que utilizan máquinas de lavado actuales. El principio de esta prueba son los cambios dimensionales de los especímenes de tela sometidos a la atención de lavado de casa se miden utilizando pares de marcas aplicadas al tejido antes del lavado.

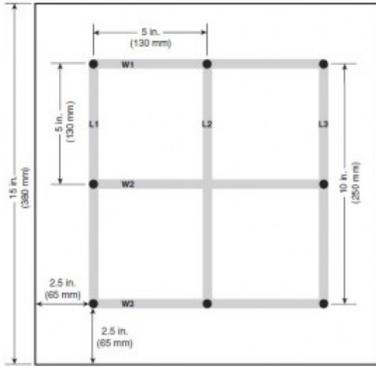


Figura 5. Patrón estándar para marcar las muestras

La Figura 5 muestra las dimensiones estandarizadas para tomar una muestra y someterla a la máquina de lavado y comparar las medidas antes y después del tratamiento.

**8.2.2. AATCC-150: Prueba de cambio dimensional en los lavados domésticos de prendas de vestir tejido punto [32]**

Este método de prueba es para la determinación de cambios dimensionales de prendas de vestir cuando se someten a procedimientos de lavado doméstico utilizados por los consumidores. Cuatro temperaturas de lavado, tres ciclos de agitación, dos temperaturas de enjuague y cuatro procedimientos de secado cubren las opciones comunes de cuidado en el hogar disponibles para los consumidores que utilizan máquinas de lavado actuales.

Los cambios dimensionales de prendas sometidas a procedimientos de atención de lavado de casa se miden utilizando puntos de referencia colocados en áreas designadas de las prendas. Los cambios dimensionales medidos pueden verse afectados por la construcción de la prenda, las tensiones, los hilos de coser o los adornos, además del cambio dimensional de la tela.

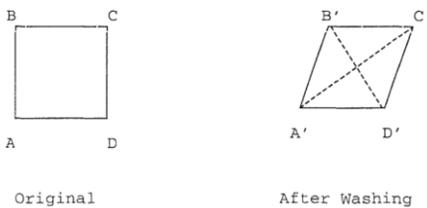


Figura 6. Puntos de referencia en una muestra de tela.

Como un procedimiento opcional, los cambios dimensionales de la tela se pueden determinar mediante el uso de puntos de referencia colocados en la tela en áreas de la prenda que no contiene costuras o costura como muestra la Figura 6. Este método puede no ser aplicable para prendas hechas de ciertas telas elásticas.

**8.2.3. ASTM-D-5034: La resistencia a la tracción y elongación de tejidos textiles [33]**

Este ensayo se utiliza para textiles tejidos y no tejidos, mientras que una prueba modificada del ensayo se utiliza principalmente para telas tejidas. Consiste en un ensayo de tracción donde se prueba la parte central del ancho de la muestra en las mordazas. Se utilizan muestras largas de 100mm x 150mm (al menos) con una línea dibujada paralela a la dirección longitudinal y situada desde el borde de un lado de la muestra.

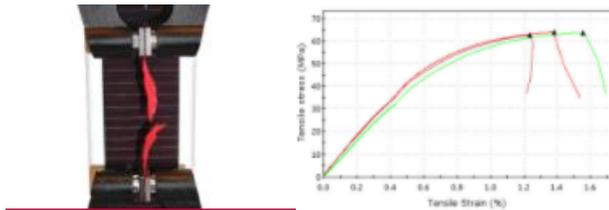


Figura 7. Pruebas de tensión y grafico de resultados.

El ensayo modificado es similar al estándar, pero incluye aberturas laterales cortadas en los lados de cada muestra, excepto para el centro de 25mm (las especificaciones son diferentes para las pruebas de tejidos húmedos). En todas las pruebas, la muestra se tracciona para romper a 300mm/min (12cm/min). Los resultados del ensayo son la resistencia a la rotura (carga máxima) y la elongación. En la Figura 7 se muestra la máquina de prueba y el gráfico de esfuerzo-ruptura.

**8.2.4. AATCC-61: Solidez del color al lavado doméstico [34]**

Se utiliza para evaluar la solidez del color al lavado de textiles que se espera que resistan lavados frecuentes. Este método permite evaluar la pérdida de color y el cambio de superficie utilizando una solución de detergente y acción abrasiva.

Las muestras de prueba se unen a muestras de fibras múltiples y las bolas de acero inoxidable se cargan en recipientes de acero inoxidable para reproducir la abrasión. Luego se cargan los recipientes en la máquina y comienza la prueba de 45 minutos. Después del lavado, las muestras se secan, acondicionan y evalúan con la escala de grises para cambio de color y la escala de grises para tinción, como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Decoloración por lavado.

**8.2.5. AATCC-8: Solidez del color al frote [35]**

Este método de prueba está diseñado para determinar la cantidad de color transferido desde la superficie de los materiales textiles coloreados a otras superficies mediante fricción. Es aplicable a los textiles hechos de todas las fibras en forma de hilo o tela, ya sea teñida, impresa o coloreada de otra manera. No se recomienda su uso para alfombras o para impresiones en las que la selección de áreas puede ser demasiado pequeña usando este método.



Figura 9. Máquina de prueba de color al frote.

Se emplean cuadrados blancos de tela de prueba, tanto secos como húmedos con agua. El procedimiento consiste en una muestra de prueba coloreada la cual se frota con una tela blanca de prueba en condiciones controladas. Se somete a ciclos de frote con la máquina mostrada en la Figura 9, el color transferido a la tela de prueba blanca se evalúa mediante una comparación con la escala de grises para tinción o la escala de transferencia cromática y se asigna una calificación.

**8.2.6. AATCC-16: Solidez del color a la luz [36]**

Prueba que mide el desvanecimiento acelerado del color de la prenda textil después de exposición a luz de alta intensidad, para realizar la evaluación se compara la diferencia de color entre las partes expuestas y protegidas del tejido contra la escala de grises de AATCC y se evalúa el grado de desvanecimiento. La Figura 10 permite ubicar el grado de desvanecimiento después de someter a las muestras a horas de luz intensa.

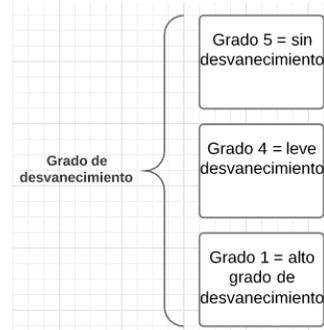


Figura 10. Grados de desvanecimiento.

**8.2.7. AATCC-107: Solidez del color al agua [37]**

Esta prueba se realiza principalmente para probar la resistencia al agua de los tejidos teñidos, impresos u otros productos textiles, asimismo esta prueba se lleva a cabo para determinar la cantidad de manchas de color que se produce cuando las prendas se dejan en contacto con la humedad. Los elementos se muestran en la Figura 11.

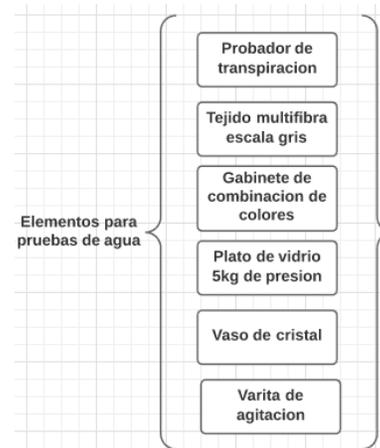


Figura 11. Elementos necesarios para pruebas de agua.

Para hacer este método, se usa agua destilada ya que el agua natural normal tiene una composición variable, el procedimiento de trabajo se describe en la Figura 12.

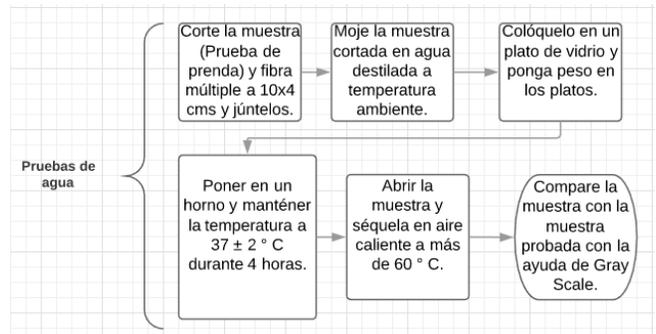


Figura 12. Procedimiento para pruebas de agua.

### 8.2.8. AATCC-15: Solidez del color al sudor [38]

Este método de prueba se utiliza para determinar la solidez de los textiles de color a los efectos de la transpiración ácida. Se aplica a fibras textiles, hilados y tejidos de todo tipo teñidos, impresos o coloreados de otro modo, y a las pruebas de colorantes aplicadas a los textiles.

### 8.2.9. ASTM-D-3512: Resistencia a la formación de pilling [39]

Este método de prueba cubre la determinación de la propensión de un tejido a formar pildoras y otros cambios de superficie relacionados en textiles utilizando el comprobador de picado aleatorio. El procedimiento es generalmente aplicable a todos los tipos de telas de prendas tejidas y de punto.

### 8.2.10. ASTM-D-3776: Determinación del peso del tejido [40]

Estos métodos de prueba cubren la medición de la masa del tejido por unidad de área (peso) y es aplicable a la mayoría de las telas. La Figura 13 muestra cuatro opciones aprobadas:

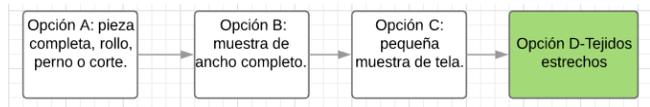


Figura 13. Opciones de medición de masa.

### 8.2.11. AATCC-81: Determinación del pH del extracto acuoso de los textiles [41]

Un medidor de pH se usa para determinar la acidez o alcalinidad de la muestra. La Figura 14 indica el procedimiento utilizando un medidor de pH digital.



Figura 14. Medidor digital de pH.

