

# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS  
SOCIALES Y ADMINISTRATIVAS

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

## **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REDUCCIÓN DE DESPERDICIOS EN LA EMPRESA “US TECHNOLOGIES”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
INDUSTRIAL**

P R E S E N T A:

**ERNESTO ALONSO ALVARADO AGUILAR**

DIRECTOR:

**M. EN C. MARIO AGUILAR FERNÁNDEZ**

MÉXICO, D. F.

2011





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 17:00 horas del día 28 del mes de JULIO del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de UPIICSA para examinar la tesis titulada:

“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REDUCCIÓN DE DESPERDICIOS EN LA EMPRESA “US TECHNOLOGIES”

Presentada por el alumno:

ALVARADO  
Apellido paterno

AGUILAR  
Apellido materno

ERNESTO ALONSO  
Nombre(s)

Con registro: 

B	0	9	1	3	0	2
---	---	---	---	---	---	---

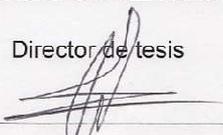
aspirante de:

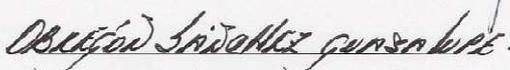
MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

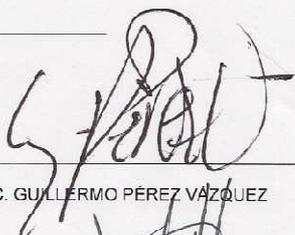
Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

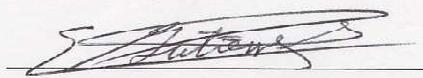
### LA COMISIÓN REVISORA

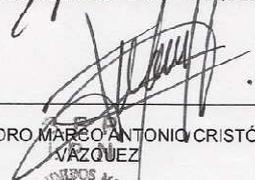
Director de tesis

  
M. en C. MARIO AGUILAR FERNÁNDEZ

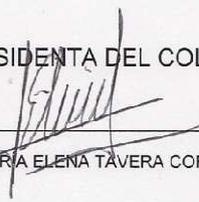
  
M. en C. MARÍA GUADALUPE OBREGÓN SÁNCHEZ

  
M. en C. GUILLERMO PÉREZ VÁZQUEZ

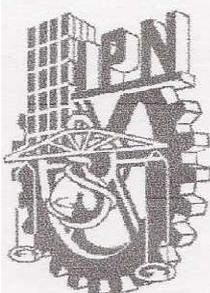
  
DR. EDUARDO GUTIÉRREZ GONZÁLEZ

  
M. en C. ISIDRO MARCO ANTONIO CRISTÓBAL VÁZQUEZ

### LA PRESIDENTA DEL COLEGIO

  
DRA. MARÍA ELENA TAVERA CORTÉS

  
U. P. I. I. C. S. A  
SECCIÓN DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E  
INVESTIGACIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

***CARTA CESIÓN DE DERECHOS***

En la Ciudad de México, D.F. el día **9** de Agosto del año 2011, el que suscribe **Ernesto Alonso Alvarado Aguilar** alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Industrial, con número de registro B091302, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la UPIICSA-IPN, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del M. en C. Mario Aguilar Fernández y cede los derechos del trabajo titulado **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REDUCCIÓN DE DESPERDICIOS EN LA EMPRESA "US TECHNOLOGIES"**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: **e\_alonso022@hotmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

---

**Ernesto Alonso Alvarado Aguilar**

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***A Dios***

Por permitirme vivir y disfrutar cada maravilloso día para poder concluir esta etapa importante en mi vida.

### ***A mi esposa***

Por motivarme día a día para alcanzar una meta más y compartir juntos esta etapa.

### ***A mi hermana y hermano***

Por apoyarme y que este logro sea una motivación extra en su vida.

### ***A mi director de tesis***

Por guiarme en el camino de la investigación y en la realización de esta tesis.

### ***A mi hija Daniela***

Por convertirse en mi motivación e inspiración para alcanzar una meta más en mi vida y enseñarme que ser padre es la profesión más difícil y se va aprendiendo todos los días.

### ***A mis padres***

Porque siempre han creído en mí y han sabido impulsarme y guiarme en alcanzar una meta más. Gracias por haber motivado en mí el deseo de superación y anhelo de triunfo y enseñarme que todo se puede lograr. A ti papá, por mostrarme la pasión y entrega en la investigación y a ti mamá por ser mi consejera y amiga.

### ***A mis profesores***

Por enseñarme y compartir sus experiencias y cátedras semana tras semana.

### ***A la empresa US Technologies***

Por abrirme las puertas y permitirme realizar esta investigación.

## CONTENIDO

	<b>CONTENIDO</b>	<b>1</b>
	<b>FIGURAS Y TABLAS</b>	<b>5</b>
	<b>RESUMEN</b>	<b>7</b>
	<b>ABSTRACT</b>	<b>8</b>
	<b>PREFACIO</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Contexto</b>	<b>12</b>
	<b>1.1.1 Situación actual en México</b>	<b>12</b>
	<b>1.1.2 La reducción de desperdicios en las empresas mexicanas</b>	<b>14</b>
	<b>1.1.3 La reducción de desperdicios en el sector industrial químico</b>	<b>16</b>
	Clases de actividades destinadas a la investigación	17
	Problemáticas ambientales en la industria química	17
	<b>1.1.4 Descripción general de la empresa en estudio</b>	<b>20</b>
	Capacidad de almacenamiento	22
	Áreas productivas	22
	Clientes	24
	<b>1.1.5 Descripción de la problemática</b>	<b>26</b>
	Análisis de las etapas del proceso	29
<b>1.2</b>	<b>Revisión de literatura e investigaciones previas</b>	<b>38</b>
	<b>1.2.1 Antecedentes teóricos de la reducción de desperdicios</b>	<b>41</b>
	<b>1.2.2 Conceptos de desperdicios</b>	<b>43</b>
	Desde el punto de vista de la producción	43
	Desde el punto de vista ambiental	44
	<b>1.2.3 Métodos para la reducción de desperdicios</b>	<b>46</b>
	<b>1.2.4 La simulación como herramienta de validación</b>	<b>50</b>
<b>1.3</b>	<b>Avances de la presente Investigación</b>	<b>52</b>
	<b>1.3.1 Pregunta de investigación</b>	<b>53</b>
	<b>1.3.2 Hipótesis</b>	<b>53</b>
	<b>1.3.3 Objetivo de la investigación</b>	<b>53</b>

<b>2</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>54</b>
<b>2.1</b>	<b>Reducción o minimización de desperdicios</b>	<b>54</b>
<b>2.2</b>	<b>Ventajas de la reducción de desperdicio</b>	<b>55</b>
<b>2.3</b>	<b>Metodologías para la reducción de desperdicios</b>	<b>57</b>
	1. Crittenden & Kolaczkowski	57
	2. Metodología de la agencia del medio ambiente	59
	3. Reyes, Sharratt y Arizmendi	62
	4. Halim y Srinivasan	65
	5. Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee	65
	6. Departamento de protección ambiental de la Florida	66
<b>2.4</b>	<b>Herramientas para la reducción de desperdicios</b>	<b>67</b>
	<b>2.4.1 Diseño de procesos</b>	
	Process integration	68
	GreenPro	68
	Cleaner production	69
	Hierarchical decision	69
	Pinch Analysis	70
	<b>2.4.2 Operativas</b>	
	Onion diagram	70
	Flowsheet integration	71
	ENVOP y ENVOPexpert	71
	<b>2.4.3 Administrativas</b>	
	Environmental Management Systems (EMS)	72
	Lean manufacturing	73
	ISO 9000	76
	ISO 14000	77
	Environment Agency approach	77
	<b>2.4.4 Evaluación de impacto</b>	
	WAR algorithm	78
	Material flow accounting (MFA)	79
	Cost-benefit analysis	80
	Risk assessments	80

2.5	<b>Evaluación de metodologías</b>	<b>81</b>
2.6	<b>Áreas de oportunidad generadas de la evaluación</b>	<b>84</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>85</b>
3.1	<b>Breve reseña de los capítulos anteriores</b>	<b>85</b>
3.2	<b>Esquema general de la propuesta</b>	<b>87</b>
3.3	<b>Esquema detallado de la propuesta</b>	<b>89</b>
	<b>I Planeación</b>	<b>89</b>
	1. Compromiso en todos los niveles	<b>90</b>
	2. Definir estrategia de reducción de desperdicios	<b>91</b>
	3. Establecer metas, objetivos y presupuesto	<b>92</b>
	4. Crear equipo de proyecto	<b>93</b>
	<b>II Análisis</b>	<b>95</b>
	5. Seleccionar el proceso	<b>95</b>
	6. Se tiene información del proceso	<b>96</b>
	<b>III Evaluación</b>	<b>97</b>
	7. Resultados del análisis	<b>98</b>
	8. Seleccionar herramienta o metodología	<b>101</b>
	9. Implementar controles o estándares	<b>102</b>
	<b>IV Seguimiento</b>	<b>102</b>
	10. Dar seguimiento a la implementación de la herramienta o metodología seleccionada.	<b>103</b>
3.4	<b>Implicaciones – consideraciones para el funcionamiento de la propuesta</b>	<b>106</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	<b>108</b>
4.1	<b>Análisis interno</b>	<b>108</b>
	4.1.1 <b>Caso: empresa US Technologies (UST)</b>	<b>108</b>
	4.1.2 <b>Modelo de simulación – situación actual</b>	<b>110</b>
	4.1.3 <b>Modelo de simulación – propuesta de mejora al modelo</b>	<b>112</b>
	4.1.4 <b>Evaluación de ambos modelos de simulación</b>	<b>115</b>

<b>4.2</b>	<b>Análisis Externo</b>	<b>116</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Casos reales</b>	<b>116</b>
	Caso 1. Empresa de limpieza del alcohol	<b>116</b>
	Caso 2. Empresa generadora de formaldehídos	<b>117</b>
	Caso 3. Empresa transformadora de Hidrodesalquilación (HDA) de tolueno a benceno	<b>117</b>
	Caso 4. US Technologies, fabricante de productos de limpieza del hogar	<b>117</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Comparación de casos</b>	<b>118</b>
<b>4.3</b>	<b>Conclusiones y aportaciones a la investigación</b>	<b>120</b>
<b>4.4</b>	<b>Futuras investigaciones</b>	<b>121</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>123</b>

## FIGURAS

<b>1</b>	Ubicación de la empresa US Technologies	<b>20</b>
<b>2</b>	Organigrama de la empresa US Technologies	<b>21</b>
<b>3</b>	Plano de las instalaciones US Technologies	<b>21</b>
<b>4</b>	Productos comerciales	<b>24</b>
<b>5</b>	Proceso de solicitud y entrega de productos – Diagrama interdisciplinario de proceso	<b>25</b>
<b>6</b>	Derrame de producto líquido	<b>27</b>
<b>7</b>	Producto con caducidad vencida	<b>27</b>
<b>8</b>	Desperdicios generados en el área 5 en Uno en los meses de Febrero y Marzo 201	<b>28</b>
<b>9</b>	Etapas del área 5 en Uno	<b>28</b>
<b>10</b>	Mapa de proceso del Área 5 en Uno	<b>29</b>
<b>11</b>	Resultados de Análisis Estadístico de Tiempos de ciclo en la preparación del producto.	<b>30</b>
<b>12</b>	Tiempos de ciclo en la Reparación del producto	<b>31</b>
<b>13</b>	Producción del Área 5 en Uno, durante Febrero y Marzo	<b>32</b>
<b>14</b>	Resultados de tiempos de armado de tarimas en L1	<b>32</b>
<b>15</b>	Resultados de tiempos de armado de tarimas en L2	<b>33</b>
<b>16</b>	Resultados de fallas frecuentes en maquinas llenadoras de Enero-Abril	<b>36</b>
<b>17</b>	Resultados de fallas frecuentes en maquinas llenadoras Línea 1	<b>36</b>
<b>18</b>	Resultados de fallas frecuentes en maquinas llenadoras Línea 2	<b>37</b>
<b>19</b>	Generación de desperdicios en la empresa	<b>44</b>
<b>20</b>	Jerarquía estratégica para la administración del desperdicio y la contaminación	<b>48</b>
<b>21</b>	Herramientas para la minimización de los desperdicios	<b>49</b>
<b>22</b>	Pasos para la metodología de reducción o minimización de desperdicios	<b>58</b>
<b>23</b>	Revisión de los pasos sugeridos por la principal metodología para minimizar los desperdicios	<b>60</b>
<b>24</b>	Estructura general de la metodología propuesta	<b>63</b>
<b>25</b>	Cinco clases principales para el conocimiento del proceso	<b>64</b>

<b>26</b>	Esquema de un diagrama de flujo	<b>71</b>
<b>27</b>	El camino de la maduración Lean	<b>75</b>
<b>28</b>	Esquema general de la Metodología de Reducción de Desperdicios basada en la Planeación, el Análisis, la Evaluación y el Seguimiento (MRD – PAES)	<b>88</b>
<b>29</b>	Pasos que integran la Planeación en la MRD-PAES	<b>90</b>
<b>30</b>	Pasos que integran el Análisis en la MRD-PAES	<b>95</b>
<b>31</b>	Pasos que integran la Evaluación en la MRD-PAES	<b>98</b>
<b>32</b>	Pasos que integran el Seguimiento en la MRD-PAES	<b>103</b>
<b>33</b>	Diagrama de Bloques del área 5 en Uno	<b>109</b>
<b>34</b>	Modelo de simulación de la situación actual de la empresa UST	<b>111</b>
<b>35</b>	Diagrama de Bloques Propuesto del área 5 en Uno	<b>113</b>
<b>36</b>	Modelo de simulación propuesto para la empresa UST	<b>114</b>

## **TABLAS**

<b>1</b>	Capacidad de almacenamiento	<b>22</b>
<b>2</b>	Resultados de órdenes de producción de Diciembre 2009 a Febrero 2010.	<b>26</b>
<b>3</b>	Reclamaciones y rechazos de clientes en UST	<b>26</b>
<b>4</b>	Datos Estándar para Armado de Tarima de Multiusos	<b>33</b>
<b>5</b>	Resultados de los tiempos ciclos para ambas líneas	<b>34</b>
<b>6</b>	Resultados de las tarimas estándar vs. real	<b>35</b>
<b>7</b>	Descripción de artículos sobre la reducción de desperdicios.	<b>38</b>
<b>8</b>	Jerarquía de las prácticas de administración de desperdicios	<b>55</b>
<b>9</b>	Herramientas y metodologías para pasos específicos en un plan de minimización de desperdicios	<b>67</b>
<b>10</b>	Evaluación de metodologías	<b>82</b>
<b>11</b>	Datos del proceso 5 en Uno, utilizados para la simulación	<b>110</b>
<b>12</b>	Evaluación de los modelos de simulación actual y propuesto en la empresa UST	<b>115</b>
<b>13</b>	Comparación de casos reales en empresas	<b>118</b>

## RESUMEN

Actualmente, el daño al medio ambiente es uno de los mayores problemas que las empresas están enfrentando. Con esto, se ha perdido competitividad y crecimiento en sus mercados. Ya que, la reducción de los desperdicios mejora los costos e incrementa la productividad. Por tal motivo, la realización de esta tesis, nace de la necesidad de la empresa US Technologies en minimizar los costos de las fuentes de procesamiento y generación de los desperdicios.

El objetivo de este trabajo de investigación, fue diseñar una metodología para la reducción de desperdicios, con base en la revisión teórica de los métodos y herramientas para la reducción de desperdicios, con el fin de minimizar los costos de las fuentes de procesamiento y generación de los desperdicios en la empresa US Technologies.

En el diseño de la propuesta se realizó una revisión teórica y una evaluación de las metodologías propuestas por Crittenden y Kolaczowski; Reyes, Sharratt y Arizmendi; Halim y Srinivasan; entre otras. Con la finalidad de integrar las características más relacionadas con la problemática de la empresa. Se le da el nombre de Metodología de Reducción de Desperdicios basada en la Planeación, el Análisis, la Evaluación y el Seguimiento (MRD-PAES) y se describen sus pasos.

Se evalúa la metodología MRD-PAES con la finalidad de demostrar que los resultados en su implementación serán satisfactorios. Se usa la simulación como una herramienta alternativa para la validación de la metodología propuesta. Se simula el proceso actual y se da una propuesta de mejora, dando como resultado una reducción en los desperdicios del 2.5% y un incremento de la productividad de hasta el 30% mejorando considerablemente los costos.

## **ABSTRACT**

At the moment, the environmental is one of the greater problems than the companies are facing. With this, there is lost competitiveness and growth in his markets. Since, the reduction of the wastes improves the costs and increases the productivity. By such reason, the accomplishment of this thesis is born for the necessity of the company U.S. Technologies in minimizes the costs of the processing sources and generation of the wastes.

The goal of this research, was designing a methodology for wastes reduction, with base in the theoretical revision of the methods and tools for the reduction of wastes, with the purpose of minimize the costs of the processing sources and generation of the wastes in the company U.S. Technologies.

In the design of the proposal, it was made a theoretical revision and an evaluation of the propose methodologies by Crittenden and Kolaczowski; Reyes, Sharratt and Arizmendi; Halim and Srinivasan; among others. With the purpose of integrating the characteristic more related to the problematic one of the company. The name of Methodology of Wastes Reduction is based on the Planning, the Analysis, the Evaluation and the Pursuit (MRD-PAES) and their steps are described.

The MRD-PAES methodology is evaluated with the purpose of demonstrating that the results in their implementation will be satisfactory. The simulation is used like an alternative tool to validity the methodology proposed. The present process is simulated and a reduction in the wastes of the 2.5% and an increase of the productivity of until 30% improving considerably occurs to an improvement proposal, giving like result the costs.

## **PREFACIO**

La presente investigación se origina por la experiencia laboral, adquirida en los últimos años en las empresas y que impulsaron un crecimiento profesional y personal. Y dentro de ellas, me han llevado a enfrentar uno de los problemas que siempre han generado interés por resolver, y es la reducción de los desperdicios. Ya que es ahí, donde aparecen las mayores pérdidas económicas y en algunos casos los mayores daños al medio ambiente.

Es por eso, que resulta interesante enfrentarse ante tal problema; ya que se puede percibir, que no sólo se requiere de una solución para mejorar tal problema, sino de generar oportunidades de mejora; a través del diseño de una metodología que sea utilizada para seleccionar la mejor y la más adecuada herramienta para reducir los desperdicios.

El objetivo de este trabajo de investigación, fue diseñar una metodología para la reducción de desperdicios, con base en la revisión teórica de los métodos y herramientas para la reducción de desperdicios, con el fin de minimizar los costos de las fuentes de procesamiento y generación de los desperdicios en la empresa US Technologies. Adicionalmente, se realizará una validación de la propuesta con el uso de la simulación, para fundamentar las necesidades y los beneficios establecidos en la empresa que garanticen una implementación.

Para la realización de la tesis, se considera la estructura en las partes que componen a un reporte de investigación, de acuerdo con Weissberg y Buker (1990) y Wilkinson (1991) las cuales son: resumen, introducción, método, resultados y discusión, apegados a los lineamientos que también contempla la norma ISO 7144-86, que se refiere a la presentación de tesis y documentos similares.

En el contenido del presente trabajo se hace referencia a la fuente con el formato APA (Asociación de Psicólogos Americanos) 5ª edición, con el uso del software EndNote versión 7.0.0. Además, se utilizó la base de datos EBSCO, en la cual se tomaron 13 artículos de las revistas más importantes relacionadas con el tema de investigación

como son: Mathematics and Statistics, Solid Waste Technology & Management, Información Tecnológica, Management Science, Productivity Analysis, entre otras.

Dentro del texto, las figuras y tablas que no aparezcan con referencia, la fuente es considerada como propia y se mencionan con dicha información en el presente trabajo. El software utilizado como procesador de textos es Microsoft Office versión 2007. Los títulos y subtítulos se muestran en estilo **negrita**. Los conceptos relacionados con la empresa en estudio están en estilo **negrita y cursiva**, para las frases en cursiva y subrayado son para hacer diferencias entre sí.

En la primera parte del presente trabajo, correspondiente a la introducción, se menciona la situación actual de nuestro país, la reducción de los desperdicios en las empresas y en específico de las empresas del sector químico, para aterrizar la problemática de la empresa en estudio. También, se realizó una búsqueda en la base de datos EBSCO, con la finalidad de investigar los artículos actuales relacionados con la aplicación de metodologías en la reducción de desperdicios. Se emplearon palabras clave (waste y reduction), generando un resultado de búsqueda de 300 artículos relacionados con el tema de los últimos 10 años (2000 al 2010). Se realizó una selección de 13 artículos, lo más importantes para esta investigación.

Con ello, se mencionó las metodologías y herramientas relacionadas con la reducción de los desperdicios. Así como, los usos y las ventajas de la simulación como herramienta de validación. Y surgen en ese momento preguntas de investigación acerca de las posibles alternativas de solución para mitigar la problemática establecida. Además, si la hipótesis de investigación se pueda rechaza o fallamos en ello. Y cumplir con el objetivo de diseñar una metodología en la reducción de los desperdicios.

En la segunda parte correspondiente al método, se comentan las metodologías sobre la reducción de desperdicios, sus ventajas y beneficios. Además se describe las herramientas que apoyan en la reducción de los desperdicios y como están clasificadas. Cabe mencionar que los conceptos de las herramientas se utilizaron en el idioma Ingles; ya que se facilita la búsqueda de su información y descripción. También es elaborada una evaluación de las metodologías descritas bajo seis criterios comunes

entre las metodologías y se mencionan las áreas de oportunidad resultado de la evaluación.

En la tercera parte correspondiente a los resultados, se realiza una breve reseña de los dos capítulos anteriores. Para mostrar los resultados obtenidos del análisis y de la evaluación de las metodologías y herramientas en la reducción de desperdicios, utilizadas para el diseño de la propuesta metodológica, La cual llevará el nombre de: Metodología de Reducción de Desperdicios basada en la Planeación, el Análisis, la Evaluación y el Seguimiento (MRD-PAES), se describirán sus pasos y por último se mencionarán las implicaciones para su funcionamiento. Las aportaciones realizadas a la metodología MRD-PEAS son marcadas en estilo **negrita** y con fondo de color amarillo.

En la cuarta parte correspondiente a la discusión, se hace un análisis interno de la empresa en estudio evaluando la metodología diseñada, a través de la simulación de su proceso actual y de una propuesta. Para la simulación es utilizado el software de simulación Arena versión 10 estudiantil y los programas Input Analyser y StatFit versión 2.1.7.1 estudiantil. Se realiza una comparación de los resultados de ambos modelos. En el análisis externo se mencionan casos de estudio reales de otras metodologías, se realiza una comparación de dichos casos. Al final se concluye y se comentan las aportaciones realizadas en la investigación, Además de mencionar las futuras investigaciones.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En este punto se describe la situación actual de México y la reducción de los desperdicios en las empresas en el sector industrial químico. Se describe la problemática de la empresa en estudio. Se hace una revisión de artículos relacionados con la reducción de los desperdicios. Se muestran antecedentes de la reducción de los desperdicios y algunos conceptos. Por último se dan los avances de la investigación, al plantear una serie de preguntas, la hipótesis a evaluar y hasta donde se pretende llegar con el objetivo de investigación.

### **1.1 Contexto**

En este apartado, se describen cinco puntos que motivan al desarrollo de la investigación y a la elaboración de la tesis. Durante el primer punto se mostrará la situación actual de México, como está la economía y la educación de nuestro país. En el segundo punto se menciona, la reducción de los desperdicios en México y qué factores se tienen y afectan a la competitividad de las empresas. El tercer punto, está dirigido a la reducción de desperdicios en las empresas del sector industrial químico, cuánto se genera en nuestro país y que estrategias se toman para controlarlas. En el cuarto punto, se conocerá la empresa en estudio, a la cual está destinada esta investigación. El último punto describe la problemática actual de la empresa y el análisis que se realizó para identificar el problema en ella.

#### **1.1.1 Situación actual en México**

El panorama que actualmente vive México, de acuerdo al banco mundial, indica que la economía mexicana está comenzando a recuperarse. Tras una recesión ocasionada por la crisis económica y financiera global durante el último trimestre de 2008 y el primer trimestre de 2009, afectando duramente a México junto con el colapso del comercio internacional. La industria manufacturera se vio muy golpeada por la caída en la demanda global. La contracción del PIB de un 6.5% durante 2009, una de las caídas más grandes en la historia de México y la más grande entre los países de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE), refleja la intensidad del impacto.

La OCDE menciona que las perspectivas macroeconómicas de crecimiento para 2010 han mejorado y se espera un crecimiento del PIB de entre el 4 y el 5% en 2010, según el Banco Central, fundamentalmente motivado por las exportaciones y la inversión privada durante la primera mitad del año. El consumo privado debería recuperarse gradualmente en la segunda mitad de 2010, a medida que el desempleo disminuya. Con un pronóstico de reducción del crecimiento de las exportaciones durante la segunda mitad de 2010, el crecimiento del PIB se podría desacelerar, cayendo por debajo del 4% en 2011 (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE), 2010).

Una de las estrategias actuales es el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, el cual contempla a largo plazo, los objetivos nacionales, las estrategias generales y las prioridades de desarrollo con la visión de un México que alcance un desarrollo sustentable en el año 2030. Para lograr esto se deben cumplir con varios objetivos que marcan el impulso de esta visión y uno de ellos establece que se tenga una economía competitiva que ofrezca bienes y servicios de calidad a precios accesibles, mediante el aumento de la productividad, la competencia económica, la inversión en infraestructura, el fortalecimiento del mercado interno y la creación de condiciones favorables para el desarrollo de las empresas, especialmente las micro, pequeñas y medianas (Presidencia de la República, 2007).