El pH del extracto de agua para textiles húmedos procesados se utiliza para determinar el pH de los textiles procesados en mojado, ya sea que hayan sido lavados o blanqueados. La muestra se extrae con un baño de agua o un extractor Morapex. La extracción se prueba con medidor de pH digital (pH meter).

## 9. Patentes

Entre los desarrollos tecnológicos patentados, relacionados con el campo de las telas y el uso de materiales no orgánicos, se encuentran las siguientes:

La **ES2412608B2**, con fecha de publicación de 14 de enero de 2014, consiste en un tejido con aplicación en prendas textiles, que aumenta la confortabilidad en uso, así como su capacidad antibacteriana, tanto en el número de especies que combate, como en el tiempo que es efectiva dicha capacidad, utilizando una mezcla de fibras tanto sintéticas como naturales, y de una fibra del tipo antibacteriana compuesta por celulosa y un compuesto de base de zinc. Esta mezcla que forma el hilo dispone de dicha fibra antibacteriana en un porcentaje de esta última de entre un 8 % y un 70 % [19].

La **ES2424565B1**, con fecha de publicación de 6 de mayo del 2014, se presenta una mejora en fundas de colchón y almohadas utilizadas en hospitales, la invención se basa en la confección de una funda que a la vez es una sábana que aumenta la difusión de la transpiración del usuario y mantiene una ventilación continua, asimismo en el caso que se produzcan derrames de líquidos, los mismos quedan atrapados en la superficie que existe entre los dos tejidos que configuran la parte plana de las fundas [20].

En **US2015035195A1**, con fecha de publicación de 5 de febrero de 2015, se plantea una fibra cosmética de poliamida que comprende nanopartículas conjugadas homogéneamente dispersas en la fibra, la cual tienen aplicación práctica al hacerla fácilmente incorporable a los procesos de manufactura actuales y ofrece ventajas cosméticas en el tratamiento de las pieles. La invención también describe el proceso de obtención de las nanopartículas conjugadas [21].

En **US20140135423A1**, con fecha de publicación de 15 de mayo de 2014, se plantea un papel fabricado en piedra y a su método de fabricación, el cual está elaborado utilizando materiales no tóxicos consistentes en polvo de piedra, polvo de silicio blanco y una resina no tóxica. Este papel se puede usar para fabricar papel de escritura cotidiana o para aplicación en trabajos artísticos, incluye las ventajas de una buena absorción de tinta, alta resistencia al agua, buenas propiedades mecánicas, alto rendimiento de plegado y libre contaminación. Este papel no tiene como ingrediente al  $\text{CaCO}_3$ , por lo que el papel puede incinerarse a través de un incinerador, sin producir ningún gas ácido [22].

En **ES2527506T3**, con fecha de publicación de 26 de enero de 2015, se presenta una nanopartícula con un núcleo formado en su totalidad o en parte por al menos

un compuesto orgánico absorbedor de UV, dispersable en agua, dotado de una estabilidad prolongada en el tiempo y estable bajo radiación UV. Con el fin de aumentar el factor de protección solar de fibras textiles [23].

En **US6573340**, con fecha de publicación de 3 de junio de 2003, se presentan filminas y fibras de polímero biodegradable con uso adaptable para cubiertos laminados, envolturas y otros materiales de envasado, el resultado de la incorporación de estos materiales radica en productos más flexibles, biodegradables y permite incorporar al producto final procesos de textura para incrementar la sensación al usuario. Las composiciones planteadas en esta patente incluyen buenas propiedades de barrera al vapor de agua y un buen coeficiente de protección de permeabilidad [24].

En **ES2535133T3**, con fecha de publicación de 5 de mayo de 2015, se plantea una boquilla de hilado electrostático combinada para la producción de materiales con base en nano-fibras o micro-fibras, la invención comprende una boquilla combinada conectada a uno de los puntos de potencial eléctrico de una fuente de energía de alto voltaje y conectada, por medio de canales de distribución, a un dispositivo para proporcionar una mezcla polimérica [25].

En **US20030092343A1**, con fecha de aplicación de 15 de mayo de 2002, se plantean fibras de comprimidos multi-componentes y polímeros almidonados biodegradables. Este invento está en el campo de fibras degradables y polímeros termoplásticos degradables, las fibras son usadas para telas no tejidas y artículos dispensadores. Los elementos laminares no tejidos pueden contener otras fibras sintéticas o naturales mezcladas con las fibras multicomponentes planteadas en la invención [26].

Estando las patentes anteriormente descritas en explotación comercial o en proceso de explotación comercialización por diversas empresas.

## 10. Conclusión

En este documento se resalta el trabajo de investigadores, universidades y empresas que han investigado el desarrollo de materiales textiles eficientes y útiles. Los cuales son analizados siguiendo los métodos de validación y pruebas utilizadas por la industria textil, incluyendo pruebas de durabilidad y resistencia.

El campo de los textiles abarca un sinnúmero de opciones y aplicaciones en todo campo, inclusive al estar el documento limitado a la búsqueda a materiales no orgánicos fue posible encontrar bastantes investigaciones y desarrollos de tecnología que

actualmente se está incorporando a mercado de consumo.

Algunos de estos desarrollos ofrecen la ventaja de presentar productos que por su proceso de producción reducen los efectos negativos de la huella de carbono, así como buscan incorporar materiales y tecnologías en sus procesos no dañinas al planeta.

## 11. Referencias

- [1] S. G. Diez, "Fibras y materiales de refuerzo: Los poliésteres reforzados aplicados a la realización de piezas en 3D," vol. 12, no. 5, pp. 268-282, 2011.
- [2] H. Schneider and J. Samaniego, "La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios," Colección Doc. Proy., p. 46, 2010.
- [3] R. Urbanos, D. Red, and E. Sociales, "Ciudades en riesgo," Libro, 1996.
- [4] F. Ballenilla, "La sostenibilidad desde la perspectiva del agotamiento de los combustibles fósiles, un problema socio-ambiental relevante," Investigación en la Escuela. 2005.
- [5] V., Amigó, F. S. M. D., S. O., L. R., and Martí, "Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales," Valorización residuos fibras Veg. como refuerzo plásticos Ind., pp. 23-24, 2008.
- [6] 226: 129-141. doi: 10.1002/apmc.1995.052260112 Arroyo, M. R. and Lopez-Manchado, M. A. (1995), PP/LDPE blends filled with short polyamide fibers. *Angew. Makromol. Chem.*, "PP/LDPE blends filled with short polyamide fibers," vol. 66, p. 66.
- [7] A. Castro-Beltrán, S. Sepúlveda-Guzmán, W. J. De La Cruz-Hernández, and R. Cruz-Silva, "Obtención de grafeno mediante la reducción química del óxido de grafito," *Ingenierías*, vol. XIV, no. 52, pp. 34-42, 2011.
- [8] J. T. M. Sterzing, T., Lam, W. K., & Cheung, "Athletic Footwear Research by Industry and Academia," no. July 2014, pp. 605-622, 2012.
- [9] P. Ultravioleta and G. F. Salas, "Algodón para mejorar sus propiedades de uso de nanopartículas de ZnO en tejidos de algodón para mejorar sus propiedades de protección ultravioleta," no. June, 2015.
- [10] A. A. Zadpoor, "The evolution of biomaterials research," *Materials Today*. 2013.
- [11] E. S. Rodríguez, "Desarrollo de materiales compuestos avanzados basados en fibras de carbono para la industria aeroespacial," vol. 64, pp. 1-6, 2012.
- [12] M. C. Gutiérrez Bouzán, M. Droguet Rifá, and M. Crespi Rosell, "Las emisiones atmosféricas generadas por la industria textil," *Bol. Intexter del Inst. Investig. Text. y Coop. Ind.*, no. 123, pp. 51-58, 2003.

- [13] Patente CN101871182A. C. M. Yu Jianguo, "Stone water-free paper-making method and flow". 2010.
- [14] E. William et al., "Development of biocomposites materials reinforced with Colombian's natural fibers Colombias," pp. 1-7, 2013.
- [15] F. Espinoza Moraga and C. Araya Monasterio, "Análisis de materiales para ser usados en conservación de textiles TT - Analysis of materials for use in textile conservation," *Conserva*, vol. 2000, no. 4, pp. 45-55, 2000.
- [16] J. R. Sánchez Martín, "Los tejidos inteligentes y el desarrollo tecnológico de la industria textil," *Técnica Ind.* 268, pp. 38-45, 2007.
- [17] M. Guilherme and W. Lebrão, "No Title," 1969.
- [18] J. F. Araujo, "Requerimientos establecidos por las normas ISO para papeles permanentes," *Inf. Cult. y Soc.*, vol. 24, no. 24, pp. 87-96, 2011.
- [19] Patente ES241268B2. Sutran I Mas D, S. L. Anti-odor and antibacterial fabric in textiles. 2014.
- [20] Patente ES2424565B1. Sutran I Mas D, S. L. Textile protective sheath. 2014.
- [21] Patente US2015035195A1. Cosmetic textile fiber, method for obtaining it and use thereof. 2015.
- [22] Patente US20140135423A1. Real green material technology Corp. Stone-made green energy paper and method for making the same. 2014.
- [23] Patente ES2527506T3. Nanopartículas anti UV. 2015.
- [24] Patente US6573340. Biodegradable polymer films and sheets suitable for use as a laminate coatings as well as wraps and other packaging materials.
- [25] Patente ES2535133T3. D. Dobrouc, "2 535 133," 2015.
- [26] Patente US20030092343A1. Multicomponent fibers comprising starch and biodegradable polymers. 2002.
- [27] Emana Green, "Papel de piedra," *Preguntas frecuentes*, pp. 40-46, 2016.
- [28] L. Esquivel, "IMPRESIÓN Nante 3D," pp. 1-12.
- [29] P. Cristian, G. Jorge, and L. D. N. Materiales, "Diseño y construcción de un banco de pruebas de durabilidad para asientos de vehículo. Design and construction of an automotive seat durability test bench" vol. 37, no. 2, 2016.
- [30] N. Textil, "No Title," NORMA, 2010.
- [31] AATCC-135: Prueba de cambios dimensionales en textiles después del lavado doméstico ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).
- [32] AATCC-150: Prueba de cambio dimensional en los lavados domésticos de prendas de vestir tejido punto ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).
- [33] ASTM-D-5034: Resistencia a la tracción y elongación de tejidos textiles ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).
- [34] AATCC-61: Solidez del color al lavado doméstico ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).
- [35] AATCC-8: Solidez del color al frote ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).
- [36] AATCC-16: Solidez del color a la luz ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).
- [37] AATCC-107: Solidez del color al agua ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).
- [38] AATCC-15: Solidez del color al sudor ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).
- [39] ASTM-D-3512: Resistencia a la formación de pilling ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).
- [40] ASTM-D-3776: Determinación del peso del tejido ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).
- [41] AATCC-81: Determinación del pH del extracto acuoso de los textiles ([www.aatcc.org](http://www.aatcc.org)).