El Plan Nacional de Desarrollo indica que el país necesita incrementar la inversión y la productividad. En México, el crecimiento de la productividad durante los últimos 45 años ha sido la mitad del observado en Chile y una cuarta parte del observado en Corea del Sur, Irlanda y Singapur. Asimismo, la inversión en México ha sido sustancialmente menor a la registrada en estos tres países durante el mismo lapso, y a la experimentada en Chile en los últimos quince años, cuando ese país alcanzó un mayor crecimiento. La prioridad que se tiene es que para el 2012 la economía se encuentre entre las treinta más competitivas del mundo de acuerdo al Foro Económico Mundial, con mayor crecimiento y capacidad para generar empleos, es imperativo seguir una estrategia en tres vertientes: inversión en capital físico, capacidades de las personas y crecimiento elevado de la productividad (Presidencia de la República, 2007).

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, el sistema educativo en México ha crecido a paso acelerado, desde los poco más de 3 millones de estudiantes con los que contaba en 1950 a los más de 30 millones del año 2000. En la actualidad, la escolarización de los niños entre 5 y 14 años de edad es casi universal. Por su parte, la educación superior sólo capta a uno de cada cuatro jóvenes de entre 18 y 22 años de edad. De éstos, la gran mayoría, cerca del 94%, estudia licenciatura o sus equivalentes, y aproximadamente el 6% cursa estudios de posgrado. Mientras que en México 77% de la población en edad de trabajar tiene solamente escolaridad básica, en los países de la OCDE este promedio es de 30%. Asimismo, mientras que en México 23% de la fuerza laboral tiene estudios superiores a la secundaria, en los otros países miembros de la Organización 67% tiene niveles educativos de preparatoria y mayores (Presidencia de la República, 2007).

### **1.1.2. La reducción de desperdicios en las empresas mexicanas**

Actualmente la globalización de mercados, y la creciente competitividad en las empresas, no sólo industriales de producción, sino los negocios en general, permiten comprender a los accionistas, directivos, la importancia de implantar sistemas, procedimientos y métodos que generan información relevante. Dicha información debe relacionarse principalmente con la determinación de los costos unitarios, así como de los costos que están asociados con las actividades que se requieren para realizar la producción y distribución de productos (Oropeza, 2005).

La competitividad de nuestro país, no sólo depende de una variable, sino que son múltiples los factores que determinan si un país es o no competitivo. Cualquiera que sea la denominación que se le dé, hay una variable común en todos los índices de competitividad. México no está avanzando al mismo ritmo que las demás economías, además, muestra que está en riesgo la viabilidad económica a largo plazo del país. Las causas por las que México ha registrado constantes caídas en sus niveles de competitividad, se resumen en los siguientes factores (comité de competitividad, 2008):

- a. Escasa generación de la tecnología de punta
- b. Falta de fortalecimiento de sus instituciones publicas
- c. Incremento de los costos de producción

- d. Baja inversión en áreas prioritarias como la infraestructura.
- e. Excesiva tramitología
- f. Ausencia de una reforma hacendaría
- g. Ausencia de una política industrial
- h. Baja participación del gasto publico a educación y ciencia
- i. Frágil seguridad publica

La causa del factor de incremento de los costos de producción, se deben principalmente al uso inadecuado de los recursos en las empresas mexicanas. Aprovechar los recursos con los que cuentan las empresas, siempre se ha convertido en las necesidades de las empresas mexicanas.

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, cada año se generan en México alrededor de 40 millones de toneladas de residuos, de las cuales, 35.3 millones corresponden a residuos sólidos urbanos (RSU) y se estima que entre 5 y 6 millones de toneladas a residuos peligrosos (RP). La problemática asociada con los RP presenta dos grandes líneas: por un lado, la que se refiere a la presencia de sitios ya contaminados que requieren una solución; y por otro, la que se orienta a prevenir la contaminación proveniente de las fuentes en operación que los generan. La disposición inadecuada de los residuos peligrosos provoca diferentes afectaciones a los ecosistemas. En el año 2004 se identificaron en el país 297 sitios contaminados con RP, de los cuales 119 fueron caracterizados y 12 se encuentran en proceso de rehabilitación (Presidencia de la República, 2007).

Una de las prioridades de nuestro país es tomar medidas al respecto a través de varios objetivos. En el eje 4 (Sustentabilidad ambiental), punto 4.7 (Residuos sólidos y peligrosos), el objetivo 12 se refiere a la reducción del impacto ambiental de los residuos, el cual indica que para enfrentar el problema de la disposición inadecuada de los residuos en nuestro país, se requerirá favorecer la valorización de los residuos, así como el diseño y construcción de infraestructura apropiada que permita la recolección, separación, reciclaje y disposición final de éstos. Y como estrategia se debe promover el manejo adecuado y el aprovechamiento de residuos sólidos con la participación del sector privado y la sociedad. El manejo apropiado de los residuos sólidos representa un

gran reto y una gran área de oportunidad para la realización de actividades económicas, sobre todo en las zonas urbanas. Y así impulsar la participación del sector privado en proyectos de reciclaje, separación de basura, reutilización y confinamiento de desechos, y creación de centros de acopio (Presidencia de la República, 2007).

Con ello, se observa que nuestro país está consciente de la importancia de los residuos y de las medidas para contrarrestar los efectos de estos en las empresas. Sin embargo, algunas de ellas necesitan de más apoyo y de cambiar las estrategias directivas, así como de paradigmas para aprovechar al máximo los recursos internos y externos que intervienen en las empresas.

### **1.1.3 La reducción de desperdicios en el sector industrial químico**

El sector de la industria química interpreta a los desperdicios como residuos sólidos y peligrosos. De acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), los residuos que generamos son un reflejo de las formas de producción y consumo de las sociedades en que vivimos, por lo cual su gestión debe adecuarse a los cambios que se producen en ambos procesos. Por lo que es necesario revolucionar la enseñanza, el desarrollo de tecnologías, la administración, los servicios y los mercados de materiales secundarios, relacionados con la generación y manejo integral de los residuos, lo cual hace necesario el establecimiento y operación efectiva de redes de intercambio de información, experiencias y conocimientos, así como una gran plasticidad de los sistemas de gestión de los residuos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2010).

El último reporte de la industria química en México 2009 presentado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), menciona que la producción de este sector va aumentando hasta el 2008, no se tienen datos del 2009 pues el efecto de la crisis económica ocasionó pérdidas considerables, la producción en este sector fue de \$451, 474, 109 (miles de pesos). Las ventas fueron de \$430, 265, 347 (miles de pesos) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2010).

La SEMARNAT reporta que la generación de residuos estimada es de 1.69 millones de toneladas al año, que resultó de la información recabada durante el período del 2004 a 2009. Donde el 53 por ciento deriva de las microempresas, el 37 por ciento son

pequeños generadores y el 10 por ciento de los grandes corporativos. La cantidad de generación de residuos disminuyó notablemente con relación a la cifra que anteriormente se manejaba, de ocho millones de toneladas anuales, ya que la información recabada tuvo limitantes importantes como la omisión de los residuos generados por la industria minera, metalúrgica y petrolera, y más bien se basó en el uso de factores de generación estimados en otros países (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2010).

### **Clases de actividades destinadas a la investigación**

El sector de la industria química está integrada por varias clases de actividades, las cuales definen el tipo de giro y actividad que tiene una empresa. El INEGI reporta un total de 38 clases de actividades económicas para este sector. De los cuales, la actividad de fabricación de jabones, detergentes y dentífricos y la actividad de aceites, lubricantes y aditivos son a las que pertenece la empresa en estudio y reportan en el 2008 una producción y ventas de (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2010):

- En la fabricación de jabones, detergentes y dentífricos se tuvo una producción en miles de pesos de \$36, 226, 524 y con ventas de \$35, 669, 304.
- En la elaboración de aceites, lubricantes y aditivos se tuvo una producción en miles de pesos de \$18, 400, 459 y con ventas de \$18, 121, 931.

### **Problemáticas ambientales en la industria química.**

Hace unos 250 años la humanidad existía en un número relativamente pequeño y con una tecnología bastante limitada. Cualquier perturbación ambiental causada por personas era local y generalmente estaba dentro de las posibilidades de la misma naturaleza para absorberla. En los últimos dos siglos se han producido cuatro hechos que han creado problemas ambientales que superan la capacidad de asimilación de la naturaleza. Primero, un crecimiento explosivo de la población que ha creado enormes presiones ambientales. Segundo, este crecimiento, en particular en los países desarrollados, ha estado acompañado de nuevos procesos industriales que con sus desperdicios alteran el ambiente. Tercero, el crecimiento poblacional y la industrialización han dado origen a la urbanización, es decir, al movimiento de

personas que emigran de pequeños asentamientos a ciudades y pueblos, lo cual contribuye a intensificar los problemas ambientales en función de la densidad de personas e industrias. Por último, el crecimiento explosivo del uso de energía y la introducción de nuevos productos, en particular desde la segunda guerra mundial, que han acentuado más la tensión ambiental (Henry y Heinke, 1999).

El uso de la tecnología para resolver problemas ambientales aumenta, pero se aplica de diferente manera. Hay indicios de que el papel de la tecnología en las cuestiones ambientales está cambiando en dos áreas importantes: el desarrollo sostenido, que se ocupa primordialmente de problemas mundiales, y la tecnología preventiva, proyectada para reducir los efectos de los procesos, operaciones y productos en el ambiente. El desarrollo sostenido es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. En la tecnología preventiva los gobiernos han impuesto leyes adoptando medidas para disminuir la contaminación. Además, con el fin de controlar la problemática del agua, el aire y el suelo se crearon plantas de tratamientos de residuos peligrosos. Las estrategias preventivas van en aumento ya que en algunas empresas se han rediseñado o ajustado los procesos, operaciones y productos del sistema industrial para evitar o disminuir al mínimo la producción de residuos. En lugar de considerarlo como un aumento de costos y reducción de utilidades, se deben considerar mayores implicaciones de controlar la contaminación después de los ciclos de producción. Obteniendo beneficios en la reducción de los costos de energía y mantenimiento, la menor necesidad de recursos naturales, la disminución o eliminación de costos para el control de la contaminación y una menor necesidad de medidas para la salud y seguridad ocupacional. En función de procesos más limpios, reducción de los riesgos por derrames o descargas accidentales, moral más alta en los trabajadores al producir productos “verdes” y una mejor aceptación del producto en el mercado (Henry y Heinke, 1999).

Actualmente, el sector de la industria química al igual que los demás sectores se ven en la necesidad de implementar estrategias (desde propuestas por organismos reguladores STPS “empresa limpia” o propuestas internas para la mejora de los procesos) que las hagan más competitivas y más productivas. Además, Baca, et al

(2007) comenta que se deben de optimizar y aprovechar todos los recursos con los que cuenta una empresa, con la finalidad de obtener ganancias, minimizando los costos.

Durante el mes de agosto 2010 la SEMARNAT presento el inventario nacional de generación de residuos peligrosos, considerada una herramienta clave para establecer prioridades de acción como la gestión de residuos y fijar indicadores sobre valorización como reducción en la generación de los mismos. Para conocer las necesidades de infraestructura para el tratamiento y disposición final de aquellos residuos que no encuentran opción tecnológica y económica para su comercialización, re-uso, reciclaje o procesamiento, aunado a poder desarrollar mercados para su aprovechamiento que redundarán en creación de empleos verdes (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2010).

Por consiguiente, la elaboración de una propuesta metodológica para reducir los desperdicios, ayudará sustancialmente a mejorar los procesos productivos y administrativos de la empresa, específicamente en la empresa en estudio, la cual esta en constante cambio en la mejora de sus productos y crecimiento de su mercado.

### 1.1.4 Descripción general de la empresa en estudio

La empresa en estudio, será la empresa US Technologies, la cual fue fundada a través de la compra de las instalaciones de la empresa CIMECIN en el año 2002, ubicada en Av. Independencia no. 28 Col. Independencia, Municipio de Tultitlán, en el Estado de México (figura 1), formando una alianza estratégica para el crecimiento del mercado y la creación de nuevos productos heredando sus valores, generado un comportamiento ético y un respeto por la gente fundadora de la empresa. La misión es:

“En U. S. Technologies S. A. de CV., conformamos un equipo de personas, con una actitud proactiva que trabaja y piensa con enfoque al cliente para cubrir los requerimientos de lubricación industrial donde se necesita desarrollar un trabajo especializado de alta tecnología con altos estándares de calidad y medio ambiente logrando negocios a largo plazo rentables para la empresa y nuestros socios de negocios” (US Technologies, 2005).



Fig. 1 Ubicación de la empresa US Technologies (Guía Roji, 2010).

La misión de US Technologies juega un papel importante, la cual ha ayudado a que se incrementen sus productos. Y ofrecer productos de la más alta calidad, a precios justos y accesibles que ofrezcan un mayor valor en sus productos, para así, mejorar la calidad de vida de sus consumidores.

La empresa pertenece al sector de productos químicos industriales, es considerada una mediana empresa. La empresa tiene una plantilla laboral de 126 personas, de los

cuales 36 son empleados y 90 son trabajadores. Su estructura organizacional se muestra en la figura 2.

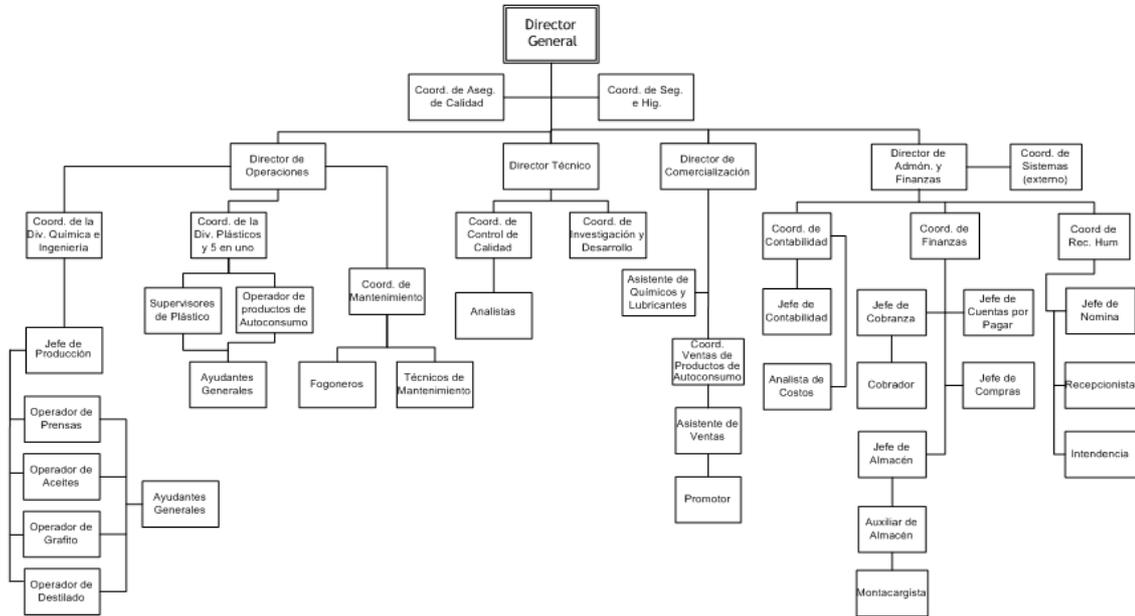


Fig. 2 Organigrama de la empresa US Technologies (US Technologies, 2009)

La empresa ha clasificado las áreas en números para diferenciar los tipos de tanques que se encuentran en cada área y el tipo de producto que se encuentre en cada uno de ellos. En la figura 3 se ilustra el plano de las instalaciones y el número que le fue asignado a cada área. 100 - 5 en Uno; 200 - Casoil; 300 - Grasas; 400 - Plásticos; 500 - Destilación; 600 - Servicios auxiliares; 700 - Almacenamiento de producto.

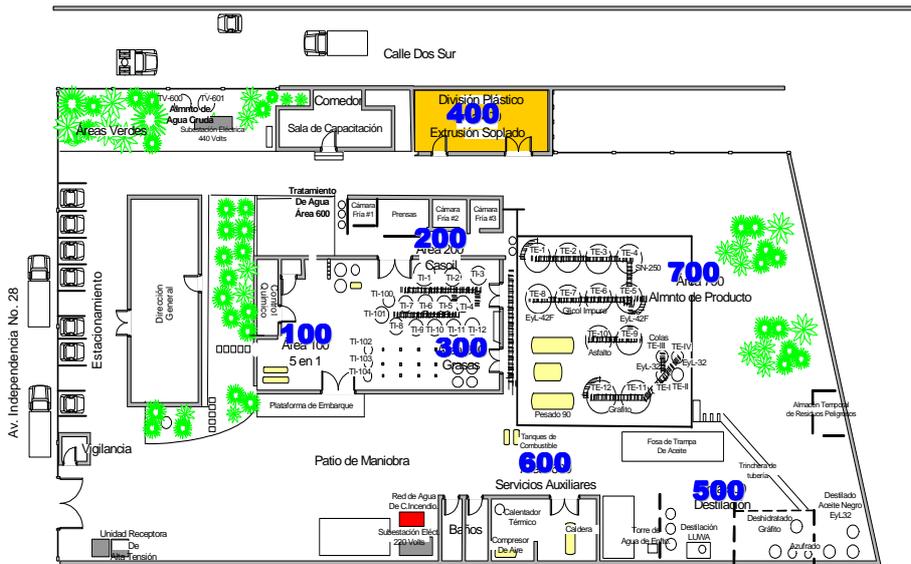


Fig. 3 Plano de las instalaciones US Technologies (US Technologies, 2009)

## Capacidad de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento de producto en cada tanque disponible se pueden apreciar en la Tabla 1, los tanques están identificados por TI (Tanque Interno) y TE (Tanque Externo) y contienen productos líquidos y emulsiones respectivamente. Algunos de ellos son identificados por el nombre del producto u aroma. La suma de ellos es de aproximadamente los 2 millones de litros de capacidad de almacenamiento en todos sus productos.

Áreas	Litros (aprox.)
5 en Uno	65,000
Casoil y Grasas	600,000
Almacenamiento de Producto	988,000
Destilado	26,000
Grafito y Azufrado	7,700
<b>Capacidad Total</b>	<b>1,686,700</b>

Tabla 1. Capacidad de almacenamiento

## Áreas productivas

Las necesidades del mercado y las exigencias de los clientes, han hecho que la gama de productos en UST este en constante crecimiento. Por lo que, se han modificado características de productos elaborados, dando como resultado nuevos productos con un valor agregado. La empresa cuenta con 5 áreas productivas y 2 áreas auxiliares. Las cuáles son las siguientes:

1. **Destilación.** Se encarga de producir aceites a través de la destilación y eliminación de impurezas de aceites reciclados y produce: Aceite negro, asfálticos, glicol, alico4.
2. **Especialidades.** Se encarga de producir lubricantes y aceites, que requieren de tratamiento específico y produce: aceites de corte directo, solubles, lubricación general, aceites hidráulicos, emulsiones, grasas, entre otros

3. **Casoil.** Se encarga de producir aceites con desechos de grasa animal (pollo o pescado) procesada y produce: lard oil, casoil 10/230, casoil 01, esterina.
4. **Plásticos.** Se encarga de la fabricación de botellas de preforma (PET) y polietileno y de tapas para estos tipos de botellas y produce: botellas de preforma PET (430ml, 900ml, 2l y galón), de polietileno (1l, 2l, envase cuadrado 1l y galón) y tapas.
5. **5 en uno.** Se encarga de la elaboración de productos de limpieza y cuidado para el hogar, así como también de productos para el cuidado del automóvil. Los productos que se generan son de dos tipos de características: viscosos y líquidos. Los líquidos son: Multiusos (1l, 2l y galón) y diferentes aromas. Anticongelante (1l y galón). Los viscosos son: Lavatrastes (430ml y 900ml), Destapacaños en 1l, Gel antibacterial (900ml y galón), Suavizante de ropa en presentación de 2l.

**Auxiliar de vapor.** Se encarga de generar y proporcionar los recursos internos a la empresa, para el apoyo a otras áreas en el funcionamiento de algunos equipos.

**Auxiliar de agua.** Se encarga del tratamiento y la preparación del agua para la creación de productos, principalmente en el área 5 en uno.

Los productos mencionados anteriormente, se fabrican en esta planta y en cada una de sus áreas. Por lo tanto, UST no se detiene en la búsqueda y creación de nuevos productos. Por ejemplo en la creación de un nuevo combustible, semejante al Diesel o crear paquetes de productos para ofrecerlos al cliente a un bajo costo.

## Cientes

Algunos de sus principales clientes son Walmart, Comercial Mexicana, Waldo's, Owens Corning, Jackson Lea, Kaltex, Mikel's, GKN Driveline, entre otros. El mercado que abastece esta empresa es nacional e internacional (Estados Unidos) y esta destinado al mercado industrial tales como: metal mecánica, plásticos, acereras, textil, automotriz, autoservicios, entre otras. Se tienen planes estratégicos para ampliar el mercado internacional. La línea de productos para el área 5 en Uno, está destinada a sus cuatro clientes principales en el centro y norte del país, como son Comercial Mexicana, el cual comercializa sus productos a través de su marca Golden Hills, Waldo's con su marca Art, Tiendas 3B con las marcas de Lustrol y Walmark con la marca Cimecin (figura 4).



Fig. 4. Productos comerciales (US Technologies, 2009)

La relación con el cliente es fundamental para mantenerse en el mercado y un diagrama interdisciplinario de proceso, ilustrar la secuencia en las operaciones en todas las áreas y poder cumplir con los clientes. En la figura 5 se aprecia el diagrama de relaciones para el proceso de solicitud y entrega de productos (Damelio, 2001). En él se muestra que la mayor responsabilidad está en el área de ventas, producción y control de calidad, pues de ellos depende la decisión de si hay o no existencias y que se aprueben los materiales y los productos para que se puedan vender.

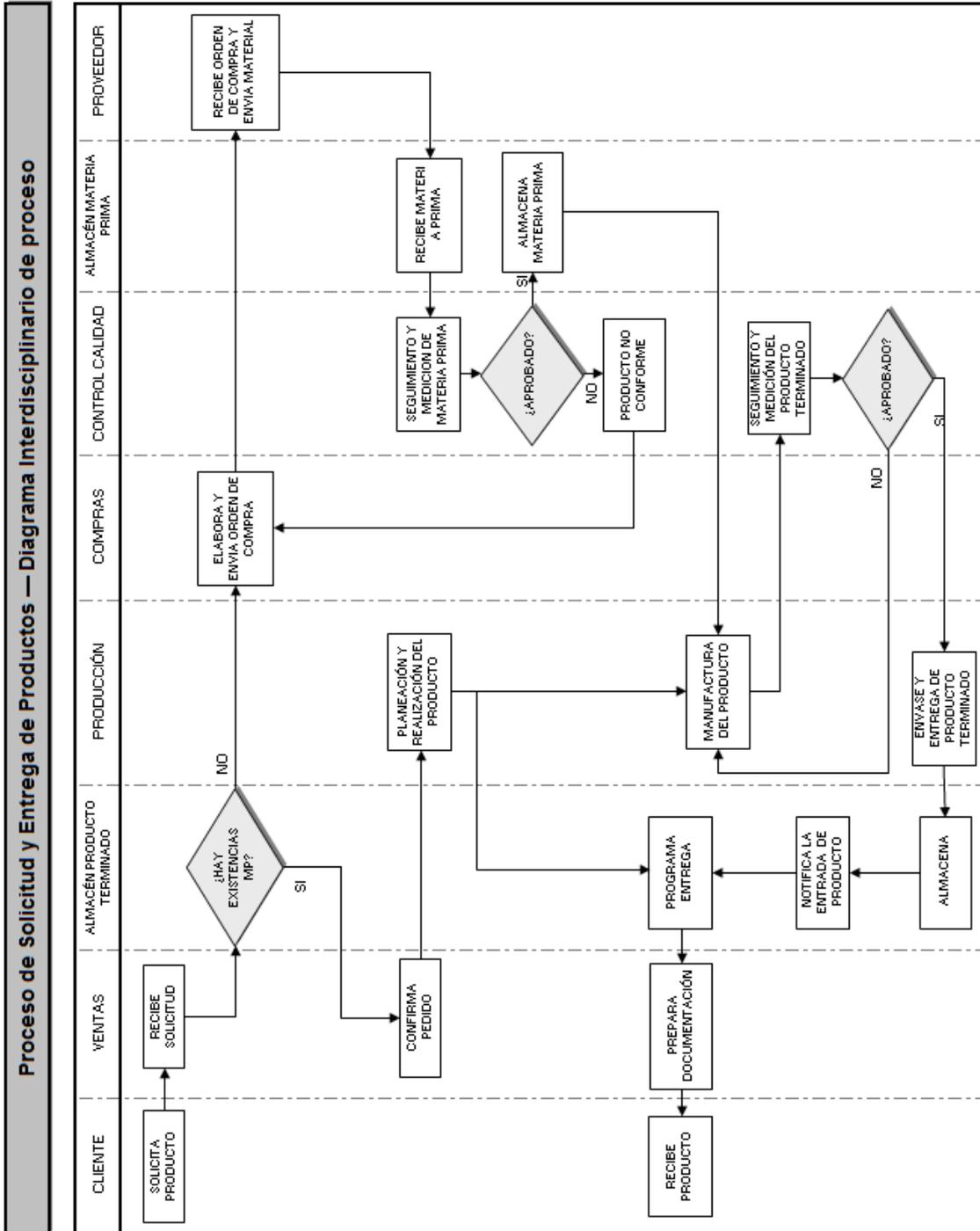


Fig.5 Proceso de solicitud y entrega de productos – Diagrama interdisciplinario de proceso (Elaborado con base en Manual de la empresa UST).

### 1.1.5 Descripción de la problemática

Se realizó una revisión a 41 órdenes de producción de los meses que comprende entre diciembre 2009, enero y parte de febrero 2010, con la finalidad de observar y verificar que se esté cumpliendo el pedido del cliente vs la producción generada. Se verificó que no cumplen, y los resultados son los que se aprecian en la tabla 2:

Área	Pedidos del cliente (litros)	Entrega de Producción a Almacén (litros)	Diferencia (litros)	Costos
Emulsiones	118,395	118,095	300	\$4,500
Destilación	492,355	492,075	580	\$2,900
Casoil	141,913	140,273	1,640	\$8,200
Área 5 en Uno	1,667,404	1,635,215	32,189	\$96,567
<b>Total de Dic a Feb</b>	<b>2,420,067</b>	<b>2,385,658</b>	<b>34,709</b>	<b>\$112,167</b>

Tabla 2. Resultados de órdenes de producción de Diciembre 2009 a Febrero 2010.

La diferencia de los 34,709 litros, indica que no se están cumpliendo las órdenes de producción al 100%. Aunque, esta diferencia puede ser respaldada cuando se tenga inventario en existencia, pero no garantiza que se cumplan el plan de producción. Por lo tanto, el área que presenta indicios de irregularidades es el área 5 en Uno. Además, en esta área se han presentado varias no conformidades del producto y reclamaciones de parte de sus clientes, algunos de ellos se muestran en la tabla 3

Cliente	No conformidad
a) Interno – producto final	Multiusos Limón de galón lote 27740110, el cual se contaminó con Multiusos Lavanda
b) Comercial Mexicana – rechazo del cliente	Envío de Producto Destapacaños de 1 litro, en envases sucios de carbonatos dando una apariencia de costras blancas.
c) MIKEL´S – queja del cliente	Se detectaron problemas con el producto Anticongelante de 1 litro, ya que la tapa o (tapón) no sellaba al 100 %.
d) Waldo´s – rechazo del cliente	Se reportó fuga de envases del producto Detergente lavatrastes en el hombro de la botella.
e) Tiendas 3B – queja del cliente	Se detectaron en el producto TOP PINO, formación de pequeñas partículas de color blanco en los lotes; 13330609, 11430609 y 12400609

Tabla 3. Reclamaciones y rechazos de clientes en UST

Estas no conformidades no fueron detectadas, ocasionando que se incrementará el costo del producto, al ser reprocesadas (en nuevo producto, materia prima, personal, embarque, entre otros) representando una pérdida económica significativa. Además, se han detectado una gran cantidad de desperdicios como: derrames (ver figura 6), materia prima, producto fuera de especificación que necesita ser reprocesado y sobrante de producto (ver figura 7) que ha ocasionado que se caduque y quede fuera de especificación.

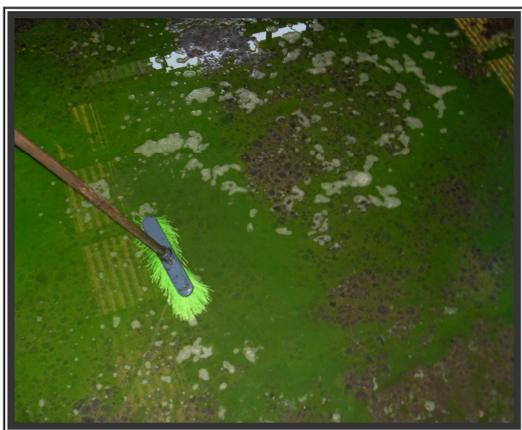


Fig.6 Derrame de producto líquido  
(US Technologies, 2009)



Fig.7 Producto con caducidad vencida  
(US Technologies, 2009)

Es por eso, que la empresa se ha visto en la necesidad de incrementar sus ventas y tomar medidas o estrategias necesarias, como son: optimizar los recursos, y reducir los costos. Por tal motivo, la reducción de sus desperdicios es una estrategia que se ha considerado para lograrlo, con el fin de aumentar su productividad y ha decidido aplicarla al área 5 en Uno, por lo tanto, es necesario conocer la cantidad de desperdicio que está generando esta área y en que parte del proceso.

Se realizó una recolección de la cantidad de desperdicios generados en el área 5 en Uno. Y se encontró que se registra en las bitácoras de operación. Sin embargo, estas no son capturadas constantemente y con eso, se realizó un registro de los desperdicios generados durante los meses de febrero y marzo de 2010 como se muestran en la figura 8.

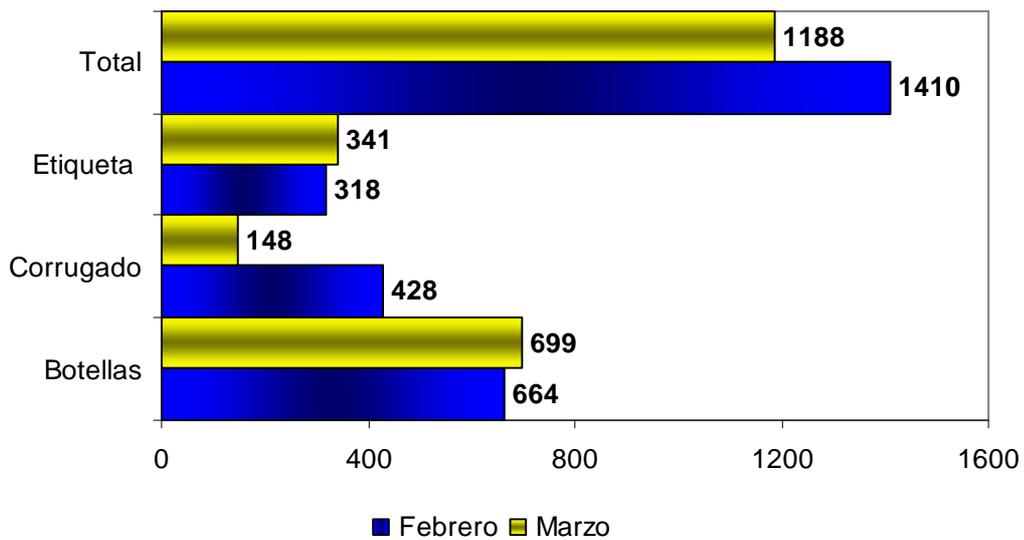


Figura 8. Desperdicios generados en el área 5 en Uno en los meses de Febrero y Marzo 2010

Estos resultados muestran que no hay medidas preventivas para evitar el número de piezas como desperdicio. El costo total de pérdida para ambos meses fue de \$7,052.00 pesos aproximadamente. Además, no se contemplo como desperdicio el remanente de las maquinas de llenado, ya que no tiene un parámetro de medición establecido. Por otra parte, las causas que se originaron el número de desperdicios fueron: Rechazo tienda, golpeadas, maltratada, deforme en cuello y golpes, golpeado de hombro, perforadas, mal formado, fuga en tapa, golpeado del fondo, perforadas, húmedo, maltratado del cuerpo, sucio, entre otras. Con esta información se analizará cada una de sus etapas (figura 9) e identificar donde se encuentran las fuentes generadora de desperdicio.



Fig.9 Etapas del área 5 en Uno.

## Análisis de las etapas del proceso.

Se realizó un mapeo de proceso (figura 10) para identificar las actividades, las variables y la frecuencia en la que se realizan en cada etapa del área 5 en Uno.

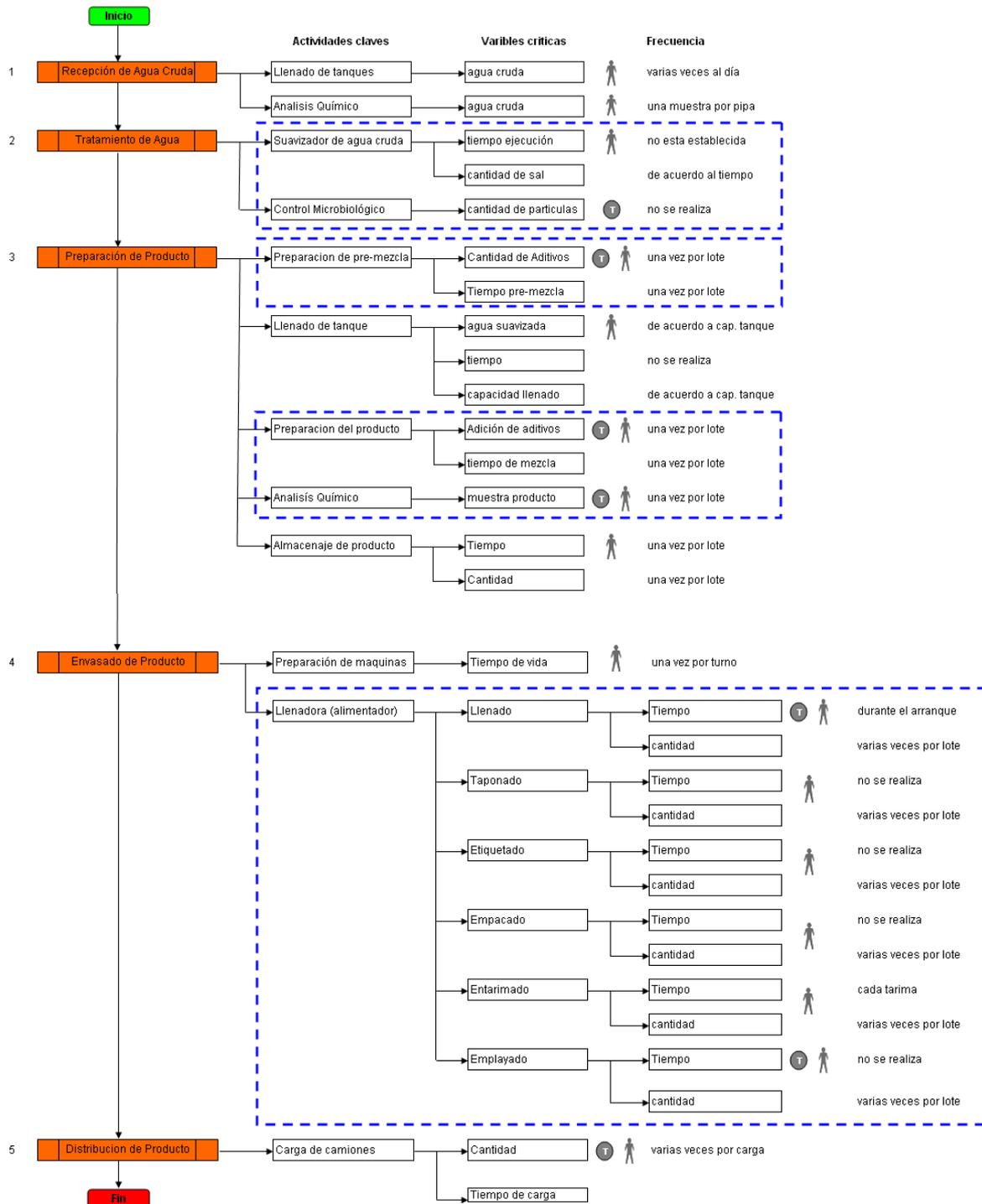


Fig. 10 Mapa de proceso del Área 5 en Uno

En el mapa de proceso elaborado se identificaron las actividades claves, las variables críticas, los actores que intervienen (personas o tecnología – equipos), la frecuencia con que se realizan. Además, las actividades enmarcadas son las que agregan valor al producto. Con esto, se identificó las etapas del proceso que a continuación se analizarán.

### **Análisis de la etapa de tratamiento de agua.**

Se tienen la hora de arranque y paro del suavizador en la bitácora, sin embargo, no se tiene un dato estadístico de la información, y en algunos casos se encuentra incompleta. La cantidad de agua que envía al área de preparación no se tiene registro de la cantidad enviada, la medición es a través de una manguera externa de los tanques de almacenamiento. No existe control de la información.

### **Análisis de la etapa de preparación del producto.**

Del mismo modo, uno de los parámetros que no está tomado en cuenta, es el control de los tiempos ciclo de la preparación del producto. Se analizó estadísticamente los tiempos de preparación del producto, 113 datos en la etapa de premezcla, 150 datos en la etapa de mezclado, 155 datos en la etapa de laboratorio y 63 datos en la etapa de producto en tanque. Los resultados se muestran en la figura 11.

<b>Premezcla</b>		<b>Mezclado</b>		<b>Laboratorio</b>		<b>Producto en tanque</b>	
<b>Media</b>	<b>49.30</b>	<b>Media</b>	<b>90.89</b>	<b>Media</b>	<b>6.06</b>	<b>Media</b>	<b>207.78</b>
Error estándar	5.14	Error estándar	9.00	Error estándar	0.31	Error estándar	11.82
Mediana	40	Mediana	55	Mediana	5	Mediana	210
Moda	40	Moda	5	Moda	5	Moda	155
Desviación estándar	54.60	Desviación estándar	110.23	Desviación estándar	3.91	Desviación estándar	93.80
Varianza muestral	2981.46	Varianza muestral	12149.98	Varianza muestral	15.32	Varianza muestral	8798.79
Curtosis	44.12	Curtosis	10.36	Curtosis	40.69	Curtosis	0.05
Sesgo	6.07	Sesgo	2.67	Sesgo	5.69	Sesgo	0.24
Rango	495.00	Rango	762.00	Rango	37	Rango	419
Mínimo	5.00	Mínimo	3.00	Mínimo	3	Mínimo	20
Máximo	500.00	Máximo	765.00	Máximo	40	Máximo	439
Sum	5571.00	Sum	13634.00	Sum	940	Sum	13090
Datos	113.00	Datos	150.00	Datos	155	Datos	63
Nivel de confianza (95%)	10.18	Nivel de confianza (95%)	17.78	Nivel de confianza (95%)	0.62	Nivel de confianza (95%)	23.62

Fig.11 Resultados de Análisis Estadístico de Tiempos de ciclo en la preparación del producto.

Se obtuvo un tiempo promedio para cada una de las etapas. En el premezclado fue de 49.3 min., para la etapa de mezclado fue de 90.89 min., para la etapa de análisis de laboratorio de 6.06 min., y para la etapa de producto en tanque fue de 207.78 min. Sin

embargo, estos datos nos indican una variación muy grande ya que algunos en las etapas de premezcla, mezclado y producto en tanque los rangos son muy amplios.

Al elaborar un histograma se necesita observar que tipo de distribución de probabilidad y que tan dispersos están los datos en forma, centro y extensión (Stagliano, 2005). Las gráficas que aparecen en la figura 12, muestran los resultados para cada etapa del área 5 en uno. Estas graficas muestran sólo el número de frecuencias para cada uno de los tiempos que se realizaron en cada una de las etapas de la preparación del producto. La falta de parámetros o límites de control es esencial; ya que en el caso de los tiempos de pre mezcla y laboratorio se observa una tendencia aparentemente normal, y para los otros dos histogramas existe una mayor amplitud entre los datos.

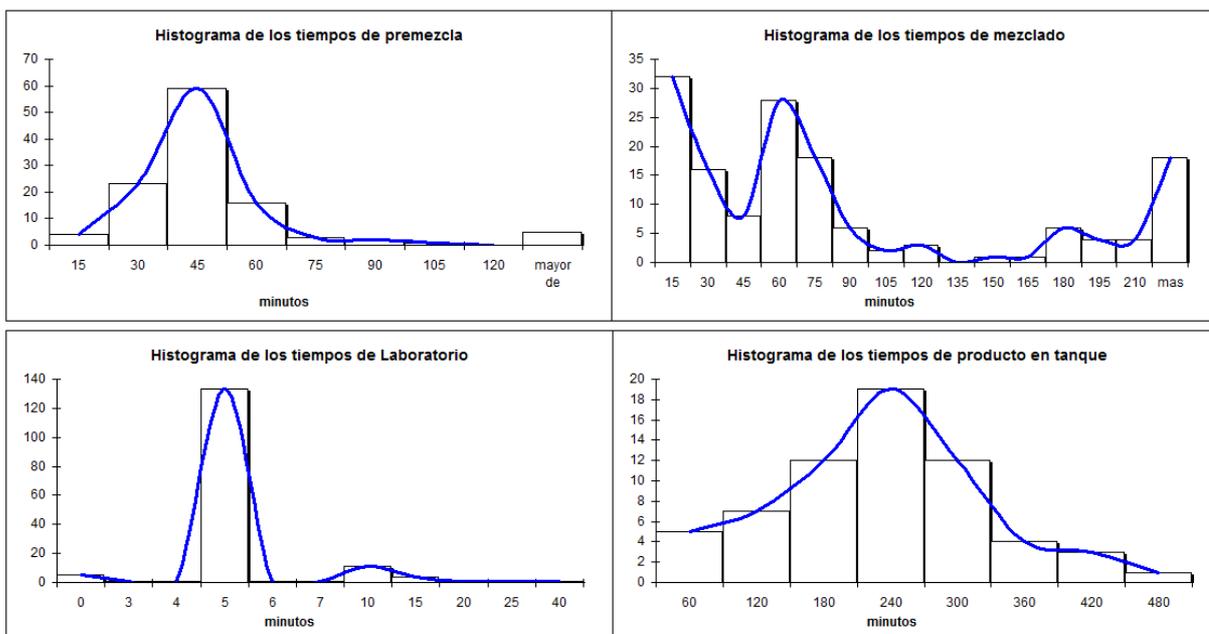


Fig.12 Tiempos de ciclo en la Preparación del producto.

### **Análisis de la etapa de envasado de producto.**

Esta etapa genera información de los tiempos de entarimado únicamente, los cuales, dan un parámetro de cuánto tarda en operación la máquina de llenado, al comparar con el estándar de operación de la maquinaria. Este dato sólo lo tienen para las máquinas llenadoras automáticas. Y en las demás líneas no hay registros. Otro formato que es vital dentro de las máquinas automáticas es la verificación de las condiciones de los

equipos (check list). De acuerdo con la producción generada en los meses de febrero y marzo de 2010, se observa en la figura 13, que las maquinas llenadoras automáticas son las que producen más. Es por eso, que en esta etapa, el análisis realizado se enfoca hacia estos equipos.

Produccion Febrero Área 5 en Uno				
Tipo de Línea de Llenado	Producto	Presentación	Producción (litros)	% de venta
Automática	Multiusos	Galón	723,435	86.8%
	Multiusos	2 Litros	12,208	1.5%
	Anticongelante	Galón	66,964	8.0%
	Anticongelante	1 Litro	10,440	1.3%
Semiautomática	Lavatrastes	900 ml	18,716	2.2%
	Lavatrastes	430 ml	0	0.0%
Manual	Destapacaños	1 Litro	1,920	0.2%
<b>Total Mes</b>			<b>833,683 litros</b>	

Produccion Marzo Área 5 en Uno				
Tipo de Línea de Llenado	Producto	Presentación	Producción (litros)	% de venta
Automática	Multiusos	Galón	811,958	97.4%
	Multiusos	2 Litros	11,856	1.4%
	Anticongelante	Galón	7,131	0.9%
	Anticongelante	1 Litro	456	0.1%
Semiautomática	Lavatrastes	900 ml	26,665	3.2%
	Lavatrastes	430 ml	3,617	0.4%
Manual	Destapacaños	1 Litro	1,488	0.2%
<b>Total Mes</b>			<b>863,172 litros</b>	

Fig.13 Producción del Área 5 en Uno, durante Febrero y Marzo (Elaborado con base en Documentos de UST).

El tiempo de armado de tarima por línea, es el único dato que registran y comienza desde el inicio de arranque de la maquina hasta que se termina de armar una tarima completa y así sucesivamente hasta que se termine el lote de producción. Se consideró sólo tarimas para productos de multiusos, ya que es el producto con mayor demanda. Los resultados de una muestra de 102 datos (tarimas con 36 cajas cada una) se ilustran en las figuras 14 y 15 para la línea 1 y la línea 2 respectivamente.

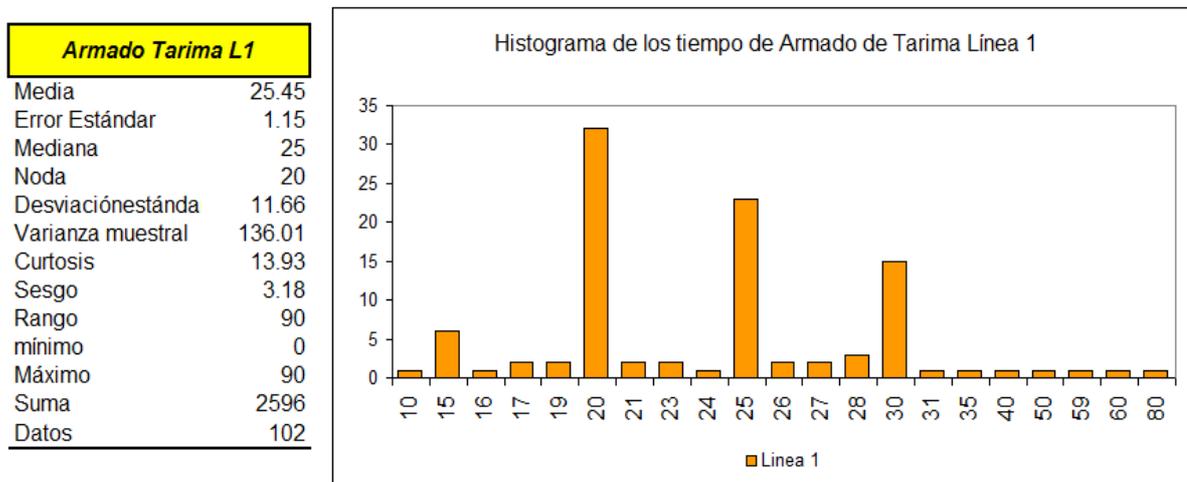


Fig.14 Resultados de tiempos de armado de tarimas en L1

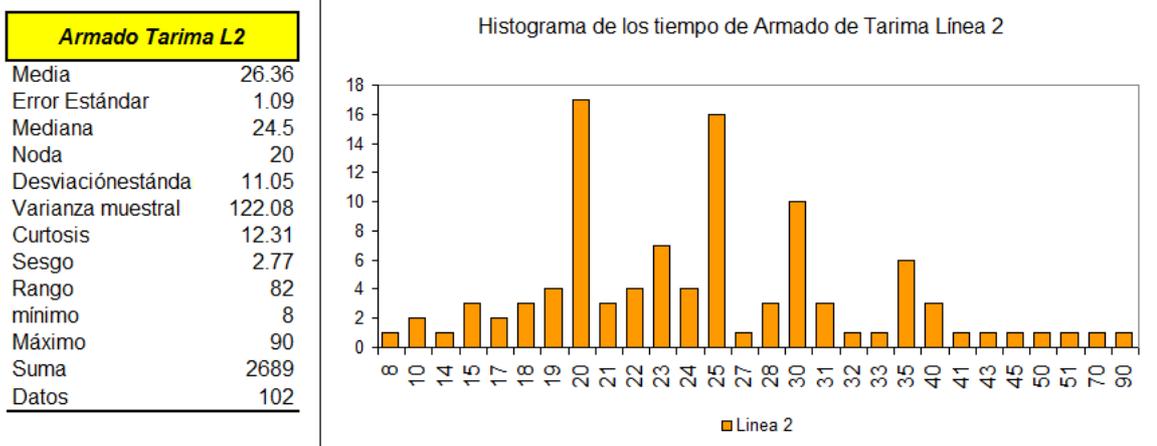


Fig.15 Resultados de tiempos de armado de tarimas en L2

Como se puede observar, no existe un parámetro establecido del tiempo de armado de tarima para ambas líneas. Sin embargo, el resultado de este análisis estadístico es importante para calcular el tiempo real de operación para ambas líneas. El armado de tarima contempla los parámetros del tiempo ciclo estándar obtenido del manual de operación (2002), los cuales en la tabla 4 se muestran los datos para las tarimas que se analizaron.

Concepto	Unidad	Estándar para tarima de Multiusos
Galones ciclo	Pza.	5
Capacidad galón	l	3.785
Litros ciclo	l	18.925
Caja	Galón	4
Caja	l	15.14
Cajas en Cama	cajas	12
Camas en tarima	camas	3
Tarima	cajas	36
Tarima	Galón	144
Tarima	l	545.04
Ciclos tarima	Ciclos	28.8
Costo por tarima	\$	\$1500 aprox.