# Diseño de placa aislante estructural en losas tipo vigueta y bovedilla a través desing thinking

Rogelio Puebla Márquez

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Manuel Iván Rodríguez Borbón

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Soledad Vianey Torres Arguelles

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Salvador Noriega Morales

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

---

**Resumen:** En este documento se presenta el diseño de un producto aislante para viviendas nuevas utilizado en losas de azotea y construidas a base de vigueta pretensada y bovedilla a través de la metodología *desing thinking*, con el propósito de cumplir con los lineamientos marcados por la norma estructural NMX-C-406-ONNCCE-2004, el método de prueba ACI 318 y la norma térmica NMX-C-460-ONNCCE-2009, ya que actualmente el sistema utilizado de vigueta y bovedilla no cumple con el valor mínimo de resistencia térmica de  $1.4 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , por lo que se complementa con materiales aislantes posterior a su instalación en la parte superior o inferior, haciendo esto que se incremente el costo y que la vida útil del aislamiento sea menor. El desarrollo con esta metodología busca diseñar y reducir las variables hasta encontrar un producto que cumpla con las funciones principales en la parte mecánica y térmica y que se utilice para cualquier tipo de losa conformada por vigueta pretensada y bovedilla (esta última puede ser prefabricada de concreto, arcilla o bien de espuma de poliestireno expandido), a través de colocar dicha tecnología como parte intrínseca en la losa, permitiendo el anclaje mecánico formando la cuña en la vigueta prefabricada y conectando el firme como un elemento monolítico, sin dejar atrás el cumplimiento de la norma térmica (aislamiento).

**Palabras clave:** Eficiencia energética, aislamiento de vivienda, losas prefabricadas, vigueta y bovedilla, design thinking.

---

## 1. Introducción

Hoy en día, la construcción es un sector donde existen pocas innovaciones a comparación con otros sectores, ya que este sector se encuentra poco explorado en la utilización de herramientas o metodologías para el diseño o mejora de nuevos productos, si bien en los últimos años existen mejoras y tecnologías emergentes de nuevos materiales para la construcción, es de considerar a este sector aplicar las técnicas y metodologías para el desarrollo de productos que ya se utilizan en otros sectores.

En este desarrollo se pretende diseñar un producto aislante para ser utilizado en las nuevas edificaciones de

vivienda que utilizan el sistema constructivo de vigueta pretensada y bovedilla como losa; utilizando la metodología *desing thinking*, de acuerdo a las etapas que esta propone: Enfatizar, Definir, Idear, Prototipar y Evaluar.

Para enfatizar y entender la necesidad hay que analizar el contexto donde se pretende diseñar dicha tecnología con esta metodología, para esto es necesario conocer los requerimientos emergentes del gobierno federal de la República Mexicana, donde éste solicitó al Banco Mundial apoyo para generar proyectos con el propósito de reducir el impacto ambiental, a través de los fondos internacionales de Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA), que son mecanismos de mercados

emergentes que permiten a las economías en desarrollo alinear su desarrollo sustentable con sus prioridades estratégicas y económicas nacionales, las fuentes de financiamientos de inversión privada, el mismo gobierno, bonos de carbono, para el desarrollo de viviendas, monitoreo y reporte de inversiones e hipotecas privadas, préstamo de mayor tamaño de condiciones favorables para los componentes de ahorro energético, las cuales hoy en día son apoyadas por el gobierno Alemán en conjunto publicado en la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) en México.

En las reglas de construcción de la CONAVI se detallan varios criterios para la priorización de otorgamientos de financiamientos por parte del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), donde se evalúa el cumplimiento con la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 [1], que exige un nivel de resistencia térmica mínimo de  $1.4 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  en techos para cada zona de la república mexicana.

Para demostrar que esta tecnología (tipo placa aislante) es funcional es necesario primeramente diseñar la parte mecánica (estructuralmente) del sistema constructivo a base de vigueta y bovedilla, tomando como referencia NMX-C-406-ONNCCE-2004 [2], así como el ACI 318 [3] como método de prueba de carga y posteriormente determinar si este sistema cumple con la NMX-C460-ONNCCE-2009 [1] para el valor de resistencia mínimo permisible.

Tomando en cuenta las propiedades térmicas del material aislante, que se toma como referencia el certificado emitido por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), en cumplimiento con la norma NOM-018-ENER-2011 [4] (Aislantes Térmicos para Edificaciones. Características, Límites y Métodos de Prueba) a través de un laboratorio certificado ante Entidad Mexicana de Acreditamiento (EMA).

## 2. Problemática

Durante los últimos años el uso de recursos no renovables para la generación de energía se consume principalmente en los sectores de transporte, industrial, comercial y residencial según Sistema de Información Energética, SENER en México.

Esto ha derivado acciones intergubernamentales, de empresas privadas y de la sociedad misma, que ha derivado una conciencia del uso eficiente de los recursos y por otra parte a desarrollar nuevas tecnologías para optimizar el uso de una manera eficaz. En México tan solo

en el 2015, el uso de energía por sector se concluyó de la siguiente manera:

- Transporte con un 46%.
- Industrial 31%.
- Residencial 15%.
- Y el resto en el sector comercial, agropecuario y público.

El consumo de energía residencial se debe principalmente al uso de sistemas de enfriamientos y calefactores, que representa aproximadamente un 43% del total [5], por lo que al no contar con un diseño eficiente, enfocado la optimización de los recursos, ocasiona el uso excesivo de éstos.

Es importante considerar desde el diseño de las nuevas edificaciones materiales eficientes en el consumo de energía a lo largo de la vida útil de la edificación [6,7].

El consumo de sistemas de enfriamiento es debido a los elementos que componen la envolvente de la edificación (Losas o techos, muros, ventanas y puertas), conforme se utilicen materiales eficientes en el tema de uso de energía se reducirá el consumo energético en las mismas [8]. La distribución de la transferencia de calor o energía en una vivienda se compone principalmente de acuerdo a la Figura 1.

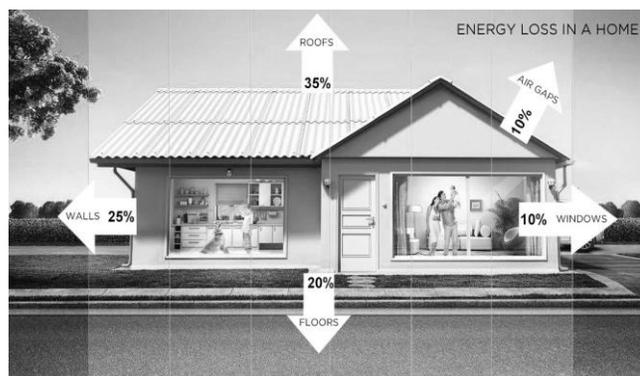


Figura 1. Pérdida de energía en una vivienda promedio. Losas o techos 35%, Muros 25%, Ventanas 10%, Pisos 20% y Puertas 10% [5,9,10].

La información estadística en la Figura 1 es variable de acuerdo a la zona (el Norte del país se compone diferente al Sur[8]), también a la estación del año (en invierno se incrementa la transferencia de energía en los muros [5]), además de la posición de la edificación con respecto a los puntos cardinales (mayor tiempo de exposición al sol o viceversa), pero a grandes rasgos se puede considerar esta distribución [8].

Tabla 2. Consumo energético anual simulado con software Ecotect sistema sin aislar, en zona de Cd. Juárez Chihuahua México

MONTHLY HEATING/COOLING LOADS			
All Visible Thermal Zones Comfort: Zonal Bands			
Max Heating: 3554 W at 06:00 on 3rd February Max Cooling: 4313 W at 14:00 on 15th June			
MONTH	HEATING (Wh)	COOLING (Wh)	TOTAL (Wh)
Jan	704635	0	704635
Feb	483613	3424	487036
Mar	354756	17700	372456
Apr	44482	303813	348295
May	0	954646	954646
Jun	0	1439361	1439361
Jul	0	1360401	1360401
Aug	0	1168078	1168078
Sep	0	827403	827403
Oct	22010	249142	271152
Nov	450801	9322	460123
Dec	864558	0	864558
<b>TOTAL</b>	<b>2924854</b>	<b>6333290</b>	<b>9258144</b>
PER M <sup>2</sup>	91763	198699	290462
Floor Area:	31.874 m <sup>2</sup>		

Tabla 3. Consumo energético anual simulado con software Ecotect aislado en toda su envolvente para una en zona de Cd. Juárez Chihuahua México

MONTHLY HEATING/COOLING LOADS			
All Visible Thermal Zones Comfort: Zonal Bands			
Max Heating: 1405 W at 06:00 on 3rd February Max Cooling: 2241 W at 13:00 on 3rd July			
MONTH	HEATING (Wh)	COOLING (Wh)	TOTAL (Wh)
Jan	180701	2311	183013
Feb	118681	28068	146749
Mar	65203	67798	133001
Apr	3322	365640	368961
May	0	707473	707473
Jun	0	894702	894702
Jul	0	863176	863176
Aug	0	777129	777129
Sep	0	647597	647597
Oct	122	336628	336751
Nov	96793	39927	136720
Dec	249166	3102	252267
<b>TOTAL</b>	<b>713988</b>	<b>4733550</b>	<b>5447538</b>
PER M <sup>2</sup>	22400	148509	170909
Floor Area:	31.874 m <sup>2</sup>		

El consumo de energía simulado por sistemas de enfriamiento y calefactores de una edificación 31.87 m<sup>2</sup> entre un sistema constructivo tradicional Tabla 2, contra uno aislado (muros y techos) Tabla 3, simulada en Software Ecotect para los climas de Cd. Juárez Chihuahua México obteniendo un 42% de ahorro [8].