Tabla 4 Datos Estándar para Armado de Tarima de Multiusos

Con base en estos datos, se calcula el tiempo de armado de una tarima con el tiempo ciclo estándar para las maquinas llenadoras L1 = 38 seg. y L2 = 39 seg. (US Technologies, 2002) y se realiza la siguiente operación:

$$\text{Tiempo Armado Tarima} = (\text{Ciclos tarima}) (\text{Ciclo Estándar}) \quad (a)$$

$$\text{Tiempo Armado Tarima L1} = (28.8) (38) = 1094 \text{ seg.} = 18.24 \text{ min.}$$

$$\text{Tiempo Armado Tarima L2} = (28.8) (39) = 1123 \text{ seg.} = 18.72 \text{ min.}$$

Con los resultados de las medias en el armado de una tarima, se calcula el tiempo ciclo real. Se convierten los tiempos del armado de tarima para cada línea en segundos (tabla 5). Al utilizar (a), despejar el ciclo estándar para obtener los siguientes resultados:

$$\text{Ciclo Estándar} = (\text{Tiempo Armado Tarima}) / (\text{Ciclos tarima}) \quad (b)$$

$$\text{Ciclo Real L1} = (1527) / (28.8) = 53.02 \text{ seg.} \approx 53$$

$$\text{Ciclo Real L2} = (1582) / (28.8) = 54.93 \text{ seg.} \approx 55$$

Concepto	Unidad	Estándar		Real	
		L1	L2	L1	L2
Tiempo ciclo	Seg.	38	39	53	55
Armado tarima	Seg.	1094	1123	1527	1582
Armado tarima	min.	18.24	18.72	25.45	26.36

Tabla 5 Resultados de los tiempos ciclos para ambas líneas

Con estos datos se puede calcular el número de tarimas que no se producen por pedido y por turno. Para lo cual, se realizan otras operaciones. Para calcular el número de tarimas por pedido se tiene lo siguiente:

(c)

$$\text{Tarimas por pedido} = (\text{Litros por pedido u Orden de producción}) / (\text{Litros por tarima})$$

$$\text{Tarimas por pedido} = (10,000) / (545.04) = 18.35 \text{ tarimas.}$$

(d)

$$\text{Tarimas por Turno Estándar} = (\text{Tiempo Disponible por turno}) / (\text{Tiempo Armado Tarima})$$

(e) 
$$\text{Tiempo Disponible} = (\text{Tiempo Calendario}) - (\text{Tiempo Descanso})$$

1 Turno = 8 hr. = 480 min. y 30 min. de descanso, por lo tanto, aplicamos (e)

$$\text{Tiempo Disponible} = (480) - (30) = 450 \text{ min.}$$

$$\text{Tarimas por Turno Estándar L1} = (450 \text{ min.}) / (18.24 \text{ min.}) = 24.67 \text{ tarimas}$$

$$\text{Tarimas por Turno Estándar L2} = (450 \text{ min.}) / (18.72 \text{ min.}) = 24.04 \text{ tarimas}$$

$$\text{Tarimas por Turno Real L1} = (450 \text{ min.}) / (25.45 \text{ min.}) = 17.68 \text{ tarimas}$$

$$\text{Tarimas por Turno Real L2} = (450 \text{ min.}) / (26.36 \text{ min.}) = 17.07 \text{ tarimas}$$

<b>Tarimas por Turno</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>
Estándar	24.67	24.04
Real	17.68	17.07
Diferencia	6.99	6.97
Litros por tarima	545.04	545.04
Litros No producidos	3809.82	3798.93
Cajas No producidos	1007	1004
No producido (\$)	\$10,485 aprox.	\$10,455 aprox.

Tabla 6 Resultados de las tarimas estándar vs real

Los resultados de la tabla 6 nos indican que no se están produciendo 1007 galones para la línea 1 y 1004 para la línea y representan aproximadamente para ambas líneas \$20,940, si se trabajaran ambas líneas durante un turno. Sin embargo el dato más representativo es el de la diferencia entre el tiempo ciclo estándar y el tiempo ciclo real, la diferencias en los tiempos ciclo, es de 15 seg. para la línea 1 y de 16 seg. para la línea 2. Esta diferencia impacta considerablemente si se establece por turno la cantidad de pedidos a producir, ya que actualmente sólo se hacen 2 por día, de acuerdo al programa de ventas.

Mantener los tiempos ciclos promedios durante el turno, con lleva a una serie de parámetros y condiciones importantes para alcanzar los valores aproximados. Sin embargo, se ve afectado por causas atribuibles a planeación, al proceso y principalmente al equipo. Y es ahí, donde las causas y las fallas recurrentes no permiten alcanzar lo planeado. La figura 16 muestra el análisis para las variables

críticas de operación en las maquinas de llenado durante los meses desde Enero hasta Abril, del año presente.

Actividad	Total por falla	%	% acum
10	107	25%	25%
2	72	17%	41%
6	71	16%	58%
7	67	15%	73%
1	52	12%	85%
8	51	12%	97%
11	4	1%	98%
5	4	1%	99%
9	2	0%	99%
4	2	0%	100%
3	2	0%	100%
<b>Total Fallas</b>	<b>434</b>	<b>100%</b>	

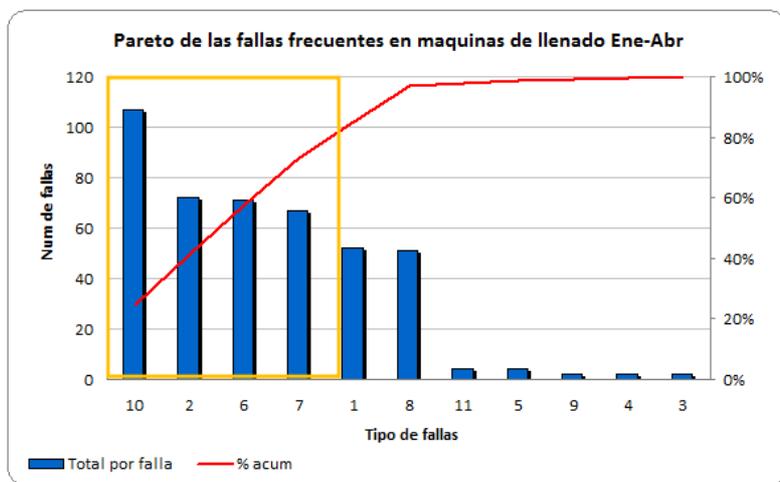


Fig. 16 Resultados de fallas frecuentes en maquinas llenadoras de Enero-Abril

Las fallas que más aparecieron en las maquinas llenadoras en ambas líneas fueron: 10–se refiere a revisar que las válvulas de llenado funciones correctamente y sin fuga; 2–se refiere a revisar que los filtros se encuentren limpios, bien instalados y funcionen correctamente; 6–se refiere a la revisión de la banda corredera y 7–se refiere a la verificación de las líneas de conducción del producto no tengan fugas. Las causas para las líneas 1 y 2 se muestran en las figuras 17 y 18 respectivamente.

Actividad	Fallas Línea 1	%	% acum
10	43	30%	30%
1	25	18%	48%
2	25	18%	65%
8	25	18%	83%
7	10	7%	90%
6	7	5%	95%
11	3	2%	97%
5	2	1%	99%
3	1	1%	99%
4	1	1%	100%
9	0	0%	100%
<b>Total Fallas</b>	<b>142</b>	<b>100%</b>	

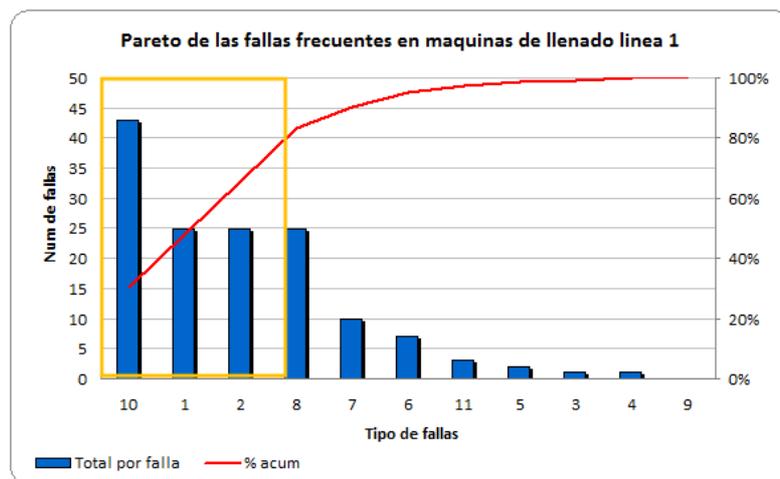


Fig.17 Resultados de fallas frecuentes en maquinas llenadoras Línea 1

Actividad	Fallas Línea 2	%	% acum
6	64	22%	22%
10	64	22%	44%
7	57	20%	63%
2	47	16%	79%
1	27	9%	89%
8	26	9%	98%
5	2	1%	98%
9	2	1%	99%
3	1	0%	99%
4	1	0%	100%
11	1	0%	100%
<b>Total Fallas</b>	<b>292</b>	<b>100%</b>	

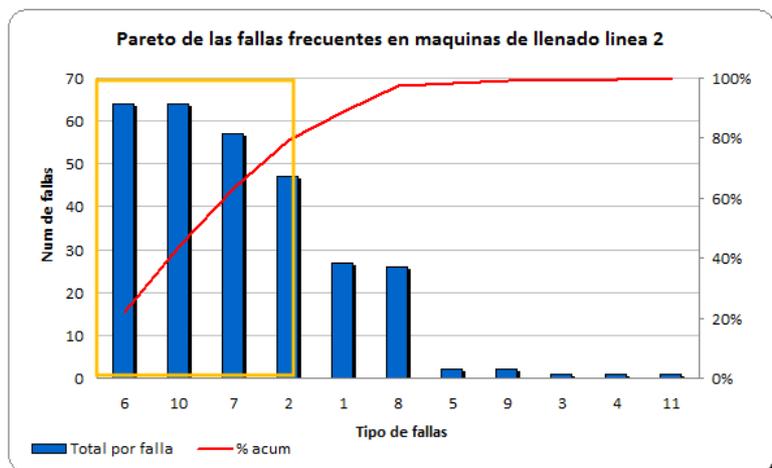


Fig.18 Resultados de fallas frecuentes en maquinas llenadoras Línea 2

La inspección de las maquinas se hace 2 veces por turno, según esta establecido en el procedimiento de llenado de maquinas automáticas. Sin embargo, se encontró que no se realizó 2 veces por turno desde enero, sino, fue hasta finales de febrero donde se empezó a realizar. Los resultados gráficos en cada línea muestran por que aparecen frecuentemente las fallas. Aunque es de notar que en la línea 1, es donde surge la falla 1 y se refiere a verificar el área de trabajo y que se encuentre limpia y ordenada. Y la línea 2 es donde tiene el mayor número de fallas. Por lo tanto, estos resultados de las fallas que aparecen en las líneas, puntualizan claramente donde hay que atacar el problema y así reducir los tiempos ciclos actuales.

Con los análisis realizados y en las condiciones en las que se encuentra la empresa, es indispensable proponer controles para que se puedan medir y controlar las variables críticas en cada una de las etapas del área 5 en uno. Además, se tendrán que establecer indicadores, con la finalidad de medir cada uno de ellos.

La falta de seguimiento al producto en cada una de las etapas, genera una incertidumbre en el momento que se presentan fallas o desperdicios. Con los resultados de los datos obtenidos, se pudo apreciar que la mayor fuente de desperdicio esta en el área de envasado del producto. La obtención de más datos, es vital para realizar otros análisis y se apoye a la propuesta a realizar.

## 1.2 Revisión de literatura e investigaciones previas.

Durante los últimos 10 años se han realizado investigaciones en casos de estudio sobre la reducción de desperdicios en las empresas. Los cuales han sido enfrentados con una serie de estrategias con vista a su total reducción o eliminación. Las estrategias, los métodos y las herramientas aplicadas han dado buenos resultados. En la siguiente tabla 7 se describen algunas investigaciones en artículos científicos sobre la reducción de desperdicios.

Autor (año)	Revista	Título
1. Hajeeh, M. (2010)	Mathematics and Statistics	Mathematical Model for Waste Reduction in Aluminum Fabrication Industry in Kuwait
		Desarrollo de un modelo matemático heurístico para la disminución de desperdicios en una planta de fabricación de piezas de aluminio en Kuwait.
2. Marticonera, A., et. al. (2010)	Información Tecnológica	Análisis del Impacto Ambiental de la Recuperación de Metanol en la Producción de Biodiesel usando el Algoritmo de Reducción de Desechos (WAR)
		Análisis del impacto ambiental de la recuperación de metanol en el proceso de producción de biodiesel, utilizando la metodología de reducción de desechos (WAR) y la simulación de procesos a través del software UNISIM Design R380
3. Environmental Data Services (2009)	Environmental Services	Data Waste reduction Winner DENSO MANUFACTURING UK
		Un caso de éxito por la implementación de herramientas como lean manufacturing, 5S y TPM, apoyado por la investigación de sus procesos para la reducción de desperdicios como el aluminio hasta en un 60%.
4. Davis, G., et al. (2009)	Solid Waste Technology & Management	Driving Commercial and Industrial Waste Reduction in Queensland, Australia—The Potential Application of a UK Waste Minimization Club Model
		A través del modelo WMC aplicado en el Reino Unido, se encontró las barreras y las oportunidades en la reducción de desperdicios en Queensland, Australia, con la finalidad de establecer factores sustentables con la reducción de los desperdicios.

Autor (año)	Revista	Título
5. Bulatov, I. & Klemeš, J. (2008)	Clean Technologies & Environmental Policy	Towards cleaner technologies: emissions reduction, energy and waste minimization, industrial implementation
<p>Hacen una recopilación de los artículos más representativos sobre la reducción de emisiones, optimización de la energía y casos de aplicaciones industriales, realizadas en las conferencias sobre Procesos de integración, modelado y optimización de Ahorro de Energía y reducción de la contaminación (PRES, por sus siglas en ingles)</p>		
6. Tam, V. & Tam, C. (2008)	Building Research & Information	Waste reduction through incentives: a case study
<p>Se propone un sistema de incentivos por etapas, el cual se utilizó en la medición de ahorro de costos, compra de materiales y control en la generación de desperdicio. Tiene como objetivo mejorar los factores de falta de motivación y experiencia, aprovechando el conocimiento de los empleados.</p>		
7. Chapple, W., et, al. (2006)	Productivity Analysis	The cost implications of waste reduction: factor demand, competitiveness and policy implications
<p>Se evaluó el costo de desperdicio generado en empresas manufactures del Reino Unido utilizando métodos matemáticos estocásticos y determinísticos como el desarrollado para minimizar el costo. Demostrando que es costoso reducir desperdicio y que bajo otras condiciones como tipos de empresa, regiones o países suele ser favorable como en el caso de industrias productoras de muebles o automotrices.</p>		
8. Rushbrook, P. (2006)	Annals of the New York Academy of Sciences	Developments in Management and Technology of Waste Reduction and Disposal
<p>Muestra una forma de clasificar los desperdicios y como pueden ser tratados tecnológicamente dependiendo el área y el tipo.</p>		
9. Tomkevičiūtė, G. Stasiškienė, Ž. (2006)	Environmental Research, Engineering & Management	Assessment of Opportunities for Beverage Packaging Waste Reduction by Means of Deposit-Refund Systems
<p>Se estudia la posibilidad de aplicar un sistema administrativo para reducir desperdicios (DRS) en Lituania, el cuál consiste en crear depósitos que reintegren materiales que puedan ser rellenados en plantas de bebidas.</p>		

Autor (año)	Revista	Título
10. Okamura, T., et. al. (2004)	Electrical Engineering in Japan	CO <sup>2</sup> reduction effect of the utilization of waste heat and solar heat in a city gas system.
Aplicación de un modelo de programación entera mixta, para evaluar y disminuir los consumos de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> , en calentadores de sistema solar en un hospital.		
11. Dahlgaard, J. & Dahlgaard, S. M. (2002)	Total Quality Management	From defect reduction to reduction of waste and customer/stakeholder satisfaction (understanding the new TQM metrology)
Se presentan algunos principios y directrices para medir el nuevo contexto de TQM Metrology y la forma de medición, los riesgos y fallas con apoyo de herramientas y enfoques a reducir defectos, desperdicios, costos y tiempos ciclo.		
12. Resch, M. & Peter B. (2001)	Pollution Engineering	10 Steps to Facility-Wide Waste Reduction
Una estrategia de 10 pasos para la reducción de desperdicios, enfocado al reciclaje y reuso de desperdicio para minimizar los desperdicios sólidos.		
13. Lapré, M., et. al. (2000)	Management Science	Behind the Learning Curve: Linking Learning Activities to Waste Reduction
Basado en la curva de aprendizaje organizacional, vincula los tipos de aprendizaje en proyectos de mejora de calidad y como algunos afectan a la reducción de desperdicios al aplicarlo.		

Tabla 7. Descripción de artículos sobre la reducción de desperdicios. Elaborado con base en (Hajeer, M., 2010; Marticonera, A., et, al., 2010; Environmental Data Services, 2009; Davis, G., et, al., 2009; Bulatov, I. & Klemeš, J., 2008; Tam, V. & Tam, C., 2008; Chapple, W., et, al., 2006; Rushbrook, P., 2006; Tomkevičiūtė, G. Stasiškienė, Ž., 2006; Okamura, T., et. al., 2004; Dahlgaard, J. & Dahlgaard, S. M., 2002; Resch, M. & Peter B., 2001; Lapré, M., et. al., 2000.

Otras investigaciones de caso de estudio han aplicado metodología de superficie de respuesta, mejora en la administración del manejo de residuos sólidos municipales, mejoras en la formulación y tratamiento de soluciones, experimentación con optimización de mejores prácticas de operación con el re-uso y reciclaje de materiales. La investigación sobre la reducción de desperdicios es un tema importante para poder analizar paso a paso y en los siguientes puntos se conocerá más sobre este tema.

### **1.2.1 Antecedentes teóricos de la reducción de desperdicios.**

No se puede hablar de reducción de desperdicios, sino se habla de los orígenes de la producción y los problemas ambientales que se generan, los cuales se mencionaron anteriormente dentro de las problemáticas ambientales en la industria química. Los orígenes de la producción se han basado en los antecedentes registrados. Los primeros administradores consideraron nuevas formas de hacer ruedas, utensilios y bloques. Los egipcios probablemente tenían su versión de la ruta crítica PERT; los romanos con sus construcciones; las obras maestras de arte en la edad media; y la artesanía de los gremios medievales. Todos ellos se caracterizaron por su producción en actividades individuales y la utilización de la fuerza muscular, en vez de la energía mecánica (Riggs, 2008).

La revolución industrial comenzó en Gran Bretaña en el siglo XVIII. Dieron origen a numerosas invenciones tecnológicas (máquina para hilar y máquina de vapor). Oficios tradicionales como la costura, la molienda de harina, la elaboración de cerveza y la fabricación de calzado se transformaron en tareas mecanizadas. El beneficio para el individuo fue un mayor nivel de vida proporcionado por salarios más altos que generaron mayor poder adquisitivo. Esto trajo como consecuencia que la gente demandara más productos, lo cual causó un incremento en el consumo de recursos y la producción de más afluentes de las fábricas por vía aérea y acuática. La industrialización se aceleró en las naciones más desarrolladas por la explotación de la mano de obra barata, las tierras y los recursos de las regiones menos desarrolladas del mundo (Henry & Heinke, 1999).

Durante este periodo los trabajos de Taylor, de Gantt y de los Gilbreth sentaron las bases para la disciplina de la ingeniería industrial. Aunque los adelantos originales son apenas reconocibles en las prácticas modernas. Afianzaron la disciplina a los sistemas de producción, donde todavía desempeña una función vital. Durante la década de los veinte y treinta, las cosas se complicaron al descubrir que las personas no siempre se comportaban como se esperaba y que la complejidad de los nuevos procesos requería más controles. Los estudios de Hawthorne, mejores salarios y condiciones de trabajo no siempre dieron lugar a aumentos proporcionales de producción. Los trabajos de Shewhart, aportaron medidas de control estadístico para garantizar partes

intercambiables que exigían las técnicas de producción en masa iniciadas por Henry Ford. Al aplicarse los controles estadísticos de Shewart se tomaron en cuenta todos los factores como el diseño del producto, la distribución de la planta, la capacidad del trabajador, las condiciones ambientales, los materiales y la actitud de los clientes, todas ellas, dieron lugar al estudio de la totalidad de los sistemas de producción (Riggs, 2008).

En el periodo posterior a la segunda guerra mundial se experimentó un crecimiento sin precedentes en la economía de la mayor parte de los países más desarrollados, en particular Estados Unidos, Japón y la antigua Alemania Occidental. En Estados Unidos, el crecimiento se desarrolló en muchos sectores de la economía: en la agricultura, la manufactura, las comunicaciones, los transportes, las industrias de recursos y otros. Se fabricaron en gran escala nuevos productos (televisores, computadoras, fertilizantes, entre otros). Algunos de ellos sustituyeron artículos menos eficaces, no tan durables o más costosos. Por ejemplo, los detergentes desplazaron a los jabones, las fibras sintéticas tomaron lugar de la lana. Posteriormente se observó que los nuevos productos y los desperdicios derivados de ellos resultaban muy perjudiciales para el ambiente (Henry & Heinke, 1999).

Ante este hecho, grandes avances metodológicos dieron fuerza en el siglo XX, a la calidad de los productos y mejoras en las empresas para el beneficio de los procesos y de los productos, dejando fuera, enfoques de procesos que no consideraban al ser humano en los procesos productivos. Principalmente la transformación del oriente adoptando metodologías occidentales, para hacerlas suyas y mejorarlas, proponiendo nuevos enfoques (mejora continua de los procesos, participación del personal, la satisfacción del cliente, entre otras, con la finalidad de ser más productivos, reducir costos y optimizar los recursos) (Hernández, 2002).

### **1.2.2 Conceptos de desperdicios.**

¿Qué es un desperdicio? Es una pregunta que no se debe confundir. Este concepto ha sido interpretado como desechos, residuos o mermas. De acuerdo con Ezquerra (1998), residuo, desecho y desperdicio son sinónimos en su definición. Ya que desperdicio es un residuo que no es fácil de aprovechar o se deja de utilizar por descuido; desecho es lo que se desecha y no sirve para una cosa y el residuo es el resultado de la descomposición o destrucción de una cosa. Por otra parte merma, es lo que se sustrae de una cosa y se va consumiendo naturalmente.

Estas definiciones nos muestran que tienen relación entre ellas. Aunque hay que hacer la diferencia que desde dos perspectivas importantes podemos interpretarlas mejor. Desde la perspectiva de la empresa tenemos que es común mencionar y encontrar la definición de desperdicio o merma, sin hacer diferencias. Y desde la perspectiva del medio ambiente tenemos que las definiciones de residuo y desecho se vuelven comunes al definirlos.

Por tal motivo, que dichas definiciones son tomadas desde dos áreas importantes para esta investigación y son: desde el punto de vista de la producción de una empresa, como generadora de productos o servicios y desde el punto de vista ambiental de una empresa enfocada en la conservación y cuidado del medio ambiente.

#### *Desde el punto de vista de la producción:*

Los procesos productivos se componen de una serie de actividades que aportan valor a nuestro cliente. Cuando una actividad o consumo de recurso no aportan valor añadido alguno, tomando en cuenta que toda actividad o consumo genera un costo, estaremos hablando de un desperdicio (Cuatrecasas, 2010).

En el contexto del proceso de manufactura, el desperdicio se define como cualquier recurso gastado en exceso de lo requerido y no valorado por el cliente (Sipper & Bulfin, 1998).

Por lo tanto, definir a un desperdicio dentro de un sistema, es lo que no utilizamos cuando una entrada sufre una transformación y no genera un beneficio a una salida, convirtiéndose en una pérdida monetaria. Los desperdicios pueden originarse en cualquier momento del sistema, como lo muestra la figura 19.

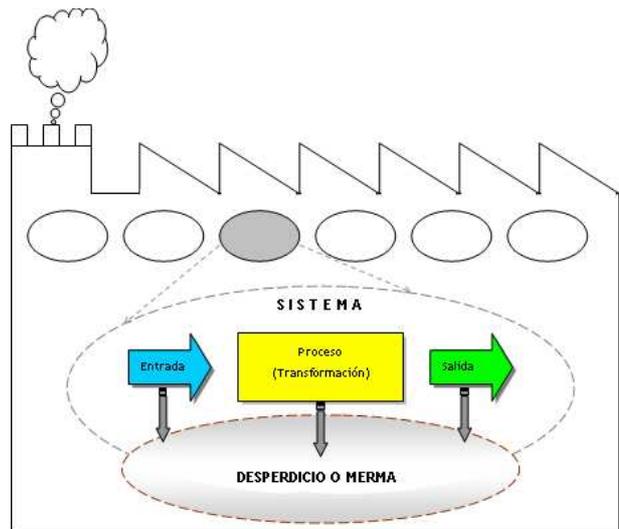


Figura 19. Generación de desperdicios en la empresa.

Desde el punto de vista ambiental:

Desde el punto de vista tecnológico, residuo es toda materia que carece de valor en las circunstancias en que se generan. En rigor, es toda la materia que no es el objetivo de la transformación. Los residuos que genera la actividad humana son de origen doméstico o industrial, considerados estos últimos en su más amplio sentido. Residuos de origen industrial son los de actividades fabriles, agrícolas, forestales y pesqueras. Y los clasifica en cuatro tipos, industriales, no peligrosos, peligrosos y domésticos (Vega, 2002):

1. **Residuos industriales.** Dependiendo del estado de agregación, los residuos industriales se pueden clasificar en: Gaseosos, tales como los residuos de combustión, los de procesamientos de materias primas (como los formaldehidos) y los de industrias de transformación (como los sulfuros orgánicos). Líquidos, tales como las aguas residuales industriales y los solventes orgánicos. Sólidos, tales como desechos de procesos, materias primas no utilizadas, productos sin calidad, envases inutilizados, cenizas, lodos, entre otros.
  
2. **Residuos no peligrosos:** desechos sólidos, líquidos o gaseosos, los que pueden ser: Inertes, aquellos que no causan agresión ni al hombre ni al medio ambiente (como la arena). No inertes, los que ocasionan una agresión moderada al medio ambiente (como los plásticos)

3. **Residuos peligrosos:** aquellos que exhiben una o más de las siguientes características: Inflamabilidad, generalmente líquidos que combustionan con facilidad. Toxicidad, sustancias, generalmente vapores, que dañan a los organismos. Corrosividad ácidos o bases que atacan metales. Reactividad, materiales que se producen en reacciones tales como las que liberan gases (como el ácido cianhídrico).
  
4. **Residuos domésticos.** Los residuos que se generan en las viviendas pueden ser gaseosos, tales como los productos de combustión incompleta de calefactores o calentadores de agua, líquidos, que básicamente son las aguas que van al alcantarillado, y los sólidos que constituyen la basura.

Por otro lado, la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, menciona que los **residuos peligrosos** resultado del desecho de productos fuera de especificación o caducos son las sustancias químicas que han perdido, carecen o presentan variación en las características necesarias para ser utilizados, transformados o comercializados respecto a los estándares de diseño o producción originales.

La **reducción de desperdicios** en un sentido más amplio, incluye todas las prácticas que reduzcan la cantidad de materiales indeseados que se incorporan al ambiente, ya sean peligrosos o no (Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999).

La **minimización de desperdicios** involucra cualquier técnica, proceso o actividad, la cual evite, elimine o reduzca un desperdicio en su origen usualmente dentro de las áreas de producción o permite el uso o reciclaje de los desperdicios para propósitos favorables (Crittenden & Kolaczowski, 1995).

### **1.2.3 Métodos para la reducción de desperdicios.**

Los métodos para lograr la reducción de desperdicios se dividen convenientemente en dos tipos básicos: la reducción de la fuente y el reciclaje. La reducción de la fuente es cualquier acción que reduzca la cantidad de basura que sale de un proceso. Las medidas de la reducción de la fuente incluyen: • Modificaciones al equipo o a las tecnologías, • Modificaciones a los procesos o a los procedimientos, • Reformulación o reajuste de productos, • Substitución de materias primas y • Mejoras en control de la economía doméstica, del mantenimiento, del entrenamiento o de inventario. El reciclaje es el uso, la reutilización o la recuperación de desperdicio, dentro o fuera de sitio, después de que se genere. Los métodos de reciclaje incluyen: • Usando o reutilizando un desperdicio como sustituto para un producto comercial, • Reutilización de un desperdicio para retrasar la compra de un producto comercial nuevo, • Remover los contaminantes de un desperdicio para permitir su reutilización y • Reclamar componentes útiles dentro de un material de desperdicio (Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999).

También los métodos para administrar los desperdicios y la contaminación en una empresa deben verse como estrategias. Las estrategias industriales están basadas en los tratamientos tecnológicos al final del proceso, los cuales son más apropiados referirse como estrategias de control, significa su objetivo, que es realmente para controlar las emisiones y desperdicios dentro de los límites legales permisibles de descarga. Ambas estrategias tiene dos desventajas (Cheremisinoff, 2003):

1. Requieren costos disponibles que están asociados con operaciones y mantenimiento y con el uso de la energía, y generan muchos costos escondidos e indirectos.
2. Liberación de componentes al ambiente peligrosos, infecciosos y tóxicos y que continúe por muchos años, la posición de los riesgos a la salud a largo plazo pone en peligro al medio ambiente simplemente porque las formas de desperdicio sólo son transformadas y no enteramente eliminadas o completamente inmovilizadas.

Las estrategias de administración de desperdicio y contaminación se basan en el esfuerzo por prevenir o erradicar ambas desventajas, porque ellas eliminan la contaminación o el desperdicio desde el origen. Cuando vemos el riesgo de las estrategias que están disponibles, una jerarquía generalizada basada en responsabilidad a largo plazo o los riesgos asociados con la administración del desperdicio y contaminación y los costos asociados en cada uno, llegan a ser obvios. Esta jerarquización estratégica para administrar el desperdicio es como sigue (Cheremisinoff, 2003):

- Prevención. – esta estrategia previene los desperdicios a partir de que son formados desde su origen.
- Reciclaje/Recuperación del recurso/Desperdicios a la energía (R3WE, por sus siglas en inglés) – reciclaje y re-uso de materiales, la recuperación de ciertos desperdicios para su re-uso (conocido como recuperación de recursos), y la conversión de ciertos tipos de desperdicios en energía útil, como calor, electricidad, y agua caliente son estrategias, las cuales recuperan y compensan los costos totales de la administración de los desperdicios.
- Tratamiento – cuando los desperdicios no pueden ser prevenidos o minimizados a través del re-uso y reciclaje, entonces necesitamos perseguir estrategias que apunten a la reducción de volúmenes o toxicidad. Los tratamientos tecnológicos son procesos que se enfocan en estabilizar los desperdicios, reduciendo la toxicidad, reduciendo el volumen antes del último desecho, o en algunos casos crear el uso limitado de productos.
- Desechar – la otra estrategia disponible es el desecho. Las prácticas de desecho del desperdicio están integradas dentro de las estrategias de administración ambiental de todos los municipios, son integrales para muchas operaciones de manufacturas, y muy a menudo están entre los más altos componentes de costos directos. Desde el punto de vista del negocio, es por lo menos la estrategia deseable y una que pueda ser directamente dirigida por la administración del desperdicio.

La figura 20 ilustra el comparativo de los riesgos relacionados y los costos asociados con cada estrategia. Las estrategias que reducen o eliminan desperdicio antes, inclusive creadas, son preferibles a esas que incurren en gastos por tratar y desechar los desperdicios que son generados continuamente, porque los riesgos a largo plazo y los costos son más bajos.

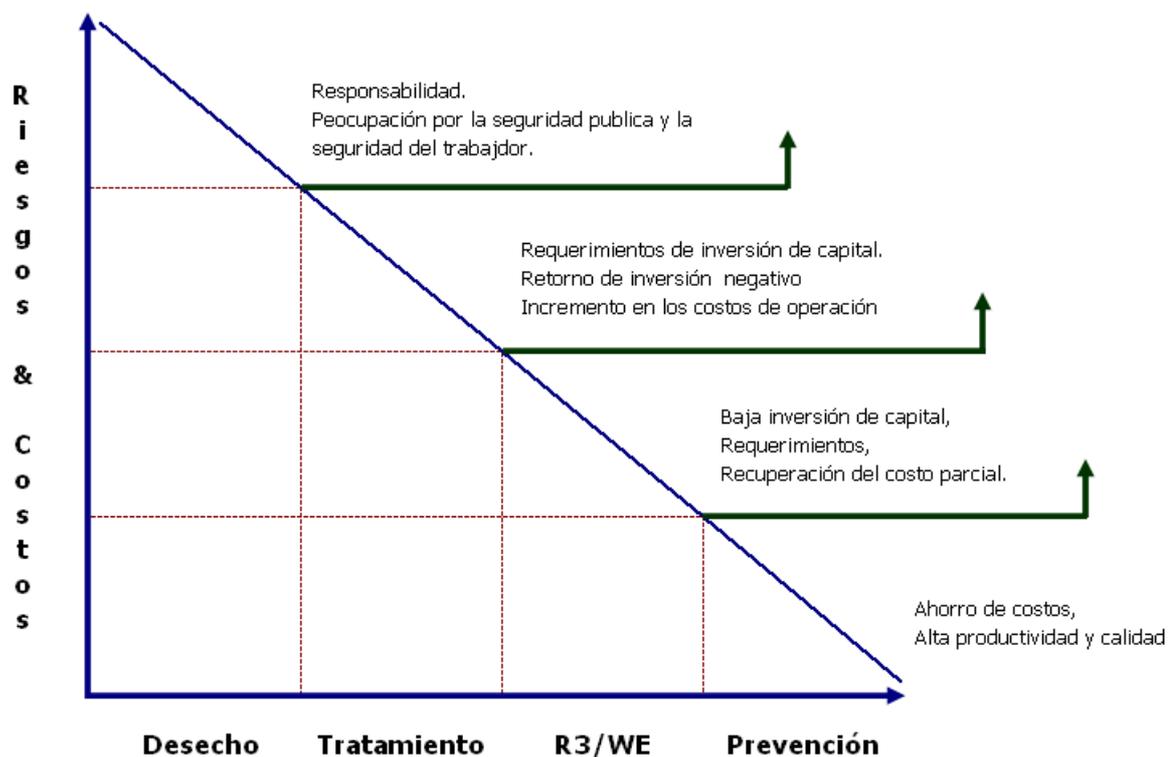


Figura 20. Jerarquía estratégica para la administración del desperdicio y la contaminación (Cheremisinoff, 2003).

Además los métodos de reducción de desperdicios fueron considerados desde 1976 por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) para incorporar la protección ambiental al proceso de manejo de los desperdicios industriales y trae consigo cuatro tipos de métodos (Departamento de protección ambiental de la Florida, 2007):

1. Reducción de las fuentes de producción de desperdicios. Consiste en reducir la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes que forman parte de una cantidad de desperdicios. Realizando modificaciones a la tecnología, equipo, procesos, rediseño de productos, cambio de materiales, capacitación y mejoras de mantenimiento, de almacenes.

2. Reciclaje Este método de reducción de desperdicios consiste en usar y rehusar cierto desperdicio. Este es el método preferido para sustancias peligrosas o contaminantes cuya fuente de producción no puede reducirse.
3. Procesamiento. Este método de reducción de desperdicios sólo debe emplearse cuando cierto desperdicio no puede evitarse ni reciclarse. El procesamiento es cualquier método que física, química o biológicamente cambia el carácter o la composición de cierto desperdicio, que recupera su energía y/o ciertos de sus componentes, que lo hace menos peligroso o no peligroso, que reduce su volumen, que lo hace más seguro para su transporte, almacenamiento o desecho o que lo hace más fácil de reciclar o de almacenar.
4. Desecho. Este método de reducción de desperdicios sólo debe utilizarse cuando cierto desperdicio no puede evitarse, no puede reciclarse ni puede procesarse. El desecho es la descarga, el depósito, la inyección, el derrame o la filtración de desperdicios de manera que sustancias peligrosas entran en contacto con el suelo, el agua o el aire.

Estos métodos de reducción de desperdicios dan la pauta para definir que tipo y hacia donde se puede definir la investigación. Cada uno se pueda contemplar como una estrategia, la cual requiere de ser administrada para establecer objetivos claves dentro de la empresa. Existe una metodología para la minimización de los desperdicios, desarrollada por Crittenden y Kolaczkowski (1995), la cual será analizada en el método de investigación. Esta metodología propone una serie de herramientas de apoyo para la minimización de los desperdicios, las cuales aparecen en la figura 21.



Fig. 21. Herramientas para la minimización de los desperdicios (Crittenden & Kolaczkowski, 1995).

#### **1.2.4 La simulación como herramienta de validación.**

El uso de la simulación tal y como se conoce ahora comenzó durante la década de 1970 y principios de la de 1980. Debido a la rapidez de las computadoras, aunque solo se aplicaba en empresas grandes para resolver problemas que generaban desastres y así determinar que ocurría. Por lo tanto, la simulación se refiere a un gran conjunto de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas reales, generalmente en una computadora con un software apropiado (Kelton, et. al., 2008).

Las áreas de aplicación de la simulación son numerosas y diversas. Además, en problemas de tipo particulares, la simulación se ha convertido en una herramienta útil y poderosa. Algunas de ellas son (Law, 2007):

- Diseño y análisis en sistemas de manufactura
- Evaluación de sistemas de armas militares y sus requerimientos de logística.
- Determinar los requerimientos de hardware y software para un sistema de computadora
- Diseño y operación de un sistema de transporte
- Evaluación de diseño para empresas de servicio
- Reingeniería de los procesos de negocios
- Análisis de la cadena de suministro
- Determinar las políticas de pedidos para un sistema de inventario

La simulación es ampliamente usada para estudiar sistemas complejos. Algunas ventajas de la simulación que pueden ser tomadas en cuenta como un recurso, son las siguientes (Law, A., 2007):

- Sistemas complejos del mundo real que no puedan ser descritos por un modelo matemático ni evaluados analíticamente
- La simulación permita estimar el desempeño de un sistema actual bajo un conjunto de condiciones operativas planeadas
- Un sistema propuesto diseñado (o con políticas operativas para un sistema simple) puede ser comparado vía simulación para observar y satisfacer un requerimiento específico
- En una simulación se puede mantener un mejor control sobre condiciones experimentales

- Nos permite estudiar un sistema a largo plazo, en tiempo mínimo o alternativo para estudiar los trabajos a detalle de un sistema incrementando el tiempo

En términos particulares la simulación puede ser usada para verificar y validar las suposiciones necesarias en un modelo analítico (Law, 2007). Existen algunos simuladores de propósito específico que han sido desarrollados para apoyar en la reducción de los desperdicios, alguno de ellos son: Simulador CHEMCAD compara el desempeño de varias modificaciones del proceso con el medio ambiente; Simulador ASPEN PLUS simultáneamente maximiza el beneficio y minimiza el impacto en el medio ambiente y Simulador HYSYS utilizado como herramienta de pantalla para evaluar lo económico y la viabilidad del medio ambiente de un proceso. Estos son algunos de ellos, aunque su uso depende considerablemente de la ayuda por parte de los empleados para determinar las características y las variables que intervienen en el control de todos los desperdicios (Halim, I. y Srinivasan, R., 2006).

Como hemos visto, la simulación puede ser usada como una herramienta para validar la propuesta a desarrollar en la empresa US Technologies. El software utilizado será ARENA; ya que es un sistema de simulación avanzado, tiene un ambiente interactivo para verificar y analizar modelos y por ser parte del programa de estudios. Fue desarrollado por la empresa System Modeling Corporation en el año de 1993 (Takus y Profozich, 1997). Actualmente, pertenece a la compañía Rockwell Automation y puede ser adquirido en la página web [www.ArenaSimulation.com](http://www.ArenaSimulation.com) (Rockwell Automation, 2005).

### **1.3 Avances de la presente investigación.**

En este punto se mencionará cual es el problema que presenta la investigación, con la finalidad de indicar el propósito que se tiene. Además, se plantearán preguntas de investigación, hipótesis y el objetivo general, las cuales nos indica hacia donde está dirigida la investigación.

Nuestro país ha tratado de encontrar las mejores alternativas que le generen competitividad a las empresas, apertura de mercados, apoyo con créditos a empresas, créditos para la generación de empresas y con ello generar más empleos en el país. Sin embargo, las empresas, como US Technologies, ante la crisis económica y con una lenta recuperación, se han visto en la necesidad de reducir su personal, reducir los desperdicios y conservar sus clientes.

En UST se han presentado una serie de problemáticas relacionadas con la falta de control en etapas del proceso en el área 5 en Uno, la cual en sus líneas de producción automáticas se generan la mayor producción de productos y por ende, se incrementa el número de desperdicios detectados. Han sido varios los factores localizados como generadores de desperdicio, por un lado las fallas en la maquinaria y por el otro la falta de controles que ayuden a la medición y control en las actividades críticas del proceso.

Recientemente se han hecho investigaciones aplicativas en empresas sobre la aplicación de desperdicios en diferentes partes del mundo. Utilizando herramientas como investigación de operaciones, simulación, modelos para minimizar desperdicios, algoritmos para reducir desperdicios, un sistema de incentivos, TQM, sistema para reducir desperdicios, Lean manufacturing, 5 S y TQM juntas, todas ellas han sido herramientas de dos tipo, de evaluación de impacto y administrativas como las mostradas en la figura 20. El diseño de una metodología para la reducción de desperdicios en UST es una estrategia importante para disminuir los costos e incrementar la productividad, además de establecer controles en cada una de sus etapas a fin de generar el menor impacto ambiental.

### **1.3.1 Pregunta de investigación**

Con lo anterior nos surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles serán los beneficios para la empresa US Technologies con la propuesta en el diseño de una metodología para de reducción de desperdicios?

### **1.3.2 Hipótesis**

Identificadas las preguntas de investigación, surge la hipótesis de investigación, la cual nos dice: Con el diseño de la metodología para la reducción de los desperdicios se incrementará la productividad, disminuirán los costos y se minimizará la generación de desperdicios en la empresa US Technologies.

### **1.3.3 Objetivo de la investigación**

Establecidas las preguntas de investigación y la hipótesis se estructura el objetivo de la siguiente manera:

Acción: Diseñar

Aspecto: una metodología para la reducción de desperdicios

Teoría: con base en la revisión teórica de los métodos y herramientas para la reducción de desperdicios

Finalidad: con el fin de minimizar los costos de las fuentes de procesamiento y generación de los desperdicios

Lugar: en la empresa US Technologies.

Por lo tanto, la estructura del objetivo de investigación es de la siguiente manera:

*Diseñar una metodología para la reducción de desperdicios, con base en la revisión teórica de los métodos y herramientas para la reducción de desperdicios, con el fin de minimizar los costos de las fuentes de procesamiento y generación de los desperdicios en la empresa US Technologies.*

## **2. MÉTODO**

En este punto se hablará de las metodologías sobre la reducción o minimización de desperdicios; cuáles son sus ventajas, que beneficios se pueden obtener con su aplicación. Además, se presentará una evaluación de las metodologías tomadas en cuenta para la realización de la propuesta metodológica en el siguiente punto. Se mencionan un conjunto de herramientas que apoyan a la reducción de desperdicios y como están clasificadas dependiendo su enfoque, por ejemplo, administrativas, operativas de impacto y de diseño.

### **2.1 Reducción o minimización de desperdicios.**

La minimización de desperdicios involucra cualquier técnica, proceso o actividad, la cual evita, elimina o reduce un desperdicio desde su origen, usualmente dentro de los confines de la unidad de producción, o permite el re-uso o el reciclaje del desperdicio para un buen propósito. Algunos términos o sinónimos incluyen (Crittenden & Kolaczowski, 1995):

- Minimización de desperdicio
- Reducción de desperdicio
- Limpieza o tecnología, ingeniería o proceso limpia
- Prevención/reducción de contaminación
- Tecnologías del medio ambiente
- Tecnologías de bajo y no-desperdicio

Varias metodologías se han propuesto en el campo de la minimización de desperdicios para enfrentar la complejidad que representa. El éxito de la aplicación de esos métodos depende de la identificación apropiada, conjunto y clasificación de la información relevante requerida para cada caso (Reyes, et. al., 2008). Los métodos de reducción de desperdicios ya han sido mencionados; y una de las mejores estrategias es la reducción de desperdicios desde la fuente, pues nos genera un ahorro de costos, alta productividad y mejor calidad y es considerada como prevención de aparición de desperdicios desde que entran al proceso (Crittenden & Kolaczowski, 1995; Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999; Cheremisinoff, 2003; Departamento de protección ambiental de la Florida, 2007).

La meta de cero desperdicios, es difícil de alcanzar, en cualquier actividad. Por lo tanto, la posición relativa de varias estrategias de administración de desperdicio es mostrada de manera más práctica y generalmente aceptada jerárquicamente como administración de desperdicios. Y se muestra en la tabla 8 (Crittenden & Kolaczowski, 1995).

Eliminación	Completa eliminación de desperdicio	 <b>Prioridad más alta</b>  <b>Prioridad más baja</b> 
Reducción al origen	La evitación, la reducción o la eliminación del desperdicio, generalmente dentro de los confines de la unidad de producción, a través de cambios en procesos industriales o procedimientos.	
Reciclar	El uso, el re-uso y el reciclaje de los desperdicios para el propósito original o algún otro, tal como la entrada de material, recuperación de materiales o producción de energía.	
Tratamiento	La destrucción, detoxificación, neutralización, etc. de desperdicios dentro de sustancias menos dañinas.	
Desecho	La liberación de desperdicios al aire, agua o tierra correctamente controlada o en forma segura a fin de reducir lo dañino. Asegurar la destrucción de la tierra puede involucrar reducción de volumen, encapsulamiento, contenedor y monitoreo de técnicas.	

Tabla 8. Jerarquía de las prácticas de administración de desperdicios. (Crittenden & Kolaczowski, 1995)

## 2.2 Ventajas de la reducción de desperdicio

La minimización de desperdicios puede proporcionar beneficios a largo plazo de dos maneras. Primero, puede asistir al logro y mejora en la regulación de requisitos. Segundo, puede proporcionar una compañía con oportunidades para mejorar los beneficios por (Crittenden & Kolaczowski, 1995):

- realizar ventajas económicas específicas:
- reducción de responsabilidades
- promover una imagen pública positiva

- mejorar la salud y la seguridad de empleados:
- eficacia de funcionamiento de aumento y por lo tanto reducción de costos de producción.

Los proyectos de la minimización de desperdicios se deben evaluar de manera semejante como oportunidad de negocio. Con la puesta en práctica de un proyecto de minimización de desperdicio es probable incurrir en la inversión de capitales adicional, los cuales pueden ser recompensado con los siguientes beneficios (Crittenden & Kolaczowski, 1995):

- Reduce en el sitio los desperdicios, monitoreando, controlando y tratando los costos.
- Reduce el manejo, pre-tratamiento, transporte y los desechos fuera de sitio en costos.
- Reduce el almacenaje y espacio de desperdicios, de tal modo que se creen más espacios para operaciones productivas.
- Reduce los costos administrativos y papeleo asociado con el desecho de los desperdicios.
- Reduce los costos analíticos para la identificación y caracterización de desperdicios específicos.
- Reduce los costos de producción, incluyendo el flujo de material, energía y el uso de requerimientos
- Reduce los riesgos de manejo de materiales peligrosos, y por consiguiente, mejora la salud y seguridad de los trabajadores.
- Reduce el riesgo para el medio ambiente manifestados por la reducción o la eliminación de las cargas responsables:
- Reduce el riesgo de generar una apertura en condiciones de autorización, consentimiento o licencia y por consiguiente reduce el riesgo de procesamiento.
- Mejora la eficiencia operativa y la confiabilidad de los procesos.
- Mejora la imagen de la compañía en los ojos de los inversionistas, de los trabajadores y de la comunidad.

Los proyectos de la minimización de desperdicio traen consigo beneficios para la salud ocupacional y la seguridad. Si la generación inicial de los desperdicios es reducirlos, entonces claramente los riesgosos disminuyen. Por otro lado, si la misma cantidad de desperdicio está siendo administrada mejor, u gran numero de personal podría estar expuesto a los peligros que generan algunos desperdicios. Por lo tanto, se deben revisar estándares para su control. En la etapa económica de la evaluación de un programa de minimización de desperdicio, es importante que todas las ventajas potenciales estén valoradas y cuantificadas correctamente (Crittenden & Kolaczowski, 1995)

### **2.3 Metodologías para la reducción de desperdicios.**

El éxito y la extensa aplicación de metodologías para la reducción de desperdicio, han fallado por alcanzar beneficios significativos en las industrias. Una de las razones, es la falta de métodos comprensibles que integren y guíen la aplicación de herramientas dependiendo el caso de estudio (Reyes, et. al, 2008). Es por eso, que las metodologías que serán revisadas, fueron consideradas por su completo y puntual análisis en la reducción de desperdicios. Crittenden y Kolaczowski, propusieron una metodología aplicativa a cualquier problema de reducción de desperdicios. La agencia del medio ambiente, consideró cinco herramientas de análisis para la información, y que ayudan a la reducción de desperdicios. Reyes, Sharratt y Arizmendi propusieron una nueva metodología con la finalidad de analizar un problema con la poca cantidad de información disponible. Halim y Srinivasan han propuesto diferentes enfoques de metodologías para la reducción de desperdicios y el aquí mencionado es sobre la aplicación de una metodología a empresas de producción en lotes. Al final se analizaron dos planes desarrollados por el departamento de la Florida y Tennessee enfocados directamente sobre la reducción de desperdicios.

#### **1. Crittenden y Kolaczowski**

Los autores Crittenden y Kolaczowski, desarrollan en 1995 una propuesta del procedimiento de pasos de la metodología para la minimización de desperdicios, ver figura 22, apropiada para todas las compañías de la ingeniería de procesos, aunque puede ser adaptado para resolver necesidades locales. Tiene como primer paso un programa de minimización de desperdicios, fijar las metas y la elaboración de

programas establecidos, que son consistentes con la política adoptada por la administración de la compañía. Las metas cualitativas tales como “una reducción significativa en la cantidad de sustancias que se lanzarán en el ambiente” son demasiado vagas. Las metas cuantitativas y los tiempos de escala, aunque más difíciles de establecer, no sólo comunican el compromiso de la compañía para mejorar y minimizar los desperdicios, sino también para proporcionar una base para medir los procesos. El tamaño del grupo del empleado requerido para desarrollar las metas depende del tamaño y de la complejidad del establecimiento. Sin embargo, se vuelve esencial que la gerencia mayor éste implicada en el proceso (Crittenden & Kolaczowski, 1995).

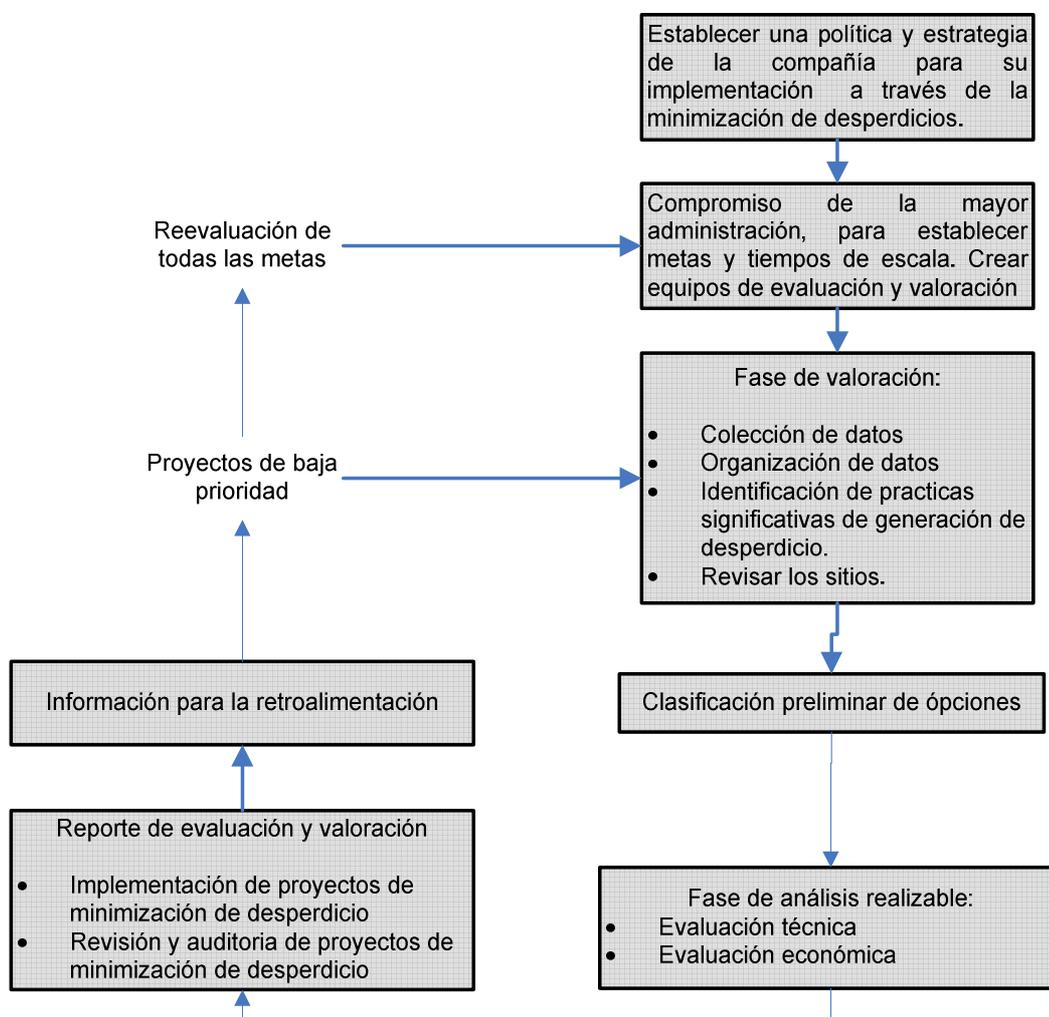


Fig. 22. Pasos para la metodología de reducción o minimización de desperdicios. (Crittenden & Kolaczowski, 1995)

## **2. Metodología de la agencia del medio ambiente**

La metodología de la agencia del medio ambiente en 1998 estableció una metodología para la minimización de los desperdicios en las empresas del Reino Unido. Esta metodología ha sido integrada con otras metodologías dentro de la serie de pasos mostrados en la figura 23 (Integración de procesos, DuPont, OLCAP, ENVOP y ENVOPexpert). Es importante contar con un equipo de expertos, para adecuar los criterios y seleccionar las opciones correctas para la mejora de los procesos (Reyes, et. al., 2008).