Según los datos presentados por Insulating Concrete Form Association, el año 2009, se muestra una termografía donde se percibe la pérdida de energía, así como los consumos de gas promedio y la superficie de construcción de dos residencias típicas de Estados Unidos.



Home above shows heat loss throughout the exterior walls.  
Details:  
800 square foot ranch  
Exterior walls: Wood and typical insulation  
Average heat bill \$200/month



Home above shows no heat loss throughout the exterior walls.  
Details:  
3,500 square foot two story  
Exterior walls: Insulating concrete forms from Reward Wall Systems, Inc.  
Average heat bill \$80/month

Even though the homes above are located in the same climatic region, the Reward built home (on the right), which is more than 4x bigger than the wood framed home (on the left), spends 60% less on an average heating bill.

Figura 3. Termografía de vivienda de 800 pies<sup>2</sup> sin aislar muros y medianamente aislada en techos (izquierda) y vivienda de 3,500 pies<sup>2</sup> aislada completamente (derecha).

La Figura 3 muestra la vivienda 1 (izquierda), construida de madera con aislamiento típico, paga de servicio de gas promedio \$200.00 USD por mes con una superficie construida de 800 pies<sup>2</sup>, mientras la vivienda 2 (derecha), construida con sistema Insulated Concrete Forms, aislada en toda su envolvente paga \$80.00 USD por mes con una superficie construida de 3500 pies<sup>2</sup>.

En México es aún más representativo la transferencia de energía ya que los techos están construidos con elementos de alta conductividad térmica a base de cemento (losas de concreto sólido, vigueta y bovedilla de concreto o algunas veces de barro o de material de poliestireno expandido esta última) haciendo el mayor ahorro con respecto al sistema tradicional según se muestra en Tablas 2 y 3.

En este contexto, se decide desarrollar una tecnología con el propósito de aislar las losas y techos de las nuevas edificaciones. El sistema constructivo utilizado principalmente para los techos de las viviendas en México es el sistema de vigueta y bovedilla, el desarrollo consiste en no cambiar el sistema constructivo y bien adicionar el aislante térmico de manera intrínseca dentro de la losa utilizando las bovedillas que ya existen en el mercado agregando la capa aislante (tecnología propuesta).

### 3. Marco teórico

#### 3.1. Metodología

El *design thinking* es un concepto cuya metodología se ha venido implementando gradualmente en los últimos años en diferentes empresas como una forma de crear productos y servicios que tiendan a satisfacer en mejor manera las necesidades de los usuarios haciéndolos parte activa del proceso de creación.

Parte de la importancia y el protagonismo que ha empezado a tener en los últimos años están directamente relacionados con la innovación y la creatividad; aquello que permite a las empresas crear productos capaces de cambiar las reglas del mercado, y en la necesidad cada vez más evidente que tienen las organizaciones hoy en día de crear nuevos modelos y formas de entender los problemas a los que se enfrentan, no bajo la lupa de las formas tradicionales, sino de nuevos esquemas en tanto quieran diferenciarse y asumir un papel cada vez más destacado dentro del mercado y su entorno competitivo.

Sin embargo, a diferencia de lo que muchos pueden pensar, el *design thinking* como su nombre lo indica no es algo nuevo, pues es un concepto que va muy ligado a los diseñadores y a sus formas de solucionar problemas. No obstante, sabiendo que dependiendo de la industria e incluso la misma cultura de las organizaciones, hasta hace poco, aspectos como la innovación, la creatividad y el diseño se creían casi exclusivos de ciertas empresas, por tanto, se podría decir que el *design thinking* había estado relegado casi exclusivamente a estos negocios en los que dichos aspectos resultaban altamente críticos para su propia supervivencia.

Por el contrario, hoy en día el *design thinking* se ha vuelto un concepto que cada vez cobra mayor relevancia en el mundo de los negocios teniendo en cuenta que este va más allá de la creación de productos pudiéndose aplicar también a servicios o procesos y considerando también las evidentes necesidades que tienen las empresas de diferenciarse en mercados cada vez más competidos.

Así, este ha llegado a consolidarse como toda una filosofía principalmente bajo la figura de Tim Brown, un profesor de la escuela de ingeniería de la Universidad de Stanford y CEO de la consultora IDEO quien se ha convertido en uno de sus mayores exponentes desde 2008 cuando por primera vez apareció un artículo suyo en el Harvard Business Review en el que hablaba sobre el tema [11]. A partir de entonces se han logrado definir de forma más clara y precisa los principales aspectos a tener en cuenta dentro del *design thinking* así como el método que deben seguir las empresas para aplicarlo independientemente de la industria en la que se encuentren [14].

Para el proceso de la etapa de evaluación de la metodología se le conoce como *probe and learn* [12] de aquí se deriva que la metodología que se opta para el diseño de producto será la *design thinking* (pensamiento de diseño) que se basa en cinco pasos:

1. **Enfatizar en la necesidad:** Entender la problemática o lo que se desea mejorar (hacer empatía con el usuario final, constructor,

desarrollador de la vivienda y fabricante de la tecnología).

2. **Definir:** Definir claramente el problema (detectar cuáles son los factores críticos a buscar en la funcionabilidad técnica y comercial).
3. **Idear:** Desarrollo de propuestas o ideas (analizar propuestas de ideas, lluvia de ideas por un equipo multidisciplinario (usuarios, proveedores de materiales, constructores y desarrolladores de vivienda).
4. **Prototipado:** Realizar prototipos y probar hasta reducir la variabilidad de las funciones que va a desempeñar la tecnología.
5. **Evaluar:** Evaluación y mejora (evaluar resultados de prototipos comportamientos, usos, modelos y mejorar alguno de los pasos anteriores hasta encontrar la propuesta óptima).

### 3.2. Normativa

Para el caso de la parte mecánica se toma como referencia la NMX-C-406-ONNCCE-2004 [2] así como el método de prueba de acuerdo al American Concrete Institute's (ACI 318)[3], con el propósito de evaluar que la placa aislante estructural, no afecta o bien cumple dichas normas y métodos de pruebas. La norma NMX-C-406-ONNCCE-2014 [2], especifica que la vigueta debe de tener las cuñas de concreto que hacen la función mecánica de la vigueta y la capa de compresión o firme, donde debe de estar embebida la vigueta para este caso donde el concreto de diseño para el firme es de 200 Kg/cm<sup>2</sup>, y el espesor del mismo depende del claro o luz del muro según la referencia de la norma tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Espesores mínimos según claros de muros.

Espesor t (cm)	Claro L (m)
$t \leq 4$	$L \leq 5$
$t \leq 5$	$L \leq 6.5$
$t \geq 6$	$L \geq 6.5$

Dicha prueba se llevó a cabo conforme a lo que dictamina el ACI 318 [3], reglamento de las construcciones de concreto reforzado y comentarios. De acuerdo con esta norma, la carga total de la prueba no debe ser menor que:

$$C_p = 0.85 (1.7CV + 1.4CM) - \text{Carga presente}$$

Donde  $C_p$  = carga de prueba;  $CV$  = Carga viva;  $CM$  = Carga muerta. Donde se mide la deflexión máxima admisible:

$$D_f \text{ max} = L^2 / 20,000 (h)$$

Siendo  $L$  = la luz menor entre los apoyos y  $h$  = peralte de losa la cual se deja por 24 horas y se determina la deflexión máxima alcanzada con la carga de prueba y no debe exceder el valor calculado para  $D_f$  máx.

Las norma aplicable NMX-C-460-ONNCCE-2009 [1], especifica los valores de resistencia térmica para techos, muros y entresijos, según la zona o región donde se realiza la edificación, véase Tabla 2, donde el propósito es cumplir con el valor mínimo que es el requerido por INFONAVIT.

Tabla 5. Valores de resistencia térmica por zona según la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 [1]

Zona Térmica No.	Techos m² K / W (ft² h °F / BTU)			Muros m² K / W (ft² h °F / BTU)		
	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía
1	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)
2	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)
3A, 3B y 3C	1,40 (8,00)	2,30 (13,00)	2,80 (16,00)	1,00 (5,70)	1,23 (7,00)	1,80 (10,00)
4A, 4B y 4C	1,40 (8,00)	2,65 (15,00)	3,20 (18,00)	1,00 (5,70)	1,80 (10,00)	2,10 (12,00)

Que para el caso de diseño de estudio el valor mínimo para techos es de 1.4 m² K/W o su equivalente de 8 pie² h ° F / BTU en el sistema inglés. Para efectos de este diseño se toma como referencia los valores de convección y radiación en las constantes de conductancia superficial interna y externa representada por **hi** y **he** respectivamente.

Tabla 6. Valores de conductancias superficial interior y exterior según NOM-020-ENER-2011[13]

	Dirección del flujo de calor		
	hacia arriba	horizontal	hacia abajo
hi	9.4 W/m²K	8.1 W/m²K	6.6 W/m²K
he	13 W/m²K		

Resistencia Térmica para capas homogéneas:

$$R_{\text{equivalente}} = R_{si} + R(1) + R(2) + R(3) + \dots + R(n) + R_{se}$$

$$= \frac{1}{hi} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{he}$$

Donde  $\lambda$ , es la propiedad de conductividad térmica y “e” es el espesor de la capa del material.