- Valoración del alcance
- Comité para la acción
- Pre – evaluación de los procesos
- Colección de datos y análisis
- Análisis del costo verdadero del desperdicio
- Nivel de prioridad
- Generación de opciones para la mejora continua
- Valoración de oportunidades o análisis factible
- Implementación de proyectos y mantenimiento

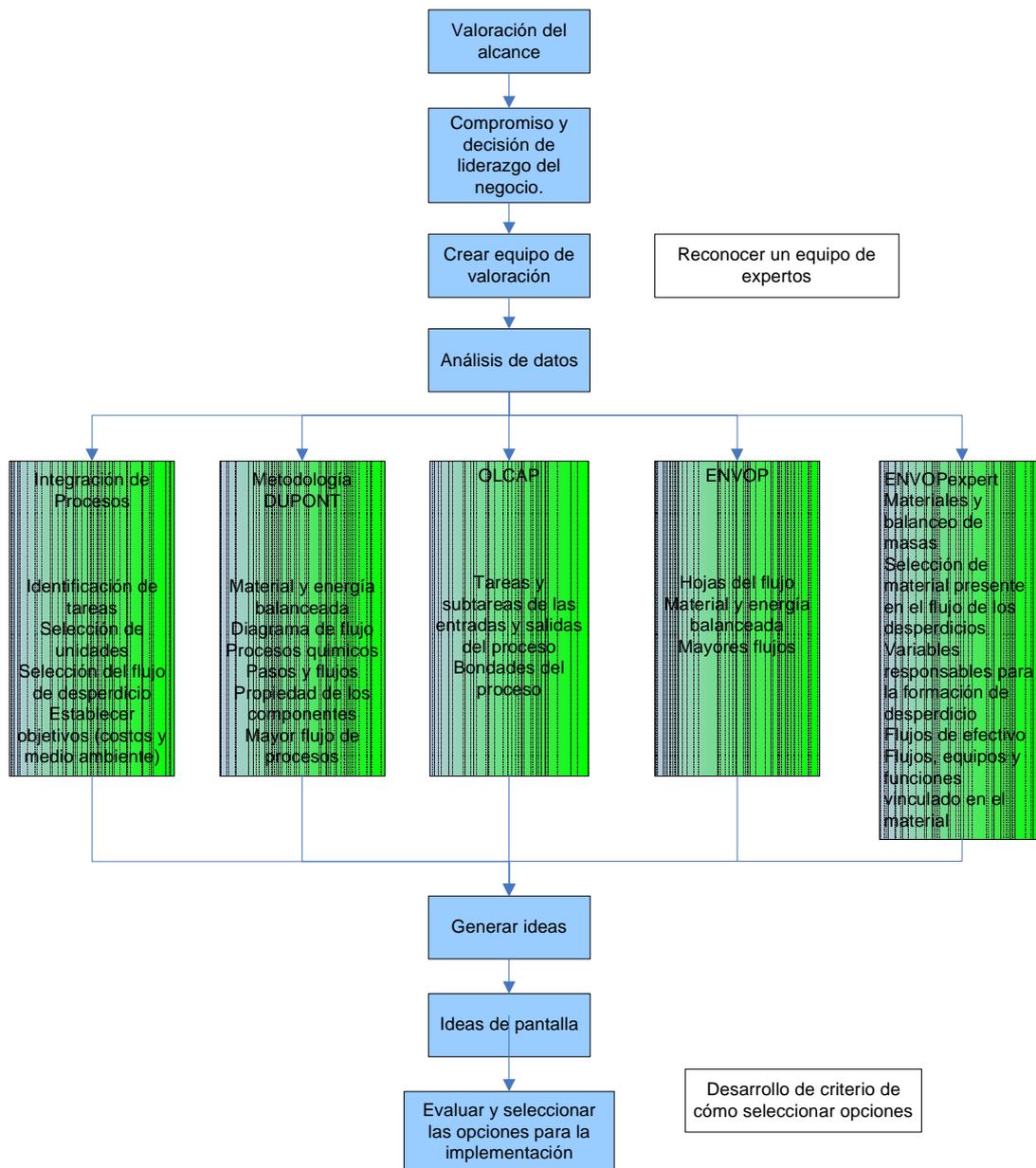


Figura 23. Revisión de los pasos sugeridos por la principal metodología para minimizar los desperdicios. (Reyes, et. al., 2008)

Como se aprecia en la figura 23, la etapa de análisis de datos muestra una lista de información de salida importante, a través de metodologías y herramientas que ayudan a todo el proceso de reducción de desperdicios, de las cuales, la metodología Dupont y OLCAP serán descritas a continuación y más adelante, las restantes, dentro del conjunto de herramientas que se emplean para la reducción de desperdicios:

## **Metodología DuPont**

DuPont desarrolló una metodología para la minimización de desperdicios con la finalidad de identificar nuevas oportunidades de mejora en los procesos que minimicen o reduzcan los desperdicios. Esta metodología está basada en los siguientes principios (Mulholland y Dyer, 1999):

- El flujo volumétrico de una corriente de desperdicio de agua o gas y el flujo volumétrico y la carga orgánica de una corriente de agua residuales determina el tratamiento requerido al final del proceso y el costo de operación.
- El mismo flujo de agua y gas influyen en los costos de inversión y de producción de la empresa.
- El tratamiento al final del proceso es requerido sólo porque la corriente contiene componentes que tienen que ser abatidos o removidos.

Mulholland y Dyer utilizaron estos principios para desarrollar un método con dos fases para el análisis de proceso y la reducción de desperdicios. **La primera fase** en identificar las oportunidades de reducción de desperdicios, es el análisis de la corriente del desperdicio de una compañía, implicando cuatro pasos: 1. Listar todos los componentes en la corriente del desperdicio, así como, sus parámetros claves. 2. Incluye la identificación de los componentes disparadores de mayor interés. 3. Identificación de los materiales con volumen más alto. 4. Incluye la valoración continua. Si con los pasos 2 y 3 se obtiene una minimización satisfactoria, seguir con el siguiente conjunto de componentes. **La segunda fase** incluye el análisis del proceso para ser modificado o eliminado a través de cuatro pasos: 1. Todas las materias primas, incluyendo intermediarios, son enlistadas. 2. Generar la lista de los materiales que no forman los productos vendibles. 3. Encontrar las formas de usar los materiales del punto 1, en lugar de los del punto 2, o encontrar formas para modificar los procesos y evitar materiales que se conviertan en desperdicio. 4. implica mirar exclusivamente en los productos y preguntarse de ser posible modificar, reducir o eliminar la química de dichos productos. El uso combinado de los análisis de la corriente de los desperdicios y del análisis del proceso resulta en un plan tecnológico para dirigir el proceso más allá de la reducción de desperdicios (Mulholland y Dyer, 2001).

### **OLCAP (Optimum Life Cycle Assessment Performance)**

La evaluación del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés), representa una aplicación de un sistema de análisis de problemas de administración del medio ambiental. Su interpretación de pensamiento de sistemas es, desde la raíz, a diferencia de otros métodos usados para seleccionar y diseñar procesos. LCA es una herramienta cuantitativa para el rendimiento del medio ambiente, basada alrededor del balance de la masa y la energía pero aplicado a un sistema económico completo, en lugar de un proceso simple. Este representa un análisis del sistema convencional, el cual la bondad del sistema es dirigida sólo alrededor del proceso en interés. Aplicado al análisis del proceso puede tener dos objetivos; el primer objetivo es la cantidad y la evaluación del rendimiento del medio ambiente de un proceso y así ayudar a tomar decisiones y seleccionar entre procesos alternativos y rutas de procesos. El otro objetivo es ayudar a identificar opciones para mejorar el rendimiento de un sistema medio ambiental. La herramienta OLCAP es un sistema general para la optimización del rendimiento LCA obteniéndose a partir de cuatro pasos: 1. Completar un estudio de LCA, 2. Formular un problema de optimización dentro del contexto de LCA, 3. Aplicar la optimización multiobjetivo en base a criterios económicos y medio ambientales, y 4. Análisis de decisión multicriterio y selección de la mejor solución compromiso. La optimización multiobjetivo usada en este método se convierte en un método más efectivo para la administración de un sistema medio ambiental, al ofrecer un número de alternativas de soluciones óptimas e identificar y seleccionar las mejores opciones de prácticas medio ambientales y la mejor técnica que no implique un costo excesivo (Azapagic y Clift, 1999).

### **3. Reyes, Sharratt y Arizmendi**

Los autores Reyes, Sharratt y Arizmendi en el 2008, proponen una metodología que contempla la identificación y la aplicación de cada metodología y herramienta dependiendo del tipo de problema o de la etapa del proceso. Así como, la adaptación de las metodologías existentes en un método flexible de la administración del conocimiento, además que utilice la calidad y la cantidad de información disponibles. Todo a través de una estructura ontológica que permita la identificación de la información que falta, que es requerida y proporcione una metodología aplicable con

herramientas para la identificación acertada de las soluciones de la minimización de desperdicios, como lo muestra la figura 24 (Reyes, et. al., 2008).

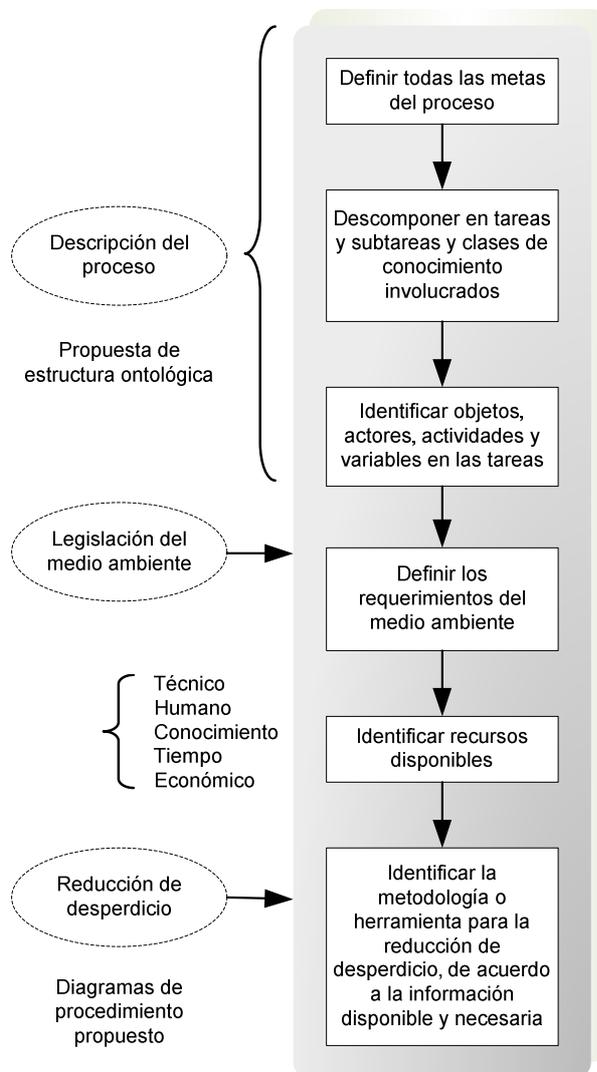


Figura 24. Estructura general de la metodología propuesta (Reyes, et. al., 2008).

Esta propuesta comienza con la definición de los requisitos ambientales o de las ventajas de un plan para la reducción de desperdicio. Donde la reunión, la representación y la modelación de la información de todos los niveles del personal dentro del proceso son esenciales para asegurar la integración y el éxito de las diversas acciones de la reducción de desperdicios.

La metodología divide el conocimiento sobre un proceso en cinco clases principales (mostrado en la figura 25) que contribuyan en diversos niveles al uso acertado de las herramientas para la reducción de desperdicios.

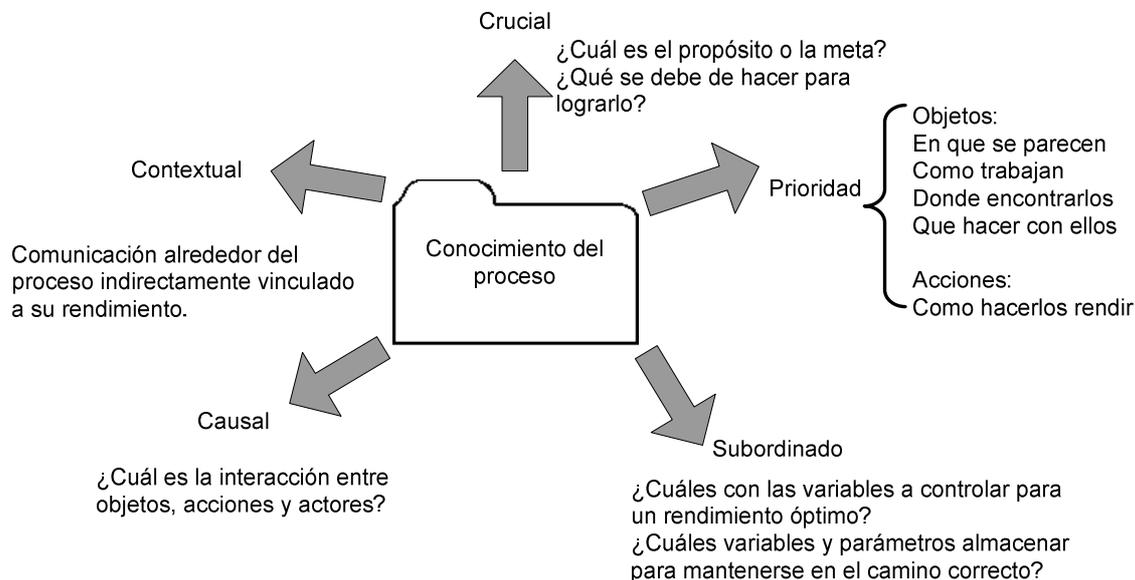


Figura 25. Cinco clases principales para el conocimiento del proceso (Reyes, et. al., 2008).

El conocimiento crucial se enfoca en los procedimientos y permite que el proceso sea descrito inicialmente. El conocimiento de prioridad es usualmente obtenido de una forma empírica y puede ser identificado por el hecho de que muchos de los artículos necesarios y la acción para desempeñarse son asumidas al ya ser conocidas por la persona que realiza los procedimientos. El conocimiento subordinado es identificado como uno de los que no definen el proceso, pero sin el cual, el desempeño de los agentes involucrados puede ser no satisfactorio o no exitoso. El conocimiento causal está en la forma de relaciones que contribuyan a un cambio. El conocimiento contextual se refiere a la contribución de cualquier situación que afecte la percepción de los actores o el desempeño de los objetos (Reyes, et. al., 2008).

- El conocimiento **crucial** es uno de los responsables de la descripción inicial del proceso.
- El conocimiento **anterior** refiere a la información obtenida previamente sobre los objetos, los agentes y las acciones necesitados para realizar una tarea.

- El conocimiento **subordinado** es el único sin el cual, el funcionamiento del proceso pudo ser insatisfactorio o fracasado.
- El conocimiento **contextual** se refiere a la contribución de cualquier situación que afecta la opinión de los agentes o del funcionamiento de los objetos, tales como restricciones psicológicas o ambientales.
- El conocimiento **causal** se identifica en la forma de relaciones entre los objetos, los agentes y las variables

#### **4. Halim y Srinivasan**

La reducción de desperdicios es uno de los mayores problemas que enfrentan las empresas de producción en lotes. Para lo cual, los autores Halim y Srinivasan en el 2004, desarrollaron una metodología sistemática para el análisis de la reducción de desperdicios para cualquier planta química de producción en lotes. La metodología consiste de una regla heurística y métodos, los cuales diagnostican el origen de los desperdicios usando graficas P y recomendando el máximo nivel de reducción de desperdicio, el cual puede ser definido a detalle usando diagramas causa y efecto y modelos funcionales. El comparativo entre las opciones de reducción de desperdicio generadas por la metodología y por el equipo de expertos muestra que esta metodología es capaz de identificar la precisión de soluciones básicas de reducción de desperdicios (Halim, I. y Srinivasan, R., 2004).

#### **5. Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee**

La asamblea general de Tennessee, estableció una política de estado para la reducción de desperdicios en 1988, ente la preocupación y problemática del incremento de desperdicios sólidos y peligrosos. Los elementos del plan están basados en problemas del medio ambiente. Los pasos para el plan de reducción de desperdicios son los siguientes (Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999):

1. Obtener un compromiso de la administración
2. Definir el alcance, objetivos y metas
- 3: Hacer un equipo
4. Dirigir una valoración de desperdicio

5. Rastrear los costos
6. Evaluar opiniones
7. Implementar el plan
8. Medir los resultados
9. Hacer un comité a largo plazo y
10. Actualizar el plan de reducción de desperdicio.

## **6. Departamento de protección ambiental de la Florida**

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, *USEPA* por sus siglas en inglés) estableció en 1976 una declaración, para unas prioridades relacionadas con el manejo de los desperdicios peligrosos y así incorporar la protección ambiental al proceso de manejo de los desperdicios industriales. Estableció cuatro estrategias para la reducción (fuentes de producción, reciclaje, procesamiento y desecho). Con ello se apoyó en la creación de un plan de desperdicio el cual se lleva a cabo con los siguientes pasos (Departamento de Protección Ambiental de la Florida, 2007):

1. Declaración del Objetivo General y Compromiso de la Administración
2. Alcance y Objetivo(s) Específico(s) del Plan
3. Designación del Grupo de Reducción de Desperdicios
4. Evaluación de los Desperdicios Generados
5. Prioridades en el Manejo de Desperdicios
6. Identificación, Evaluación y Selección de Opciones
7. Establecimiento de Objetivos para la Reducción de Desperdicios
8. Implementación de la Opción para la Reducción de Desperdicios
9. Medida de los Resultados y Evaluación del Progreso
10. Establecimiento del Ciclo de Revisión del Plan

## 2.4 Herramientas para la reducción de desperdicios.

Ahora bien, Reyes, Sharratt y Arizmendi mencionan que existe una clasificación de herramientas usadas para la reducción de desperdicio (figura 20). Sin embargo, para seleccionar cualquiera de esas herramientas, es importante entender sus metas y su campo de aplicación. En la siguiente tabla 9, se muestra una guía de las herramientas usadas, de acuerdo a las etapas en el plan de la metodología propuesta por la agencia del medio ambiente (Reyes, et. al., 2008).

<b>Etapas en el plan de minimización de desperdicio</b>	<b>Herramienta técnica o metodología para el desarrollo del punto</b>	<b>Características para su aplicación</b>
Valoración	P-graph, digraphs	Identificación de la relación entre flujos, operaciones y tareas
Compromiso de la administración	Cost benefit analysis	Identificación de proyectos de intercambio comercial
Recolección de datos	Process flow diagrams	Mapeo del flujo de materiales a través de los procesos
	Process integration	La etapa de análisis de esta metodología permite la identificación de los elementos constituyentes de todo el proceso
	ISO 9000	Identificación de los requerimientos de información para un rendimiento eficiente de los procesos
Análisis del costo real del desperdicio	DuPont methodology	Consideración de parte de los desperdicios obtenidos como productos vendibles
	P-graph	Identificación de productos en uso y en no uso.
Nivel de prioridad	Onion diagram, waste reduction algorithm	El peso de los diferentes problemas en la minimización de desperdicio en el proceso para determinar en cual orden tendrá que ser abordados.
Generación de opciones para la mejora	Dupont methodology	Completo entendimiento de los procesos para eliminar o reducir el origen de los desperdicios
	Hierarchical decision	Una lista clara y organizada de los diferentes factores relacionados al proceso y su relación.
Oportunidad de valoración y análisis de factibilidad	Optimum application of LCA	Generación de modelos de optimización tomando en cuenta criterios económicos y del medio ambiente
	Process integration	Evaluación para entender si el diseño de los objetivos son conocidos junto con la solución óptima del problema
	Hierarchical decision	Evaluación de alternativas de las relaciones identificadas en etapas previas
Implementación del proyecto	Optimum application of LCA	Identificación de áreas en las cuales las acciones tienen que ser tomadas y sus procedimientos para tomar acción.
	ISO 9000	

Tabla 9. Herramientas y metodologías para pasos específicos en un plan de minimización de desperdicios (Reyes, et. al., 2008).

Estas herramientas están clasificadas en cuatro tipos, basadas en su aplicación tenemos: herramientas para el diseño de procesos, herramientas operativas, herramientas administrativas y herramientas para la evaluación del impacto. Algunas de ellas ya han sido comentadas, las demás serán descritas en los siguientes puntos.

#### **2.4.1 Diseño de procesos**

##### **Process integration**

La integración de procesos es confundida con el diseño de las redes de los intercambiadores de calor. Ya que el diseño de las redes del intercambiador de calor es parte de la integración de procesos. La integración de proceso tiene el objetivo del diseño y de la optimización de los sistemas de fabricación químicos integrados. La integración de procesos inicia con la selección de una serie de pasos del proceso y de allí los interconecta para formar un sistema de producción para transformar la materia prima dentro de los deseos del producto. Sin embargo, la integración de procesos no se detiene con la síntesis de los diagramas de proceso para procesos individuales. Los procesos individuales normalmente operan como parte de un sitio de producción integrado que consiste en un número de procesos mantenidos por un sistema para uso general común. Los procesos vinculados al sistema crean interacciones entre los diferentes procesos a través de los sistemas comunes. Al entender esto, esas interacciones pueden ser explotadas para maximizar todo el rendimiento (Centre for Process Integration, 2010).

##### **GreenPro**

GreenPro es una certificación para las empresas que mantienen su negocio con responsabilidad en el medio ambiente. A través de soluciones de sus estándares, la empresa adquiere una nueva y total dimensión para el beneficio del medio ambiente. Las empresas certificadas con GreenPro emplean un método apropiado para el medio ambiente; investigan la fuente del problema y la eliminan y aplican las medidas indicadas para cada problema. Los beneficios de la certificación son: empleados altamente calificados, mayor responsabilidad y relación con los clientes y mejora el ambiente y la calidad en el trabajo (GreenPro, 2010).

### **Cleaner production**

El programa fue desarrollado en respuesta al manejo sustentable del re-uso del reciclaje de agua y biosólidos. Los sólidos disueltos totales (SDT), los metales pesados y colorantes han sido identificados por tener un impacto significativo en el re-uso sustentable tanto en el reciclaje de agua y los biosólidos. El programa de producción limpia (cleaner production) ha sido exitoso no sólo en la identificación de oportunidades en el ahorro de agua, sino en establecer una cultura más allá de los ahorros. Esto se ha logrado a través del desarrollo de un proyecto en equipo dentro de la empresa. En muchos casos, estos proyectos han continuado por establecer un progreso en los proyectos de producción limpia y han llegado a ser exitosos por los proyectos de ahorro de agua dentro de los negocios. El propósito del estudio de la producción limpia es identificar donde el desperdicio comercial es descargado en el proceso industrial. Esto es resultado de un gran entendimiento del uso de agua dentro de los procesos (Lenihan V., 2010).

### **Hierarchical decision**

El procedimiento de decisión jerárquica fue propuesto por Douglas en 1992 para identificar problemas potenciales de contaminación temprana en las etapas de desarrollo de un diseño. Su método consiste de ocho niveles. Los primeros siete incluyen análisis de un tipo de problema de prevención de contaminación, la estructura de entrada y salida de un diagrama de flujo, la estructura de reciclaje del diagrama de flujo, especificaciones en el sistema de separación, integración de energía, evaluación de diseños alternativos y la creación de diagramas de flujo de cada nivel para identificar existencia producida del desperdicio. El último nivel es el análisis económico, el cual generalmente sigue el desarrollo de varios diseños de diagramas de flujo. Este nivel está incluido para terminar rápido proyectos deficientes de diseño. Por lo tanto, el procedimiento de diseño jerárquico incluye aspectos de un análisis factible y entonces no es puramente una técnica de pre evaluación. Los gastos mayores de modificaciones para un diseño de planta existente puede excluir el uso de este método. Aunque puede ser usado en una escala más pequeña para añadirse en las empresas (Douglas, 1992).

## **Pinch analysis**

El análisis pinch o tecnología pinch es un riguroso método estructurado que puede ser usado para rastrear un amplio rango de mejorar relacionadas al proceso y a la utilidad del sitio. Esto incluye oportunidades como reducción de costos de operación, procesos de cuello de botella, eficiencia en la mejorar, y reducción y planeación de inversión de capital. Las mayores razones para el éxito del análisis pinch son la simplicidad de los conceptos detrás del método, y el impresionante resultado que ha sido obtenido en todo el mundo. Analiza mercancía, principalmente energía, hidrogeno o agua, en términos de su calidad, cantidad, reconociendo el hecho de que el costo de usar cada mercancía será una función de ambos. En general, se usan equipos de alto valor en los procesos y se rechazan los desperdicios (Natural Resources Canadá, 2003).

Ahora el análisis pinch tiene un rastreo establecido en ahorro de energía, reducción de desperdicio y optimización del sistema de hidrogeno. En todos los casos el principio fundamental detrás del método, es la habilidad de igualar la demanda para una mercancía con un proveedor compatible. La compatibilidad del conjunto depende de la calidad requerida y la calidad ofrecida. Es por ello, que cualquiera de los problemas de tipo pinch, siguen algunos principios. El proceso definido en términos de proveedores y demandas, soluciones óptimas, definición de parámetros y transferencia de recursos insuficientes (Natural Resources Canadá, 2003).

### **2.4.2 Operativas**

#### **Onion diagram**

El diagrama onion o de cebolla consiste en cinco niveles, representan las operaciones de cada unidad sucesivamente en una empresa (por ejemplo, hablar de una empresa de produce energía, el reactor quedaría en el centro). Cada nivel, el cual genera materiales específicos de desperdicio y emisiones, es analizado primeramente para pasar al próximo nivel. El proceso continua hasta la capa más alejada. Por medio de la aplicación de este método, todos los procesos de desperdicio y sus orígenes deben ser identificados. Aunque este método facilita la identificación y la prioridad de áreas enfocadas a la reducción de desperdicio, no genera opciones específicas para los problemas de reducción de desperdicios (Mizsey y Fonyó, 1995).

## Flowsheet integration

En un proceso sintetizado se conocen los procesos de entrada y salida y son requeridos para revisar la estructura y parámetros de un diagrama de flujo o crear un diagrama de flujo. El diagrama de flujo (flowsheet) representa la configuración de las variadas piezas de equipos y sus interconexiones (El-Halwagi, M., 2009).

El diseño de un diagrama de flujo de integración es a través de una caja que representa el proceso total y se le agregan las corrientes de entrada de materias primas y de salida de los productos y subproductos. La figura 26 representa dos esquemas, la figura a) cuando no existen reacciones (desechos) que se salgan de un sistema; y la figura b) cuando existen estas reacciones dentro de un sistema.

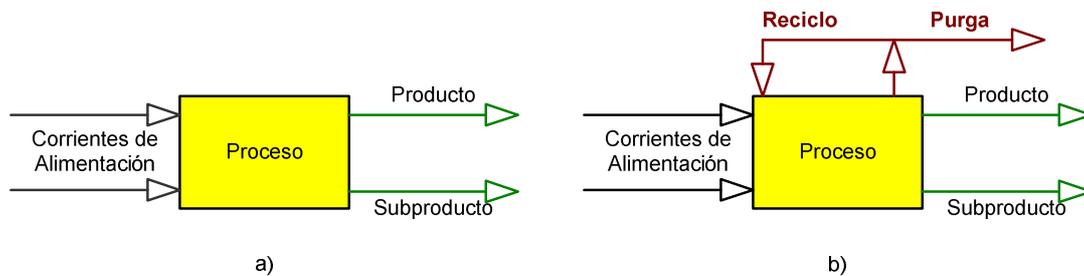


Figura 26. Esquema de un diagrama de flujo (El-Halwagi, M., 2009).

La diferencia entre ellas es la presencia de una entrada de reciclo y una salida de purga del proceso. En consecuencia, se puede observar que entre más amplio e integrado un sistema, más amplio se hará este tipo de diagramas.

## ENVOP y ENVOPexpert

La técnica ENVOP es un procedimiento para la reducción de desperdicios, el cual sigue al método de análisis de riesgo y de operabilidad (HAZOP) en procesos de seguridad. Durante un estudio ENVOP, cada línea de proceso y unidad de operación es analizada para identificar alternativas potenciales de reducción de desperdicio, que conozcan los objetivos deseados del medio ambiente. Esas alternativas son derivadas por la combinación de un conjunto de guía de palabras cualitativas con variables del proceso (Isalski, 1995).

Halim y Srinivasan previamente desarrollaron un sistema inteligente llamado ENVOPExpert para un análisis cualitativo de la reducción de desperdicios. ENVOPExpert está ampliamente basado sobre la técnica ENVOP y usa expertos en conocimientos para automáticamente identificar el origen de los desperdicios en un proceso químico y proponer cambios en los procesos para eliminarlos o reducirlos. Esta técnica ha sido probado en un gran número de procesos industriales, tales como: proceso de separación de hidrocarburos y procesos químicos de producción intermedia. Con ello, los resultados que se obtienen se pueden comparar con análisis realizados de expertos (Halim y Srinivasan, 2000; Halim y Srinivasan, 2002).

### **2.4.3 Administrativas**

#### **Environmental Management Systems (EMS)**

Un sistema administrativo del medio ambiente (EMS) es un conjunto de procesos y prácticas que capacita a una organización para reducir los impactos del medio ambiente e incrementa la eficiencia operativa. Este sistema permite a una organización dirigir sistemáticamente su medio ambiente y los problemas de seguridad y salud. Se ha convertido en un continuo ciclo de planeación, implementación, revisión y mejora de los procesos y las acciones que una organización lleva para conocer sus metas en el negocio y el medio ambiente. Un sistema EMS está construido bajo el modelo “Plan, Do, Check, Act” (PDCA), el cual cada punto está enfocado en: Planear, la planeación incluye la identificación de los aspectos del medio ambiente y establecimiento de metas. Hacer, se refiere a la implementación, incluyendo entrenamiento y controles operacionales. Verificar, incluye el monitoreo y la aplicación de las acciones correctivas. Actuar, se refiere a la revisión, incluyendo revisión periódica y actuar para tener los cambios necesarios dentro del sistema EMS. Los beneficios son muchos como la mejora en el rendimiento del medio ambiente, reducir y mitigar los riesgos, reducir los costos, lograr y mejorar con empleados conscientes de las responsabilidades de los problemas del medio ambiente, entre otros (U.S. Environmental Protection Agency, 2009).

### **Lean manufacturing**

Lean Manufacturing (manufactura esbelta o ágil) es el nombre que recibe el sistema (just in time - justo a tiempo) en occidente. También se ha llamado Manufactura de Clase Mundial y sistema de Producción Toyota. Se puede definir como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o excesos, entendiendo como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero sí costo y trabajo. Esta eliminación sistemática se lleva a cabo mediante trabajo con equipos de personas bien organizados y capacitados. El verdadero poder de Lean Manufacturing radica en descubrir continuamente en toda empresa aquellas oportunidades de mejora que están escondidas, pues siempre habrá desperdicios susceptibles de ser eliminados. Se trata entonces de crear una forma de vida en la que se reconozca que los desperdicios existen y siempre serán un reto para aquellos que estén dispuestos a encontrarlos y eliminarlos. Una empresa lean, esbelta o ágil, que quiera obtener el mejor beneficio dadas las condiciones cambiantes de un mundo globalizado, debe ser capaz de adaptarse rápidamente a los cambios. Para ello debe recurrir a las herramientas idóneas de mejora, prevención, solución de problemas y administración disponibles, tener hábitos que influyan en la cultura y disponer de una administración congruente con liderazgo que motive el cambio y el autodesarrollo (Socconini, 2008).

Feld (2001) menciona que hay cinco elementos primarios para lean manufacturing y son: 1. Flujo de manufactura, 2. Organización, 3. Control de procesos, 4. Métricas y 5. Logística. Estos elementos representan varias facetas que se requieren para apoyar un programa sólido de lean manufacturing, y con el desarrollo completo de estos elementos se impulsará a la trayectoria de la empresa en convertirse en una empresa de clase mundial.

1. Flujo de manufactura: los aspectos que se dirigen a los cambios físicos y diseño estándar que son desarrollados como parte de una célula de manufactura.
2. Organización: los aspectos enfocados en la identificación de roles/funciones de las personas, entrenamiento de nuevas formas de trabajo, y comunicación.
3. Control de procesos: los aspectos dirigidos al las formas de monitoreo, control, estabilidad y compras para mejorar los procesos.

4. Métricas: los aspectos de visible dirección, resultados basados en el funcionamiento de las mediciones, mejoras de objetivos y equipos para ser reconocidos y premiados.
5. Logística: los aspectos que definen las reglas de operación y mecanismos para planear y controlar el flujo de material.

De acuerdo con Socconini (2008) menciona que existen tres limitantes de la productividad que generan problemas limitando los resultados que se puedan obtener a partir de los recursos disponibles. Los japoneses las han llamado las 3 “Mu”:

MURI = Sobrecarga

MURA = Variabilidad

MUDA = Desperdicio

Sobrecarga o muri. Si a los operarios se les exige que produzcan por arriba de sus límites normales, o cuando a las maquinas se les hace producir por encima de su capacidad, se provoca agotamiento de los recursos más valiosos de la organización, disminuyendo así la productividad.

Variabilidad o mura. Se refiere a la falta de uniformidad generada desde los elementos de entrada de los procesos, como los materiales, las especificaciones el entrenamiento, las habilidades, los métodos y las condiciones de la maquinaria; esto produce a su vez una falta de uniformidad en los procesos, lo que se traduce en la generación de productos o servicios que tampoco son uniformes, es decir, muestran variabilidad.

Desperdicios o mudas. Los 7 tipos de desperdicios que afectan negativamente la productividad deben ser bien entendidos, detectados y eliminados o minimizados todos los días en empresas o instituciones. Toyota clasifica en siete grandes grupos los desperdicios o mudas: 1. Muda de sobreproducción, 2. Muda de sobreinventario, 3. Muda de productos defectuosos, 4. Muda de transporte de materiales y herramientas, 5. Muda de procesos innecesarios, 6. Muda de espera, 7. Muda de movimientos innecesarios del trabajador.

Para lograr el éxito de su implementación, es importante considerar tres elementos claves: 1. Lean Manufacturing es un proyecto estratégico, 2. La estrategia organizacional debe estar preparada para tratar con las herramientas Lean y 3. Todos los empleados deben estar comprometidos con la implementación. La implementación consistirá simplemente en observar en cada punto del diagnóstico en dónde estamos en un momento dado y cuál es el siguiente paso. No se trata de avanzar muy rápidamente de un punto al mejor, sino de irlo haciendo gradualmente hasta madurarlo y llegar a la meta, sin tropiezos ni salidas en falso. Las fases de implementación están integradas en cuatro etapas importantes (figura 27):

Fase 0. Tradicional: preparación.

Fase 1. Aplicación: crear un flujo continuo en áreas piloto.

Fase 2. Administración por cadenas de valor.

Fase 3. Organizaciones Lean: pensamiento esbelto.

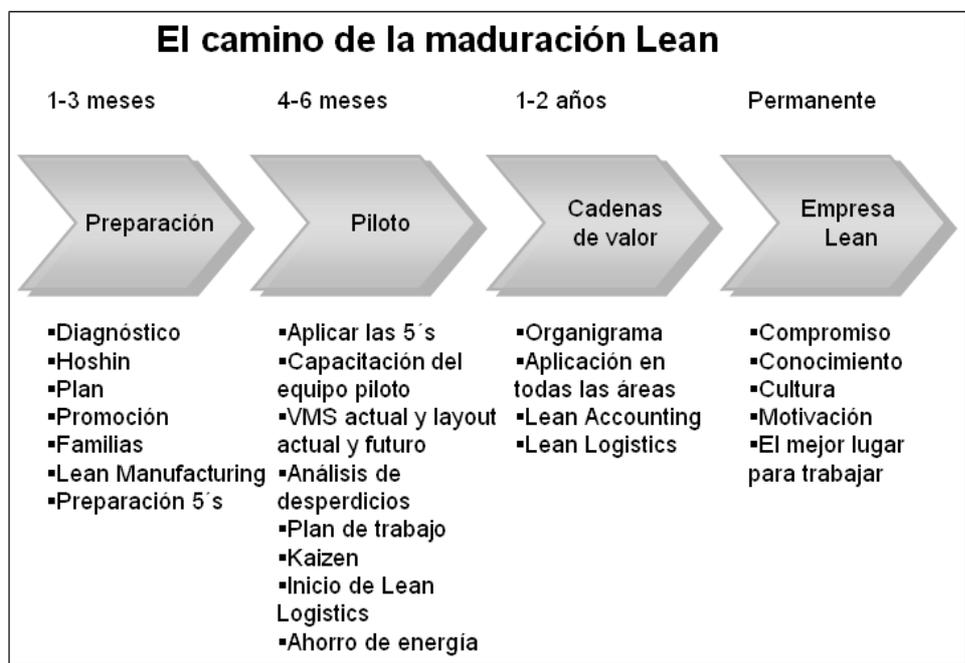


Figura 27. El camino de la maduración Lean (Socconini, 2008).

## **ISO 9000**

Las normas ISO 9000 contienen estándares y guías relativos a los sistemas de gestión, además de que se considera que su aplicación permite a las empresas reducir problemas y errores en la producción o en la prestación de servicios, aumentar la productividad, relacionar sus procesos con la satisfacción de las necesidades de sus clientes y mejorar de manera continua procesos y funciones. Las normas han venido siendo actualizadas y ampliadas y, en ese sentido, dejaron de ser exclusivas para organizaciones de carácter productivo; en la actualidad la versión ISO 9000:2000 introduce elementos aplicables a toda organización con una visión integral y dinámica de mejora continua, enfocada principalmente en la satisfacción del cliente. La norma ISO 9000:2000 establece que se deben identificar, documentar implantar y mantener los procesos necesarios para asegurar la conformidad de los productos y servicios con base en los requerimientos y necesidades de los clientes. Identificar los procesos significa responder a las preguntas clave sobre lo que la empresa hace, por qué, con qué y cómo lo hace y que resultados espera obtener. Determinar la secuencia e interacción de los procesos supone verlos en cadena y determina dónde termina uno con un resultado y empieza otro que lo emplea como entrada o insumo para su propia trayectoria (Baca, et. al., 2010).

Todo lo señalado debe girar en torno a la producción de bienes o a la prestación de servicios dirigidos a satisfacer las necesidades de los clientes. Lo que supone, entonces, la identificación de los requisitos especificados por aquellos; la determinación de las características y condiciones de diseño y fabricación, materia prima en la cantidad y la calidad deseada; los métodos y procedimientos de elaboración y transformación; en fin todos los elementos que se ven involucrados en el proceso de producción hasta llegar al resultado final que es el producto. La norma ISO 9001:2000 está basada en el concepto de mejora continua y por ello recomienda el establecer un plan de mejora que contemple la aplicación del contenido de los informes de las auditorías llevadas a cabo y el uso adecuado de la información emanada de los procesos y resultados. Cuando se trata de productos que no satisfagan al cliente se pondrán en marcha medidas correctivas; debe evitarse llegar a esta situación, ya que el sistema de gestión de calidad aconseja prevenir en lugar de corregir. En este sentido,

es necesario mantener un registro y seguimiento que permita detectar problemas potenciales y evitarlos antes de que se presenten (Baca, et. al., 2010).

### **ISO 14000**

El objetivo del sistema de gestión medioambiental consiste en la mejora del rendimiento medioambiental de una compañía a través de la prevención de la contaminación. Los beneficios se traducen por reducción de gastos y mejores relaciones con las agencias medioambientales. Son tres los requisitos para la mejora del rendimiento medioambiental: 1. Articulación de la política medioambiental, 2. Identificación de impactos ambientales significativos y 3. Establecimiento de metas y objetivos (Block & Marras, 2004).

La norma ISO 14000 establece que la prevención de la contaminación puede reducir los gastos. Dos son las vías para alcanzar dicha reducción. En primer lugar, los gastos en materias primas pueden verse reducidos. En segundo lugar, disminución de gastos relacionados con la manipulación, transporte y desecho de materiales contaminantes. La evaluación de impactos medioambientales puede ser una buena oportunidad para la eliminación, reducción o reemplazo de materiales peligrosos. La reducción de la cantidad de material adquirido va a generar menos gastos en las materias compradas y en las actividades de desecho. La eliminación de materiales peligrosos y su posterior reemplazo por sustancias más benignas no es necesariamente más barato (el material de reemplazo puede resultar más barato que su predecesor), pero se pueden reducir los gastos totales debido a la eliminación de actividades de canalización (Block & Marras, 2004).

### **Environment Agency approach**

El método de la agencia del medio ambiente es una estrategia sustentable apoyada por un método basado en el riesgo y generando un sistema flexible apoyado por un procedimiento sustentable. Esta estrategia contempla seis elementos claves, las cuales son (Environment Agency, 2009):

1. Evaluación y acción del riesgo, siendo el corazón del procedimiento sustentable. Considera la sustentabilidad de los riesgos, ofreciendo mayores oportunidades para administrarlos. Ayudando al personal a entender los impactos en el ciclo de vida de los productos e identificar los riesgos claves.
2. Integración dentro del procedimiento de los procesos, la sustentabilidad esta completamente integrada.
3. Administración y desarrollo de proveedores, reconocimiento de la importancia, interacción y confianza con los proveedores en la empresa.
4. Procedimiento de mercadotecnia sustentable, compromisos y éxitos son promovidos internamente y externamente, para mantener las compras entre clientes y proveedores.
5. Entrenamiento y concientizar al personal, generación de programas de entrenamiento usando aplicaciones prácticas de evaluaciones de riesgos.
6. Mantener la excelencia, es una lucha continua en mantener el método aplicado, se establece periódicamente un benchmarking para evaluarse continuamente.

#### **2.4.4 Evaluación de impacto**

##### **WAR algorithm**

El algoritmo de reducción de desperdicio (WAR, por sus siglas en ingles), es probablemente la herramienta más práctica para el cálculo del impacto del medio ambiente. El algoritmo fue desarrollado por Hilaly y Sikdar en 1994, quienes presentaron el concepto de balance de contaminación basado en el balance de masa de contaminantes. Cabezas, et al., más tarde mejoraron el algoritmo original y desarrollaron un algoritmo generalizado basado en el impacto potencial del medio ambiente (PEI, por sus siglas en ingles). A partir de los cálculos de balance del PEI, una indicación relativa amigable del medio ambiente en un proceso químico puede ser obtenida (Hilaly y Sikdar, 1994; Cabezas, et. al., 1999).

El algoritmo WAR provee una métrica para un medio ambiente amigable de un proceso. También puede ser usado para evaluar las modificaciones del proceso en sus impactos del medio ambiente. Un retroceso del algoritmo WAR aumenta debido a la dificultad, ambigüedad y subjetividad involucrada combinando los diferentes impactos generados por el proceso dentro de un valor simple. Además, el algoritmo WAR directamente no provee cualquier guía de origen actual del desperdicio en el proceso o las modificaciones que minimizarán el desperdicio. Por lo tanto, el algoritmo deberá ser usado con métodos para generar alternativas en los procesos (Halim y Srinivasan, 2002).

### **Material flow accounting (MFA)**

El primer flujo de material contable a nivel nacional ha sido presentado a principios de 1990 en Austria (Steurer, 1992) y en Japón (Environment Agency Japan, 1992). Desde entonces, el MFA ha tenido un rápido campo de crecimiento de interés científico y los mayores esfuerzos han sido encargados para armonizar los diferentes métodos metodológicos desarrollados por diferentes equipos de investigación. El principal concepto fundamental de la amplia economía del método MFA, es un simple modelo de la interrelación entre la economía y el medio ambiente, en el cual la economía es un subsistema del medio ambiente implantado y depende de una constante de las ganancias de materiales y de energía. La materia prima, el agua y el aire son extraídos de un sistema natural como entradas, transformadas en productos y finalmente retransferido al sistema natural como salidas (desperdicio y emisiones). Por lo tanto, para un MFA en el nivel nacional, dos principales bondades para los flujos del recurso pueden ser definidos. El primero es la bondad entre la economía y el medio ambiente natural domestico, del cual, los recursos (materiales, agua y aire) son extraídos. La segunda es la frontera de otras economías con importaciones y exportaciones como flujos contables (Hinterberger, et. al., 2003).

### **Cost-benefit analysis**

El propósito del análisis de costo beneficio es dar a la administración una imagen razonable de los costos, los beneficios y los riesgos asociados con un sistema de proyecto desarrollado para que puedan compararlo a otras oportunidades de inversión. El análisis de costo beneficio es un estándar para demostrar la factibilidad económica y para comparar y seleccionar entre oportunidades de inversión. Los valores generados por el análisis de costo beneficio parecen un estándar de medición de contabilidad y finanzas. Consecuentemente, son significativos para administrar y ningún personal técnico puede ser usado para comparar el desarrollo del sistema a otros tipos de oportunidades de inversión. La precisión del análisis de costo beneficio puede no ser mejor que la precisión de los costos fundamentales y los beneficios estimados. El modelo estándar del costo beneficio considera sólo beneficios tangibles (Davis, W., 1999).

Antes de mejorar un análisis de costo beneficio, el analista debe generar o de otro modo obtener un estimado del costo de desarrollo del sistema, beneficios tangibles por un periodo de tiempo, y costos de operación por un periodo de tiempo. El índice del descuento varía de organización en organización y de tiempo en tiempo. Eso podría reflejar el descuento primario, un preocupante negocio de índice de ganancias típicas, o percibir el riesgo. Adicionalmente, muchas organizaciones especifican un sistema o vida de proyecto estándar; cinco años es común. El análisis de costo beneficio es un estándar para demostrar la factibilidad económica en un estudio y es un elemento importante en los proyectos de planeación y administración. Los beneficios son ventajas generadas por o derivadas del sistema después de que es liberado. Algunos sistemas disminuyen los costos de operación. Otros generan nuevas ganancias. El beneficio neto para cualquier periodo de tiempo dado, es computarizado al sustraer el nuevo costo asociado, con los logros de los beneficios relacionados con el ahorro de costos o las nuevas ganancias (Davis, W., 1999).

## **Risk assessments**

La agencia de protección del medio ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) usa la evaluación de riesgos (risk assessment) para caracterizar la naturaleza y la magnitud del riesgo a la salud a los humanos (por ejemplo, residentes, trabajadores, visitantes recreativos) y receptores ecológicos (por ejemplo, pájaros, peces, vida salvaje) de los contaminantes químicos y otros tropiezos que pueden estar presentes en el medio ambiente. El administrador del riesgo usa la información para ayudarlos a decidir como proteger a los humanos y al medio ambiente de contaminantes. La EPA evalúa el riesgo del medio ambiente cayendo típicamente en dos áreas: la salud de los humanos y el ecológico. La evaluación del riesgo es, para el grado más alto posible de un proceso científico, dependiendo de los siguientes factores: a) Cuánto químico es presentado en un medio ambiente medio (por ejemplo, aceite, agua y aire). b) cuanto contacto (exposición) de una persona o receptor ecológico tiene con el medio ambiente contaminado. c) la inherente toxicidad del químico. Siguiendo un plan y etapas de alcances, donde el propósito y el alcance de una evaluación del riesgo es decidido, el proceso de evaluación del riesgo usualmente comienza coleccionando medidas que caracterizan la naturaleza y la extensión de la contaminación de un químico en el medio ambiente, así como la información necesaria para predecir como los contaminantes se comportan en el futuro. Desarrollar una evaluación del riesgo es a menudo un proceso interactivo, el cual involucra investigadores para identificar y llenar datos y así desarrollar una más precisa evaluación del riesgo (Environment Protection Agency, 2009).

## **2.5 Evaluación de metodologías**

La evaluación de las metodologías que se han descrito anteriormente, ayudará a profundizar y conocer más a fondo cada una de ellas. Los criterios establecidos para la evaluación (tabla 10), han sido considerados por las características que han presentado cada metodología. Con esta evaluación se pretende tener un mejor enfoque de las características de cada una, ya que con ello, se tomará una o más de estas metodologías para apoyar a la propuesta metodología a realizar en el siguiente capítulo.

Metodologías (* fueron desarrollados como planes)	Criterios					
	Planeación y Compromiso	Complejidad en la aplicación	Requerimiento de información	Aplicación general	Requerimientos de inversión	Seguimiento y mejora
Crittenden y Kolaczowski	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Metodología de la agencia del medio ambiente	SI	NO	SI	SI	SI	SI
Reyes, Sharratt y Arizmendi	SI	NO	SI	SI	NO	NO
Halim y Srinivasan	SI	SI	SI	NO	NO	NO
*Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee	SI	SI	SI	SI	NO	SI
*Departamento de protección ambiental de la Florida	SI	SI	SI	SI	NO	SI

Tabla 10. Evaluación de metodologías.

Las metodologías evaluadas con los criterios establecidos en la tabla anterior, indican una relevancia para la aplicación y creación de una propuesta metodológica. No sin antes, hacer un análisis considerando los comentarios de cada uno de los criterios establecidos:

**Planeación y compromiso.** Cada una de las metodologías descritas en la tabla 9, presenta y toman en cuenta en su inicio la planeación en la reducción de desperdicios como una estrategia y establecen un compromiso con la dirección de la empresa. Es en este punto, donde se establecen las metas, objetivos y se indica las condiciones para el análisis de cada uno de los pasos de una metodología.

**Complejidad en la aplicación.** Al tomar en cuenta la complejidad con que se aplica cada una de las metodologías, se visualizó el procedimiento que se lleva a cabo. Esto significa que para las metodologías propuestas y que no requieren de muchos requerimientos; los pasos a realizar no son tan tediosos o complicados, y su aplicación

no es tan difícil de llevar a cabo. Las metodologías que no se tomaron en cuenta, es debido a la serie de pasos en cada una. Ya que cada uno de ellos, por su estructura, intenta ser lo más práctico posible y requiere de ciertos conocimientos, de acuerdo a los puntos donde se esté aplicando.