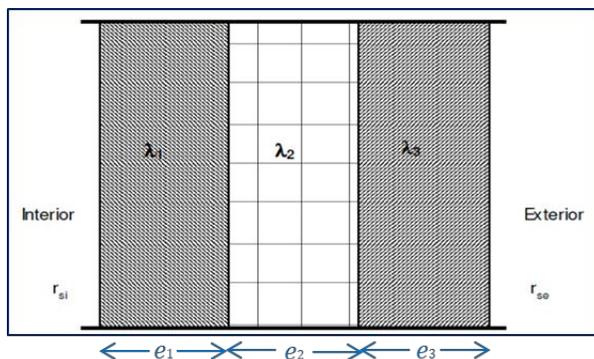


Figura 4. Diagrama de capas homogéneas para cálculo de resistencia térmica.

Mientras que para el cálculo de la resistencia térmica no homogénea se representa de la siguiente manera según NMX-C-460-ONNCCE-2009 [1].

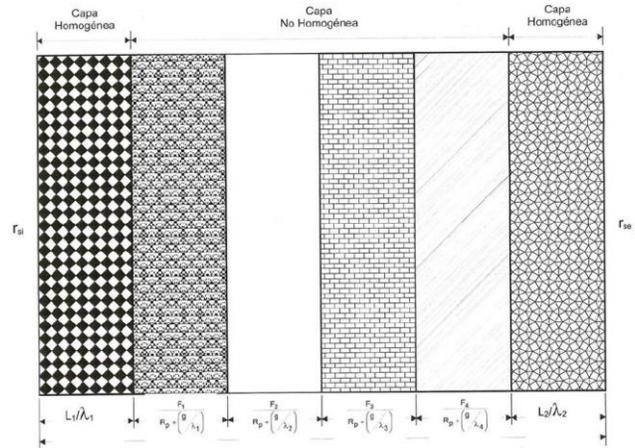


Figura 5. Diagrama de capas no homogéneas para cálculo de resistencia térmica.

Ecuación de la resistencia térmica para capas no homogéneas:

$$RT = \frac{1}{\frac{F1}{R1 + \frac{e}{\lambda_1}} + \frac{F2}{R2 + \frac{e}{\lambda_2}} + \frac{F3}{R3 + \frac{e}{\lambda_3}} + \dots + \frac{Fn}{Rn + \frac{e}{\lambda_n}}}$$

Donde el espesor “e” también se representa por la letra L, y está en función de la fracción (F) de superficie donde fluye la energía en % del total. Donde Rp es la resistencia total equivalente en serie, y “g” el espesor de la capa no homogénea sobre la conductividad térmica del material.

#### 4. Desarrollo

##### 4.1. Enfatizar la necesidad

Existe una variedad de sistemas constructivos para losas o azoteas para la edificación de vivienda, donde por entidad federativa predomina principalmente el sistema de vigueta de bovedilla.



Figura 6: Tipos de sistemas constructivos para losas utilizadas en la Zona Norte de México.

**Sistema de vigueta y bovedilla.** Esta tecnología se compone de tres elementos constructivos:

- vigueta, existen tres tipos: vigueta prefabricada pretensada, vigueta prefabricada de alma abierta y vigueta ahogada en el concreto de la losa.
- Bovedilla, existen tres tipos: de poliestireno expandido, prefabricada de concreto y de materiales cerámicos.
- Concreto premezclado como capa de compresión reforzada con acero cuadrangular quedando este último sobre la vigueta y la bovedilla.

Sin embargo este sistema no cumple con la NMX-C-460-ONNCCE-2009 [1] la cual requiere de que la bovedilla sea única y exclusivamente de poliestireno expandido y cubrir con una lengüeta la base de la vigueta para evitar el puente térmico y pueda cumplir con la especificación normativa, el costo aproximadamente por m<sup>2</sup> de este último sistema se encuentra en un rango de \$423.75 a \$468.35 pesos entre materiales y mano de obra (precios promedios en Cd. Juárez Chihuahua en el 2016). Dicha tecnología se requiere adicionar el aislamiento tal como se muestra en la Figura 7.

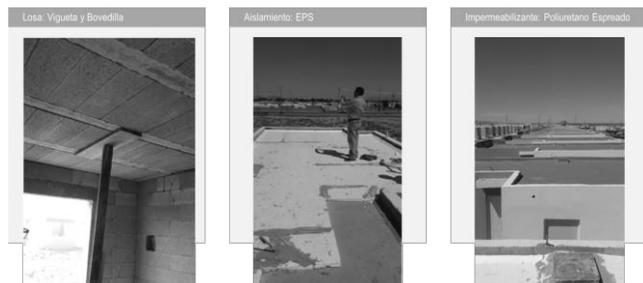


Figura 7. Sistema de vigueta pretensada y bovedilla prefabricada con aislamiento en la parte superior.

**Sistema constructivo de losa aislada continua.** En este sistema existen dos tecnologías de aislamiento continuo en losa.

- Sistema de aislamiento continuo con placa de poliestireno y poliuretano expreado que va sobre la losa sólida o aligerada y permite cumplir con las especificaciones de aislamiento requeridas en las normas de construcción.
- Sistema de casetón integral que consiste en aligerar la losa y evita que las nervaduras de concreto queden expuestas y puedan ocasionar el puente térmico ya que por debajo de estas nervaduras se encuentra una placa integrada al casetón que evita la pérdida de transferencia energética y elimina el puente térmico.

Este último es más utilizado en la región y ha ido creciendo en otros estados, sin embargo, ha tenido de cierta forma resistencia en el mercado por que cambia el sistema constructivo y no es muy atractivo económicamente. El precio por metro cuadrado de losa

térmica con este sistema se encuentra en un rango de \$464.84 a \$483.60 pesos.



Figura 8. Sistema de losa aislada de manera continua.

**Sistema de losa sólida.** Otra de las tecnologías para la construcción es el sistema tradicional de losa de concreto sólida utilizada principalmente en el centro y sur de la república, conocida como losa tradicional y que es construida con cimbra de madera de contacto al 100% y su armado cuadrangular compuesto de acero reforzado cuadrangular y concreto premezclado principalmente en resistencia la compresión de 200kg/cm<sup>2</sup>, colocado por medio de un sistema de bombeo.

Este sistema no cumple con la NMX-C-460-ONNCCE-2009 [1], es decir con la característica térmica requerida por la vivienda de interés social en niveles de aislamiento. Se puede complementar incluyendo material aislante en la parte exterior o inferior, pero se incrementan considerablemente los costos (superior a los \$520.00 pesos por m<sup>2</sup>).



Figura 9. Sistema de losa sólida de concreto.

**Sistema de losa aligerada.** Este sistema consta de dos elementos casetón de poliestireno expandido que es armado en cimbra de contacto al 100% y entre casetones lleva un armado de acero donde se hace la función al momento de suministrar el concreto premezclado de vigas cuadradas en ambos sentidos.

De igual forma que el sistema de losa maciza no cumple con la normativa de aislamiento continuo, porque requiere de sistemas de aislamiento adicionales para cumplir con los requerimientos de interés lo que reduce su competitividad en el mercado.



Figura 10. Sistema de losa aligerada con Poliestireno expandido.

#### 4.2. Definir claramente el problema

Como se mencionó anteriormente, existe una variedad de sistemas constructivos para losas o azoteas para la edificación de vivienda, donde se identifican los productos similares en el mercado que continuación se describen:

**Bovedilla prefabricada de calizas y cementantes.** Esta bovedilla generalmente utiliza agregados de caliza de tamaños de 5/16 a 3/8 de pulgada donde este se suministra a un proceso de mezclado donde se añade cemento tipo II con aditivos y agua para realizar su mezcla homogénea que debe ser en seco e introducida a un molde de compactación y vibración la cual permite que se forme la pieza prefabricada semihúmeda para posteriormente pasar a un área de curado (humedad controlada) para que pueda adquirir la resistencia a la compresión de diseño. Posteriormente esta se almacena en patios a la intemperie una vez fraguado el concreto y adquirida su resistencia de diseño y es trasladado a la obra en tarimas con 80 piezas (para este caso de estudio). Sus fortalezas implican mayor capacidad de resistencia a la compresión y flexión lo cual permite que la cimbra sea puntual (ahorro en la instalación) y la carga de las personas en el sistema es más segura al momento de suministro del concreto en sitio, lo cual reduce los costos de cimbra de contacto, sin embargo, por sí sola no cumple con la normativa de aislamiento, teniendo que añadir sistemas de aislamiento alternos.

**Bovedilla de poliestireno expandido.** Este producto está hecho de resina de petróleo la cual entra a un proceso de pre expansión donde la perla incrementa su tamaño y se almacena en silos para que pierda el pentano interno que dio el tamaño al tratar de salir de la perla. Una vez reposada en la perla, esta se manda a un proceso de moldeo donde se fusiona a través de aplicación de energía térmica (vapores) y hace que formen el volumen del bloque de dimensiones de 244 por 105 por 122 cm. Estos bloques de poliestireno pasan a las máquinas cortadoras y estas a través de un control programado van cortando la figura de la bovedilla para luego ser empaquetadas y entregadas en dimensiones de 61 por 122 por 13 cm de altura y se entregan en obra en empaques de 12 piezas por tarima. Su fortaleza radica en que es una bovedilla ligera

lo que facilita su instalación, sin embargo, por su ligereza pierde capacidad de resistencia a la compresión y flexión lo que la hace insegura al momento del colado de concreto en sitio y requiere mayor cimbra (costo adicional por cimbra). Sin embargo, ofrece mejor aislamiento térmico que una bovedilla prefabricada de concreto, pero aun así no cumple con la normativa de niveles de resistencia térmica mencionada anteriormente.

**Las bovedillas de arcilla.** Precocidas con huecos y estas también por si solas no cumplen con la normativa de aislamiento por lo que es necesario introducir elementos de aislamientos adicionales para cumplir con los niveles de ahorro energía que requiere la NMX-C-460-ONNCC-2009 [1], además que la huella de carbono al igual que las de poliestireno son elevadas.

#### 4.3. Idear las propuestas

La idea es desarrollar esta tecnología que puedas utilizar la bovedilla de la región reduciendo la huella de carbono de manera competitiva. Están descritas detalladamente en los dos puntos anteriores. Para cada una de las patentes descritas y cada una de la literatura recomendada se muestran fotografías de los sistemas de bovedillas de hormigón, concreto o poliestireno, lo cual da señal de que ya son usadas. Se reitera que en ninguno de los casos son iguales al sistema que se propone como objetivo de este proyecto.



Figura 11. Bovedilla prefabricada de concreto con placa.

La Figura 11 presenta la bovedilla prefabricada de concreto con placa en la parte superior al firme de concreto (costo elevado, vida útil del aislamiento se reduce considerablemente).

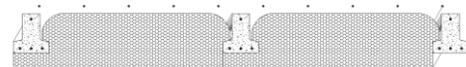


Figura 12. Bovedilla de poliestireno con lengüeta.

La Figura 12 muestra la bovedilla de poliestireno con lengüeta de poliestireno hasta 2 pulgadas por debajo de la viga (principal sistema utilizado con mayor utilización, sin embargo, el proceso constructivo hay que cimbrar al 100%, pudiendo mejorar esta parte al utilizar una combinación de sistema).

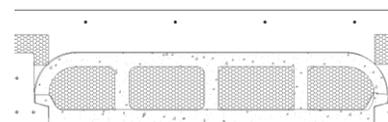


Figura 13. Bovedilla de barro.

La Figura 13 despliega la bovedilla de barro con aislamiento interno de poliestireno expandido, sin embargo por sí solo no cumple con las normativas.

#### 4.4. Prototipado

##### **Prototipo I. Placas cubriendo la vigueta y la bovedilla**

Se decide realizar un primer prototipo agregando una placa en la parte superior de la bovedilla prefabricada (de concreto) de tal manera que forma ensambla tal como se muestra en la Figura14, también se agrega la placa en la vigueta pretensada, para romper los puentes térmicos y lograr el aislamiento sin modificar ambos elementos constructivos (vigueta y bovedilla).

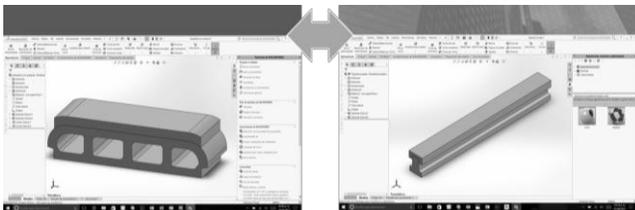


Figura 14. Primer prototipo.

##### **Prototipo II. Se modula a una sola pieza.**

Se decide modificar ambas placas en una sola dejando un pequeño orificio para que entre el concreto premezclado cuando se está instalado haciendo la función de cuña, esta placa se modula al tamaño estándar de la bovedilla, sin embargo, el equipo multidisciplinario detectó, que esto pudiera ser un problema ya que el poliestireno es ligero (baja densidad) por lo que su instalación se iba a complicar.

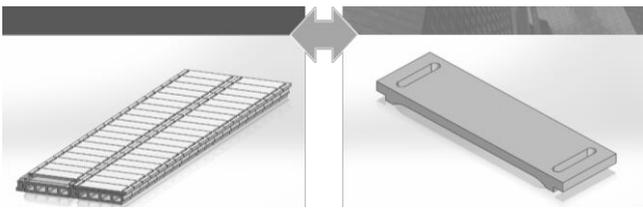


Figura 15. Segundo prototipo modulado por pieza con orificios para conectar el concreto del firme con la vigueta

##### **Prototipo III. Se modula a una pieza para seis con interconexiones.**

Se decide ampliar el diseño y hacerlo modulado para seis piezas con interconexiones para poder quebrar si es necesario, esto facilita la instalación y la modulación de la misma.

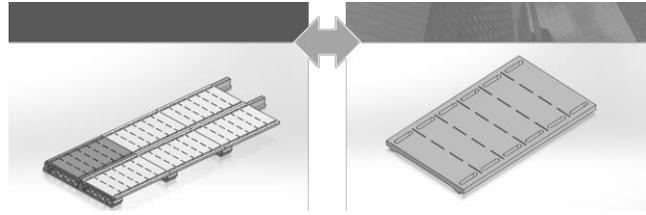


Figura 16. Prototipo III Modulable a Seis piezas y con interconexiones.

#### 4.5. Evaluar y mejorar

##### **Análisis mecánico de sistema de losa**

Se realiza primeramente una simulación mecánica con el propósito de evaluar las cargas sobre la losa tomando como referencia a la norma NMX-C-406-ONNCCE-2004 [2]

Aplicando cargas de 250 kg simulando las cargas vivas y el propio peso del sistema, para analizar el comportamiento en un claro máximo es de 4.5 metros, probado con el sistema de losa de vigueta y bovedilla prefabricada con su capa de compresión (firme) de 5 cm según Tabla 4.

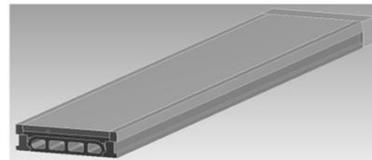


Figura 17. Componentes del sistema de losa a simular.

Los elementos que consideramos para dicha simulación son la bovedilla prefabricada de concreto de 13 cm de peralte con una densidad de 2300 kg/m<sup>3</sup>, la vigueta pretensada con una resistencia F'c 350 kg/cm<sup>2</sup>, con una densidad de 2350 kg/m<sup>3</sup> y la capa de compresión de concreto premezclado para una resistencia de diseño de F'c 200 Kg/cm<sup>2</sup> y con una densidad de 2200 kg/m<sup>3</sup>. Por último, la tecnología a diseñar con placa de poliestireno expandido (EPS) con una densidad de 12 kg/m<sup>3</sup>.

Se considera que los extremos están perfectamente encofrados, es decir conectados monolíticamente, tal como trabajaría en la vida real en la edificación de una vivienda, tal como se muestra en la Figura 18.

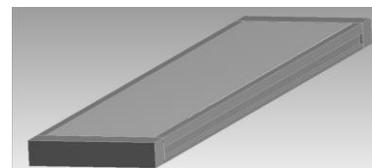
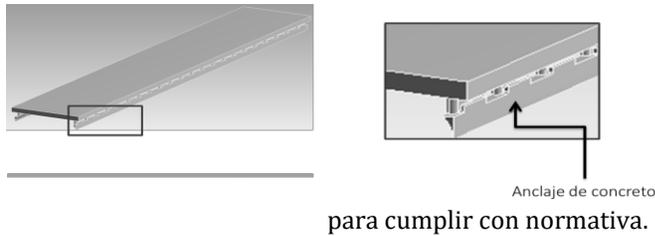


Figura 18. Extremos conectados monolíticamente.

También se asume que el concreto del firme (capa de compresión) está perfectamente conectado a través de

los orificios de la placa de poliestireno para realizar la función que solicita la NMC-406-ONNCCE-2004 [2], que debe quedar las cuñas para formar un solo elemento constructivo.



Se aplican las cargas antes mencionada por lo que dicho material cuenta con suficiente estabilidad y buena respuesta mecánica de acuerdo al análisis de elemento finito simulado.

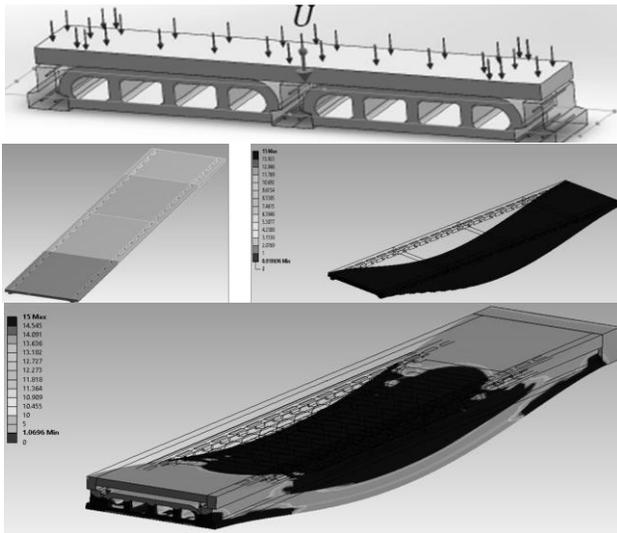


Figura 20. Respuesta mecánica de poliestireno expandido.

**Pruebas físicas de la losa a nivel prototipo**

Una vez validado dicho diseño, se procede a fabricar un prototipo para realizar la prueba a nivel escala. Si bien primero es necesario asegurar que se cumple con la parte mecánica, para validar que dicho sistema se va a comportar como lo previsto.

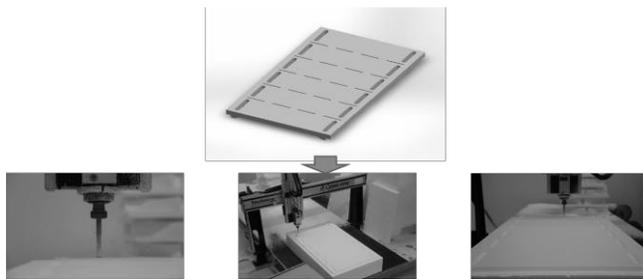


Figura 21. Prototipo de tecnología diseñada de poliestireno expandido.

Se realiza la primera prueba a escala a 1.20 m de claro de la vigueta para analizar comportamiento.



Figura 22. Prueba física del sistema vigueta y bovedilla con tecnología de placa aislante.

**Desarrollo (Probe and Learn). Prueba 1: Aprendizaje**

Los primeros resultados preliminares, no fueron de gran utilidad ya que fue una prueba visual para analizar comportamiento, si bien se visualiza que el concreto entro en los extremos no se sabe con certeza si cumple con la condición de la simulación por lo que encontramos lo siguiente:

**Resultados preliminares prototipo I**

- No se sabe con certeza cuanto concreto es el que entra
- Se modifica la tecnología de placa en los orificios 1 ¼” a 1 ½”.
- Se modifica espesor de la placa de poliestireno expandido de 1” a 1 ¼” para cumplir con el Valor de resistencia térmica requerido por la NMX-C-460-ONNCCE-2009[1].

Se diseña un cajón (cimbra) transparente para evaluar la cantidad de mezcla de concreto, omitiendo instalar la vigueta para que posteriormente visualizar si realmente entra por el orificio con las modificaciones antes mencionadas.

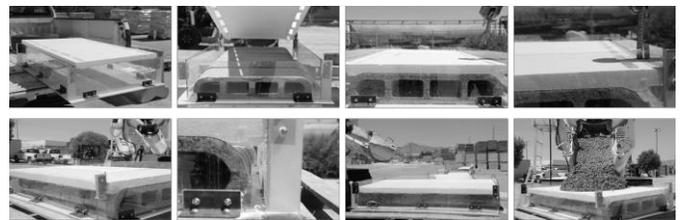


Figura 23. Cajón de material acrílico para lograr visualizar la mezcla de concreto interna.

**Prueba 2: Aprendizaje**

Se inicia a controlar el revenimiento del concreto premezclado (en un 10 cm) para tratar de hacerlo robusto el sistema (es decir buscar las peores condiciones de la mezcla del concreto muy duro), sin embargo, este tipo de concreto no sirve para esta aplicación es decir se requiere que la fluidez del concreto debe considerarse entre 12 cm a 14 cm de revenimiento (revenimiento unidad de medida de la mezcla para determinar el grado

de fluidez que tiene, entre mayor sea el revenimiento más fluido).



Figura 24. Prueba con el concreto seco (revenimiento 10 cm).

**Resultados preliminares prototipo II**

- El revenimiento es clave para especificar al utilizar esta tecnología.
- El tamaño del agregado (grava o piedra) debe ser máximo 1”.
- Se debe que incrementar el tamaño del orificio para que entre esta variable y hacer robusto el sistema.

**Prueba 3: Aprendizaje**

Se modifica la tecnología de placa en los orificios 1 ½” a 1 ¾”, ya que se visualiza que el tamaño de los agregados (grava o piedra) no era estándar, si bien las empresas que se dedican a fabricar concreto tienen controles estrictos donde su tamaño de agregado es de ¾” como máximo, se debe de diseñar el producto que sea lo suficientemente robusto por lo que se decide incrementar el orificio para que puedan introducirse hasta 1” de piedra sin ningún problema.

Se controla el revenimiento del concreto en un 12 cm, el tamaño de agregado hasta de 1” y se procede a realizar la prueba.



Figura 25. Prueba con las variables controladas revenimiento y tamaño del agregado del concreto.

Se espera a que solidifique el concreto (24 horas) y se visualiza que exista material (concreto en los extremos) sin embargo otra variable, que surge es el volumen de la vigueta, es decir con ese concreto ¿es suficiente para generar una cuña y ancle la vigueta?, por lo que se decide fabricar prototipos de vigueta, pero de material de poliestireno para simular el volumen dentro del cajón y poder determinar el porcentaje de entrada del concreto con el peso del sistema contra el de la simulación.

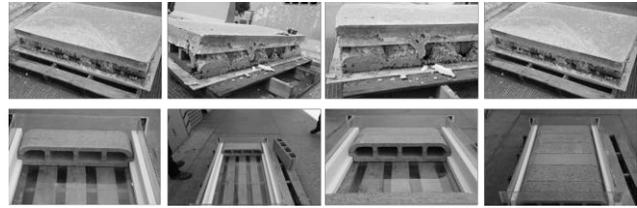


Figura 26. Prueba con el concreto solidificado (fotos superiores) y muestra de la siguiente prueba con la vigueta de prototipo de poliestireno expandido (fotos inferiores).

**Prueba 4: Aprendizaje**

Se realiza la prueba con las variables controladas, revenimiento, concreto (densidad 2280 Kg/m<sup>3</sup>), bovedilla prefabricada (19.5 kg por pieza promedio), volumen de la capa de compresión de 5 cm para determinar el peso del sistema contra el ideal (simulado).

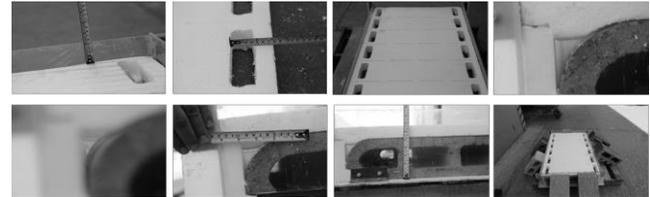


Figura 27. Variables controladas de dimensiones.



Figura 28. Colado del concreto sobre prueba.

Espera de solidificación del concreto (24 horas), y se descimbra para su pesaje.



Figura 29. Colado del concreto sobre prueba.

Los dibujos (solidos) con las densidades antes mencionadas indican que dicho sistema debería de pesar 227.37 kg (idealmente), considerando que todo el hueco

de las cuñas se llena completamente, sin embargo, los resultados arrojaron 235 kg (físicamente).

Se revisó las densidades de los materiales, y donde existió discrepancia fue en el volumen ya que la cimbra de plástico se abrió y genero un incremento de concreto tanto a lo largo como en lo ancho.

Además de visualizar que no fue la misma cantidad de concreto de un lado con respecto al anterior de manera visual, por lo que también influye el vibrado del concreto, que si bien por norma se describe como una acción a seguir no tiene un parámetro para determinar que tanto debe de ser vibrado (Figura 29).

Para obtener el diferencial de concreto que entra en las cuñas sobre la vigueta se realiza una prueba para determinar la cantidad de mezcla o material que se introduce de manera tradicional y con la placa aislante estructural, para comparar cuanto material deja de entrar con la placa aislante.



Figura 30. Comparativa de muestra de sistema tradicional (normal) vs con diseño de placa aislante estructural.

El vibrado es otra variable clave, al no existir algún parámetro establecido por norma, se decide estandarizar los segundos de vibración a lo largo de los orificios. Para evaluar si existen cambios significativos en el volumen de la pieza, además que se realiza una prueba del sistema de vigueta y bovedilla prefabricada tradicional para determinar el porcentaje de material que entra y que ya se tiene conocimiento que funciona en la práctica. Para comparar contra la tecnología propuesta.

## 5. Resultados

### 5.1. Resultados pruebas mecánicas

El peso del material sobre la cuña se determina con la diferencia de la capa de compresión y el peso de las bovedillas, por lo que se obtiene un peso de la cuña para el sistema tradicional de 5.18 Kg contra el peso de la cuña con el diseño de la placa aislante estructural que tiene un peso de 4.71 Kg, diferencial de 467gr que equivale al 90.2% del material que normalmente entra en cuña. Por lo que es necesario validar con la prueba de carga de acuerdo a la metodología ACI 318 [3], para analizar si estructuralmente es suficiente.



Figura 31. Comparativa de muestra de cuñas de anclaje del sistema tradicional normal (muestra de arriba) vs con diseño de placa aislante estructural (muestra de abajo).

Se realiza el método de prueba de acuerdo a ACI 318[3], por lo que se construye un cuarto de 4.5 m x 5.7 m, con el propósito de evaluar el claro de la vigueta en los 4.5 m.



Figura 32. Construcción de cuarto para prueba industrial mediante el ACI 318[3].

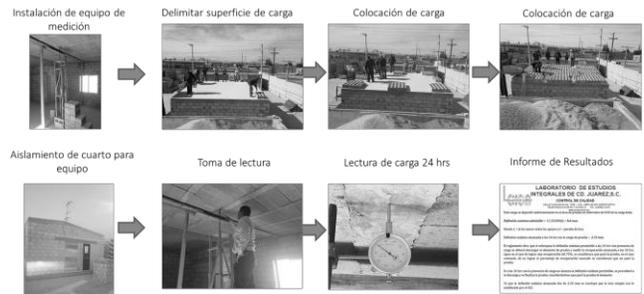


Figura 33. Procedimiento al método de prueba ACI 318[3].

Se aplican las cargas de acuerdo a lo establecido en el ACI 318[3].

$$C_p = 0.85 (1.7CV + 1.4CM) - \text{Carga presente}$$

Se determina una deflexión máxima permisible, con la carga para la prueba de 5238 kg. Obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 7. Resultados de prueba ACI 318.

ACI 318 $\Delta_1 \leq l^2 / 20.000 h$	Resultado a 24 hrs $\Delta_1$
$= (4.50 \text{ m})^2 / (20,000)(0.22 \text{ m}) = 0.0046 \text{ m}$	$\Delta_1 = (92) \times (0.001 \text{ pulg}) \times (25.4 \text{ mm/pulg})$
$= 4.6 \text{ mm}$	$\Delta_1 = 2.33 \text{ mm}$

1. Por lo tanto
2.  $\Delta_1 \leq l^2 / 20.000 h$

$2.33 \text{ mm} \leq 4.6 \text{ mm}$



**5.2. Resultados pruebas térmicas simuladas**

Se realiza una simulación en software bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura exterior: 40°C.
- Temperatura interior: 20°C.
- Conductividad térmica del concreto (firme, vigueta y bovedilla) : 1.75 W/mK.
- Conductividad térmica de la placa aislante Poliestireno expandido: 0.410 W/mK.

Obteniendo una diferencia en el flujo de energía de 6 W/m<sup>2</sup>, lo que significa un 12.5% menor el flujo con el sistema de placa aislante estructural.

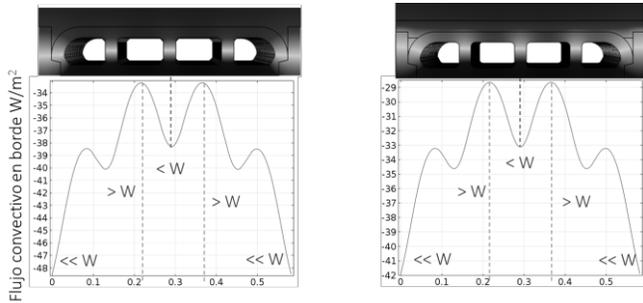


Figura 34. Respuesta simulada térmica sistema vigueta y bovedilla (sin aislamiento izquierda y con aislamiento derecha).

**5.3. Resultados pruebas térmicas método descriptivo (memoria de cálculo según NMX-C-460-ONNCE-2009[1])**

Se realiza la memoria de cálculo según NMX-C-460-ONNCE-2009[1]. Se definen los espesores de cada sección (transversal del sistema de losa vigueta y bovedilla).

Tabla 8. Espesores de cada sección.

COMPONENTES DE SISTEMA	SECCION 1 : BOVEDILLA	SECCION 2: VIGUETA	SECCION 3: CUÑAS
CONCRETO	5. cm	5. cm	5. cm
POLIESTIRENO EXPANDIDO	6. cm	6. cm	
CONCRETO	2.7 cm	13. cm	13. cm
AIRE ESTANCADO	7.60 cm		
CONCRETO	2.70 cm		6.00 cm
YESO	1. cm	1. cm	1. cm
TOTAL DE ESPESOR DEL SISTEMA	25. cm	25. cm	25. cm



Figura 35. Capas del sistema de losa térmica.

Tabla 9. Cálculo de fracción de área o superficie por sección.

COMPONENTES DE SISTEMA	SECCION 1 : BOVEDILLA	SECCION 2: VIGUETA	SECCION 3: CUÑAS
AREA TOTAL POR SECCION	.699 m2	.059 m2	.081 m2
% FRACCION POR SECCION	83.33%	7.03%	9.63%



Figura 36. Secciones transversales de sistema de losa térmica.

Tabla 10. Propiedades de conductividad térmica de materiales.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DEL SISTEMA			
Materiales	Densidad (kg/m³)	Conductividad Térmica - λ <sub>t</sub> (W/m.K)	Referencia
Concreto	2400	1.7400	NCM-020-ENER-2011
Poliestireno Expandido	12	0.0410	SMS-A-017-007-16
Yeso	800	0.3720	NMX-C-460-ONNCE-2009
Mortero	2000	0.6300	NMX-C-460-ONNCE-2009 Aclaracion DOF
Aire estancado	1.23	0.4116	ISO6946 (en DIT Isoblock)

Tabla 11. Calculo de resistencia térmica por sección (Resistencia equivalente).

SECCION 1: BOVEDILLA	
R = e / λ	
CONCRETO	0.0287
POLIESTIRENO EXPANDIDO	1.4634
CONCRETO	0.0155
AIRE ESTANCADO	0.1846
CONCRETO	0.0155
YESO	0.0269
H <sub>i</sub>	0.1515
H <sub>e</sub>	0.0769
Resistencia Térmica Sección 1 :	1.9631 W / m²·K
SECCION 2: VIGUETA	
R = e / λ	
CONCRETO	0.0287
POLIESTIRENO EXPANDIDO	1.4634
CONCRETO	0.0747
AIRE ESTANCADO	0.0000
CONCRETO	0.0000
YESO	0.0269
H <sub>i</sub>	0.1515
H <sub>e</sub>	0.0769
Resistencia Térmica Sección 2 :	1.8222 W / m²·K
SECCION 3: CUÑAS	
R = e / λ	
CONCRETO	0.0287
POLIESTIRENO EXPANDIDO	0.0000
CONCRETO	0.0747
AIRE ESTANCADO	0.0000
CONCRETO	0.0345
YESO	0.0269
H <sub>i</sub>	0.1515
H <sub>e</sub>	0.0769
Resistencia Térmica Sección 3 :	0.3933 W / m²·K

Se calcula la resistencia térmica equivalente del sistema considerando la fracción de área para capas no homogéneas de acuerdo a la siguiente ecuación según NMX-C-460-ONNCCE-2009 [1].

$$RT = \frac{1}{\frac{F1}{R1 + \frac{e}{\lambda1}} + \frac{F2}{R2 + \frac{e}{\lambda2}} + \frac{F3}{R3 + \frac{e}{\lambda3}} + \dots + \frac{Fn}{Rn + \frac{e}{\lambda n}}}$$

Tabla 12. Calculo de resistencia térmica total para el sistema vigueta y bovedilla con placa aislante estructural (tecnología diseñada).

SECCION	1	2	3	4
FRACCION DE AREA	83.33%	7.03%	9.63%	0.00%
Resistencia térmica por sección:				
% F / Re	0.424	0.039	0.245	0.000
Conductancia térmica o Valor U (1/Re) =	0.7081 W / m²·K	0.1247 BTU / pie²·hr·F		
	1.4123 W / m²·K	8.0219 pie²·hr·F/BTU		
	1.4000 W / m²·K	7.9660 pie²·hr·F/BTU		
	2.6500 W / m²·K	15.0785 pie²·hr·F/BTU		
	3.2000 W / m²·K	18.2080 pie²·hr·F/BTU		
Cumple Mínimo :	Si cumple			
Cumple Habitabilidad :	No Cumple			
Cumple Ahorro de Energía:	No Cumple			

Nota: Para la Zona 1: Juárez Chihuahua

Por lo tanto si cumple con la resistencia térmica para el valor de resistencia térmica mínimo requerido para las edificaciones en México con respecto a la Tabla 2, de la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 [1].

## 6. Conclusión

De acuerdo con los datos obtenidos, se determina que la placa aislante estructural diseño propuesto cumple con

los lineamientos de la normas NMX-C-406-ONNCCE-2004 [2] y NMX-C-460-ONNCCE-2009 [1], por lo que es factible técnicamente para su uso en las nuevas edificaciones que son construidas con el sistema de vigueta pretensada y bovedilla esta última puede ser aplicada para cualquier tipo material que es una de las ventajas ya que no en todas las localidades existen bovedillas de algún material que cumpla con la parte térmica. Es necesario analizar la viabilidad comercial para las diferentes zonas o regiones de México para el lanzamiento de dicho producto a nivel nacional.

Por otro lado, la metodología de *desing thinking*, es buena para iniciar el proceso de diseño de un producto, generando conocimiento de manera básica y encaminar a determinar las variables críticas conforme se evalúa los diferentes diseños y ajustes que se dan durante el desarrollo del producto, con la prueba y aprendizaje de cada etapa. Si bien participó personal experto de cada proceso, es necesario estandarizar el método de tal manera de reducir los tiempos y costos de las pruebas, además de definir claramente las variables de entrada y salida para este proceso para hacer más eficiente el proceso de diseño de producto. Si bien existen otras metodologías de diseño ya aprobadas y bien definidas como estándares, sin embargo, es una buena metodología para promover en las personas que participan la generación de conocimiento e incrementar la capacidad de diseño conforme se va utilizando dicha metodología (estandarizar las variables criticas) para optimizar el proceso y los resultados. Existen muchas metodologías y herramientas de diseño aún no implementadas en el sector de la construcción que pueden ser utilizadas para mejorar los diseños y desarrollar nuevos materiales para la construcción, por lo que sería interesante aplicarlas en las edificaciones y por lo tanto mejorar la calidad de vida de las personas que habitan dichas edificaciones. Actualmente se encuentra en proceso de patente dicha tecnología.

## 7. Referencias

- [1] Onncce S. C., “NMX-460-ONNCCE-2009- Industria de la Construcción - Aislamiento Térmico - Valor ‘r’ para las Envoltentes de Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana - Especificaciones y Verificación”, pp. 32, 2009.
- [2] Onncce S. C., “NMX-C-406-ONNCCE-2014-Industria de la Construcción - Componentes para Sistemas de Losas Prefabricadas de Concreto - Especificaciones y Métodos de Ensayo”. Onncce, S. C., pp. 37, 2014.
- [3] ACI committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 315-05) and Commentary (318r-05)”, vol. 2003, pp. 430, 2005.

- [4] Secretaría de energía, "NOM-018-ENER-2011, Aislantes Térmicos para Edificaciones. Características y Métodos de Prueba", vol. 50, pp. 23-59, 2011.
- [5] Kim, J., & Moon, J.W., "Impact of Insulation on Building Energy Consumption", *Build. Simul.* 2009, pp. 674-680, 2009.
- [6] Anderson, J., "Materials, products and carbon," vol. 3, no. 3, pp. 1-13, 2011.
- [7] Millán, A.L.N.M.I., & Aumente, P.A.R. "Investigación e impacto ambiental de los edificios. La Energía," *Inf. la Construcción*, vol. 57, no. Figura 1, pp. 47-61, 2005.
- [8] Lucero-Álvarez, J., Rodríguez-Muñoz, N.A., & Martín-Domínguez, I.R., "The Effects of Roof and Wall Insulation on the Energy Costs of Low Income Housing in Mexico", *Sustain*, vol. 8(7), pp. 1-19, 2016.
- [9] Ürge-Vorsatz, D. et al., "Energy End-Use: Buildings," *Glob. Energy Assess. Towar. a Sustain. Futur.*, pp. 649-760, 2012.
- [10] I. Statistics, "What's New in How We Use Energy at Home: Results from EIA's 2015 Residential Energy Consumption Survey (RECS)", no. May, 2009.
- [11] T. Brown, T., Wyatt, J., Brown, B.T., & Wyatt, J. "Design Thinking for Social Innovation", *Stanford Soc. Innov. Rev.*, vol. 8(1), pp. 31-35, 2010.
- [12] Lynn, Stevens (Institute of Technology - School of Business), "Marketing and Discontinuous Innovation: The Probe and Learn Process".
- [13] Secretaría de energía, "Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia Energética en Edificaciones - Envoltante de Edificios para Uso Habitacional", vol. 50, pp. 23-59, 2011.
- [14] <http://bienpensado.com/que-es-el-design-thinking/>

EN BÚSQUEDA DE LA OPTIMIZACIÓN: HERRAMIENTAS Y MÉTODOS  
Director de obra: Dr. Iván Juan Carlos Pérez Olguín

Se terminó de imprimir el 01 de febrero de 2018  
Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez  
Avenida Universidad Tecnológica # 3051  
Colonia Lote Bravo II, C.P. 32695  
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

El tiraje fue de 300 ejemplares



# EN BÚSQUEDA DE LA OPTIMIZACIÓN

HERRAMIENTAS Y MÉTODOS