**Requerimiento de información.** En este punto, las necesidades de información son fundamentales. Cada una de las metodologías requiere de apoyo en el manejo de la información. Sin embargo, cabe recalcar que la metodología propuesta por Reyes, Sharratt y Arizmendi, fue diseñada para no depender mucho de la información y trabajar con la que se tenga disponible. Esto se convierte en un factor determinante para una metodología, ya que muchas veces se ve limitada por esa condición.

**Aplicación general.** No todas las metodologías fueron diseñadas para ser aplicadas bajo ciertas condiciones. La metodología propuesta por Halim y Srinivasan fue diseñada para empresas químicas que generan producción en lotes. Aunque, está definida claramente y tuvo éxito en su aplicación, se ve limitada para empresas que laboran en otras condiciones. Por lo tanto, la aplicación de cualquier metodología debe estar bien definida, de acuerdo a las condiciones de la empresa, para que se obtengan los resultados idóneos.

**Requerimiento de inversión.** La metodología propuesta por la agencia del medio ambiente, propone en uno de sus puntos, que es necesario tener un equipo de expertos. Aunque, sólo si esté es considerado por la empresa, como una alternativa de inversión en personal capacitado. Ya que muchas veces el personal no cuenta con los conocimientos de herramientas o metodologías a aplicar.

**Seguimiento y mejora.** En este criterio se tomó en cuenta que en las metodologías presentadas, sólo hay dos que no comentan sobre el seguimiento y mejora. No obstante, se puede considerar que al mencionar la aplicación de una metodología o herramienta, requerirá de una evaluación al final, para observar y medir si se cumplieron con los objetivos y las metas establecidas. El seguimiento y la mejora en una metodología, es fundamental para revisar, corregir, medir, analizar y comparar que se ha hecho y que no.

## **2.6 Áreas de oportunidad generadas de la evaluación**

La evaluación realizada a las metodologías propuestas en el método de estudio para esta investigación, fueron las consideradas para establecer y desarrollar la propuesta metodológica en el siguiente punto. No sin antes mencionar, que en cada uno de los criterios, se pudo observar algunas de las áreas de oportunidades. Y así, establecer e indicar dentro de la metodología, lo que se pretende desarrollar con un enfoque más concreto.

Dentro de los criterios de la evaluación, la planeación y compromiso juegan un papel importante dentro de una propuesta, ya que de ellos se derivan algunos factores como son: credibilidad, confianza, visión y resultados en todas las áreas de la empresa. Los compromisos deben quedar claros, pues dependemos de clientes y más clientes, internos y externos, sin observar el entorno (principalmente, la sociedad y el medio ambiente). Ahora bien, la complejidad y la información son de los criterios difíciles de satisfacer. La complejidad requiere de una secuencia de pasos flexible, entendible y puntual. La información son datos que requieren de ser analizados para obtener y comprender que sucede en la empresa. La mayor cantidad de información puede enriquecer una investigación.

La aplicación generalizada de una metodología trae consigo, una amplia entrada a diferentes campos y con ello, se enriquece la metodología, volviéndose más flexible. No se mencionó que tipo de inversión es necesaria y en que momentos, con los análisis de datos se podría determinar e indicar si fuese necesario o no. No se puede dejar el éxito logrado a una metodología bien aplicada; sin antes, realizar seguimientos de las evaluaciones en cada uno de los puntos, para tener parámetros de avances actualizados. Y si se requiere, en su momento, hacer una mejora para alcanzar el éxito, está se realice, sin tener que esperar un resultado final. Estos criterios analizados serán tomados en cuenta para la realización de la propuesta metodológica en el siguiente punto.

### **3. RESULTADOS**

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de las metodologías y herramientas en la reducción de desperdicios, utilizadas para el diseño de la propuesta metodológica. En los siguientes puntos se mostrará una breve reseña de los capítulos anteriores y que marcan la pauta para la generación de la propuesta. Después se ilustrará la propuesta metodológica para la reducción de desperdicios, como resultado del análisis y de la evaluación de las metodologías; ya que fueron tomadas en cuenta para esta investigación y la cual llevará el nombre de: Metodología de Reducción de Desperdicios basada en la Planeación, el Análisis, la Evaluación y el Seguimiento (MRD-PAES), se describirán sus pasos y por último se mencionarán las implicaciones para su funcionamiento.

#### **3.1 Breve reseña de los capítulos anteriores**

Anteriormente, se comentó que la economía en nuestro país, ha venido creciendo paulatinamente y tendrá un repunte para el año 2011. Con esto, se espera que las empresas mexicanas tengan más confianza en la creación de empleos y sean más productivas. Un punto fundamental es la educación, hablar de educación es hablar de crecimiento, ya que, no sólo el país necesita gente preparada, sino las empresas para enfrentar retos y sean participes en la competitividad de los mercados con otras empresas nacionales e internacionales.

En nuestro país existen factores que continúan afectando la competitividad y han hecho que el crecimiento sea lento. Uno de los factores que implicó a esta investigación fue el incremento a los costos de producción. Este factor reflejó el problema que se presentó en la empresa en estudio, debido a las bajas ventas, a la reducción de personal y a la falta de control de los desperdicios generados.

La empresa en estudio se vio en la necesidad de implementar estrategias que mitiguen el impacto de la crisis económica, una de las estrategias fue la reducción de los desperdicios. Para ello, se realizó un análisis de la situación actual de la empresa, para obtener información de: los tipos de desperdicios, las áreas y las fuentes de mayor generación de desperdicio.

Por consiguiente, fue necesario investigar las metodologías que ayudan a la reducción de los desperdicios. Se realizó una búsqueda de aplicaciones de casos prácticos en artículos de investigación, relacionados con el tema. Los hallazgos obtenidos muestran que existen un gran número de herramientas y metodologías que ayudan a la reducción de los desperdicios. Además, se mencionó la importancia de la reducción de desperdicios, los diferentes conceptos, los métodos relacionados con las necesidades de la empresa.

Con el fin de encontrar la (s) metodología (s) que necesitó la empresa, se evaluaron seis, de las cuales dos fueron establecidas como planes. Crittenden y Kolaczowski mencionaron que su metodología puede ser aplicada a cualquier empresa y a cualquier problema de reducción de desperdicios. La agencia del medio ambiente en el Reino Unido, estableció una metodología con una serie de herramientas que dan un panorama más diversificado y estructurado, hacia donde se debe aplicar. Reyes, Sharratt y Arizmendi, desarrollaron una metodología basada con la menor cantidad de información disponible. Halim y Srinivasan propusieron una metodología heurística para empresas que producen en lotes. El departamento de conservación ambiental de Tennessee y el departamento de protección ambiental de la Florida, propusieron cada una de ellas un plan de reducción de desperdicios para sus respectivos estados, en los cuales se dejó abierta la aplicación para las empresas interesadas en este tipo de estrategias.

Dichas metodologías, fueron evaluadas a través de parámetros comunes y perceptibles en cada una de ellas. Se encontraron áreas de oportunidad que sirvieron de apoyo para la realización de la propuesta y que se cumpla con el objetivo de diseñar una metodología para la reducción de desperdicios. Es de suma importancia el diseño de esta metodología, ya que beneficia ampliamente a la empresa en estudio, en la minimización de sus costos y en la reducción de las fuentes de generación de desperdicios.

### **3.2 Esquema general de la propuesta**

Como resultado de la evaluación de las metodologías para la reducción de los desperdicios, se diseñó una metodología denominada:

#### **Metodología de Reducción de Desperdicios basada en la Planeación, el Análisis, la Evaluación y el Seguimiento (MRD – PAES).**

Esta metodología se presenta como un esquema agregado en la figura 28 y contiene cuatro puntos claves y consta de 10 pasos integrados, los cuales son:

1. Compromiso en todos los niveles
2. Definir estrategia de reducción de desperdicios
3. Establecer metas, objetivos y presupuesto
4. Crear equipo de proyecto
5. Seleccionar el proceso
6. ¿Se tiene información del proceso?
7. Resultado de análisis
8. Seleccionar herramienta o metodología
9. Implementar controles o estándares
10. Dar seguimiento a la implementación de la herramienta o metodología seleccionada

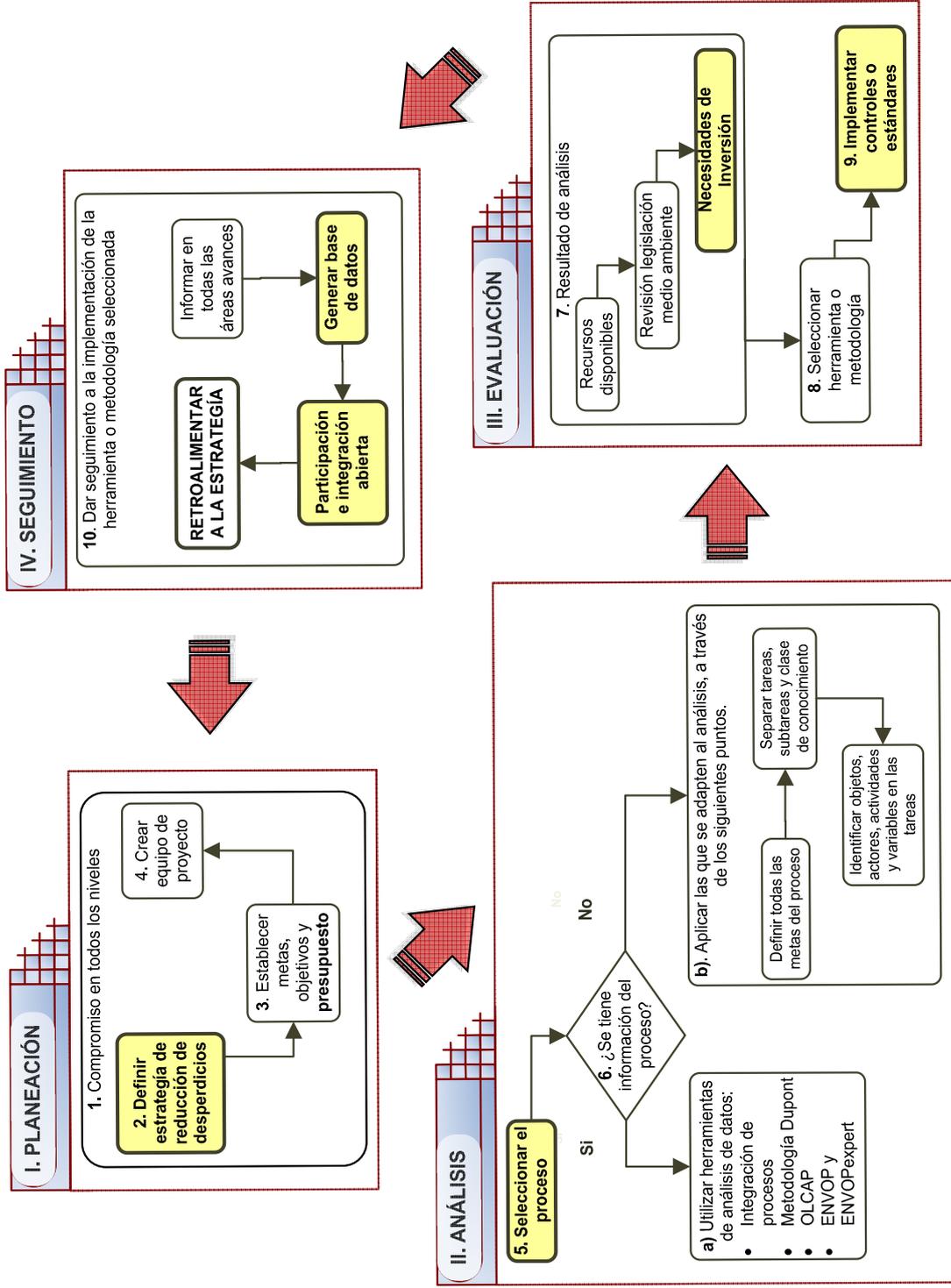


Figura 28. Esquema general de la Metodología de Reducción de Desperdicios basada en la Planeación, el Análisis, la Evaluación y el Seguimiento (MRD – PAES)

### 3.3 Esquema detallado de la propuesta

En este apartado se detallarán los pasos de la metodología MRD-PAES, con la finalidad de describir cada uno de los puntos y pasos establecidos en ellas. Como ya se mencionó anteriormente, la MRD-PAES consta de cuatro puntos clave (Planeación, Análisis, Evaluación y Seguimiento), cada uno de ellos tiene como objetivo mantener o mejorar un resultado generado.

#### I Planeación

El objetivo de la planeación es que se establezcan las bases para una buena estrategia o metodología en la reducción de los desperdicios. Para ello, se necesita que toda la empresa se comprometa a lograr un cambio y adopte un nuevo rol en sus operaciones. Establecer una política será necesario para fortalecer el compromiso, no sólo con los empleados de la empresa, sino con la sociedad y el medio ambiente. La dirección o el departamento encargado deberán dejar claro que tipo de estrategia necesita la empresa, ya que, depende de la aplicación de herramientas. La selección de los integrantes del equipo deberá ser irrevocable y requiere de personas prácticas y con la mayor disponibilidad.

Al establecer las metas y los objetivos éstos deberán ser medibles y alcanzables, ya que así, podrían convertirlos en indicadores para el control de las operaciones. Un detalle importante no mencionado en las metodologías, es el **presupuesto**. En él, se deben definir los requerimientos necesarios para la empresa, por ejemplo, diseño de letreros, mantas, carteles, playeras, información del equipo, entre otras. En seguida se describirán los cuatro pasos que se encuentran en la planeación, como lo muestra la figura 29.

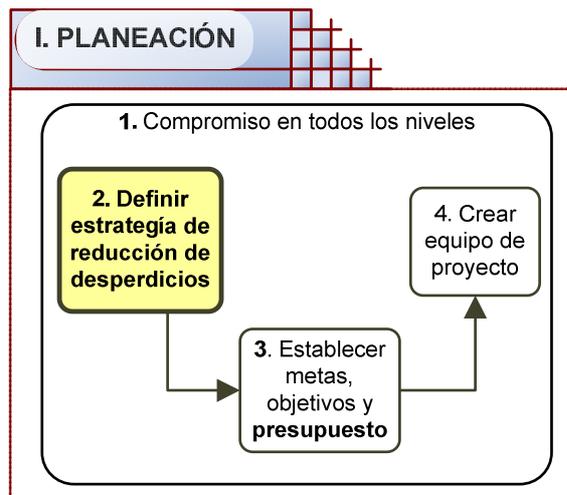


Figura 29. Pasos que integran la Planeación en la MRD-PAES.

## 1. Compromiso en todos los niveles

Un programa, una estrategia, un proyecto o una metodología, a realizar en la empresa, requiere de un compromiso honesto, leal y comprometido desde la gerencia hasta los empleados. La metodología debe llegar a ser una parte funcional de los procedimientos estándar operativos. Con las opciones de mejorar los productos o desarrollar nuevos; los procedimientos operativos estarán enlazados con las necesidades de capacitación y entrenamiento. El compromiso desde el más alto nivel gerencial mantendrá la metodología de reducción de desperdicios activa en todas las áreas de la compañía por el tiempo comprometido, el personal y el capital invertido. La falta de un compromiso llega a ser un obstáculo para la reducción de desperdicios (Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999).

El compromiso debe quedar establecido en una política interna, con la finalidad de mostrar a todo el personal lo que se pretende alcanzar. Debe empezar con la dirección: sin olvidar que los empleados sugieren mejoras valiosas en las operaciones día con día y permitir que aporten sugerencias e ideas. La política no deberá ser inesperada, ya que es recomendable que se haga una junta informativa con todos los empleados y se divulgue lo que se pretende hacer. Además, se debe considerar: si la política es clara y concisa, es medible, es memorable y motiva, es logable, aún siendo desafiante. Con ello, se podrá firmar y colocar en la empresa, con la foto de los responsables y

principalmente, genere orgullo al compartirla con todos los empleados en todos los niveles. Por lo tanto, se debe involucrar e informar a los empleados de cada paso en el desarrollo e implementación de la metodología, una vez establecido el compromiso de la dirección (Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999).

## 2. Definir estrategia de reducción de desperdicios

Al hablar de una metodología de reducción de desperdicios, se debe considerar dentro de la administración, como una estrategia. Cheremisinoff menciona claramente, que para establecer algún método o programa para la reducción de desperdicios, es necesario definir una estrategia administrativa basada en el tipo de método que se quiere reducir. La figura 19, indica que entre mayor sea el riesgo de reducir o minimizar los desperdicios es mayor el costo. La estrategia está fundamentada con el tipo de método que se desea enfrentar. Los métodos aplicados a la reducción de la fuente (prevención) y al reciclaje han sido de los más utilizados por las empresas; ya que han representado un costo menor. Sin embargo, todas las empresas deben pasar por esta decisión, debido al costo e inversión que estén dispuestos llevar a cabo. La estrategia a seleccionar debe ser entendida y visualizada por los responsables de la empresa en tomar la decisión (Cheremisinoff, 2003; Departamento de la Florida, 2007).

Las decisiones juegan un papel importante dentro de la empresa, es por eso, que se han considerado dos preguntas claves dentro de este punto y apoyen a la definición de la estrategia:

- *La pregunta que se debe de hacer es: ¿Qué tipo de estrategia se llevara a cabo?*

**Reducción de la fuente (prevención)**, considera los tipos de sustancias o contaminantes que se deseen reducir. La prevención desde la fuente, donde se localiza o se genera el desperdicio, es un factor clave para mejorar el uso de los recursos de la empresa y evitar la generación de desperdicios. **Reciclaje**, el uso y re-uso de materiales que ya fueron utilizados dentro del proceso para volver a transformarlos en productos, ya sean nuevos o con las mismas características. **Tratamiento (procesamiento)**, se emplea cuando cierto desperdicio no puede evitarse ni reciclarse.

Sin embargo, si puede procesarse para cambiar sus características físicas, químicas o biológicas (Cheremisinoff, 2003; Departamento de la Florida, 2007).

- *La siguiente pregunta que se debe hacer es: ¿Qué tipo de desperdicios se reducirá?*

Al definir la estrategia, es importante que se tenga información de los tipos de desperdicios generados dentro de la empresa. Con la finalidad de tener una idea más clara de los que se pretende reducir, ya que en las metodologías evaluadas en el capítulo anterior, ninguna menciona que se analice el tipo de estrategia mencionado. Es importante tenerlo en cuenta, ya que guían (figura 19) hacia donde conviene y es lo mejor para la empresa.

### **3. Establecer metas, objetivos y presupuesto**

Una vez hecho el compromiso dentro de la empresa, se deberá establecer las metas, los objetivos e indicar, a través de un presupuesto, cuál será el costo que se pretende utilizar para gastos del proyecto. Este costo debe ser el mínimo que se requiera, ya que el objetivo principal de la metodología será reducir los desperdicios. El gasto será para el uso de material de apoyo, carteles, mantas, logo de equipo de proyecto, incentivos por área, entre otras; ya que será utilizado para informar y dar a conocer los avances del equipo de proyectos.

Incluir en la elaboración de las metas a los gerentes, jefes y empleados. Antes de establecer las metas y los objetivos, se definirá el alcance que tendrá la metodología, a través de la selección del área o departamento y el tipo o tipos de desperdicios a reducir; con base, en datos históricos de la empresa, con la finalidad de tener un parámetro que sea útil para realizar un análisis. La meta puede ser medible, alcanzable, cualitativa o cuantitativa. Los objetivos específicos deben considerar que los empleados estén consientes de la importancia de reducir desperdicios, indicar los factores en la generación de desperdicios, la mejora de los procesos, la mejora de los lugares de trabajo y por último la capacitación sobre los desperdicios (Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999; Departamento de la Florida, 2007).

La meta fundamental de la empresa será la reducción de desperdicios, considerando un porcentaje o cantidad. La declaración del objetivo general de reducir la cantidad de desperdicios puede hacer referencia a los siguientes puntos (Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999; Departamento de la Florida, 2007):

- La empresa proteja a la salud de los trabajadores y el medio ambiente
- Generar la mejora continua ambiental.
- Implementar medidas de prevención
- Integrar el objetivo de la reducción de desperdicio en todas las áreas de la empresa
- Que el objetivo se refleje en la mejora de la productividad y calidad de los productos
- Revisión periódica de los objetivos
- Comunicar a clientes y proveedores de los objetivos, con la finalidad de tener sugerencias
- Las metas y objetivos en cantidad, nivel de emisión o toxicidad, cuando sea el caso.
- Capacitación del personal en la metodología de reducción de desperdicios
- Apoyar al equipo de proyecto con ideas o sugerencias.

#### **4. Crear equipo de proyecto**

La importancia de crear un equipo de proyecto dentro de la empresa, es fundamental; ya que de ellos dependerá la identificación de todos los desperdicios generados en las áreas de trabajo. Este equipo deberá implementar y coordinar los programas para la reducción de los desperdicios, a través de la selección y capacitación de empleados. El equipo de proyecto estará integrado por gerentes, jefes, ingenieros, operadores, personal de apoyo (calidad, ambiental y seguridad). Cada uno se deberá programar y planear responsabilidades específicas de su función y del equipo, sin olvidar que todo avance sea documentado constantemente. Se debe considerar la creación de grupos o mini comités de apoyo, con la finalidad de que todos los empleados participen en temas de conservación del ambiente y uso responsable de recursos en los procesos (Departamento de la Florida, 2007).

La capacitación de los miembros del equipo de proyecto será fundamental. Cada uno de ellos deberá tener experiencia en el puesto y conocimiento de algunas herramientas que se decidan emplear. En caso de no contar con los conocimientos en herramientas o metodologías deberán ser proporcionados por los compañeros del equipo; y así lograr que los conocimientos y las experiencias sean compartidos entre cada uno de ellos. Tratar de evitar la inversión en capacitación externa. Si se considera necesario o indispensable, tratar de evaluarla y buscar la mejor opción para el equipo y beneficio de la empresa. La comunicación entre los miembros del equipo y todas las áreas del proceso involucradas será fundamental (Departamento de la Florida, 2007).

Además, se deben considerar una serie de preguntas que apoyarán al equipo de proyecto en la planeación y la realización del análisis, estas preguntas son: ¿Cuáles son las operaciones o procesos actuales en las instalaciones?; ¿Por qué se maneja cada proceso u operación en la forma que se hace?; ¿Cuáles son las consecuencias de hacer cada proceso u operación de esa forma?; ¿Cuál es el flujo de desperdicio generado en cada proceso, y cuánto genera?; ¿Cuáles desperdicios son clasificados como peligrosos? y ¿cuáles no?; ¿Qué los hace peligrosos?; ¿Qué entrada de material se usa que genera el flujo de material?; ¿Cuánto material de entrada en un proceso en particular entra en cada flujo?; ¿Cuánto de materia prima podemos contar a través de la fuga de pérdidas?; ¿Qué tan eficiente es el proceso?; ¿Son innecesarios los desperdicios generados por mezclar de una u otra forma desperdicios peligrosos reciclables con otros desperdicios del proceso?; ¿Qué tipo de prácticas de limpieza se utilizan para limitar los desperdicios? y ¿Qué tipo de controles de proceso se usan para mejorar la eficiencia del proceso?. Es conveniente que antes de realizar el análisis se contesten las preguntas. Es recomendable elaborar un “check list” para evaluar los flujos de los desperdicios que se estén generando, con la finalidad de observar si existen cambios operativos y no estén descritos en los manuales operativos (Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999).

## II. Análisis

En este punto se tiene contemplado realizar el análisis de la empresa, con la finalidad de conocer las fuentes de generación de desperdicio; las áreas que generan mayor desperdicio y que afectan a la productividad y la calidad de los productos y los desperdicios que más impactan en el ambiente y en el costo de la empresa. Con el análisis de la empresa se busca la información relevante que indique cuantitativamente y cualitativamente cuales son los desperdicios y las áreas críticas que necesitan ser mejoradas con la implementación de una metodología. De acuerdo a la información que provea la empresa para ser analizada, se determinará los tipos de herramientas que podrán mejorar los síntomas que presenta la empresa. La figura 30 muestra los pasos que se requieren para el análisis en la MRD-PAES.

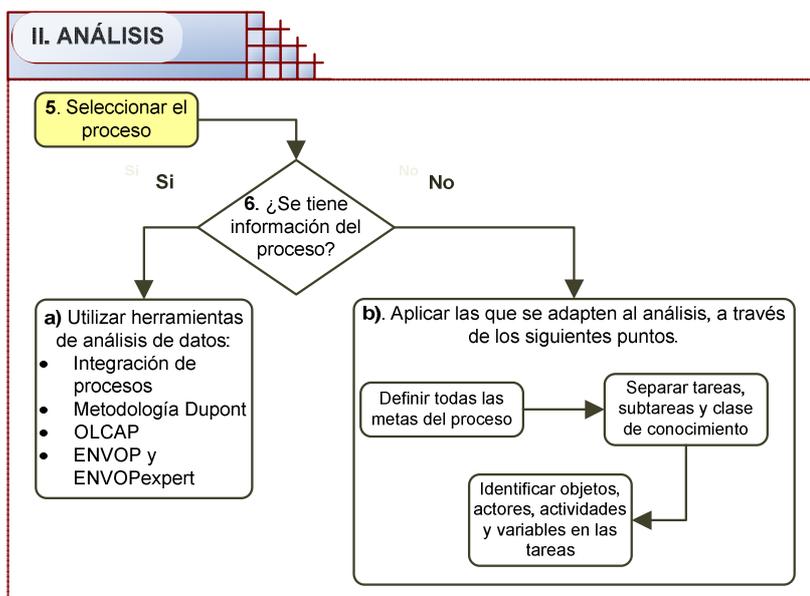


Figura 30. Pasos que integran el Análisis en la MRD-PAES.

### 5. Seleccionar el proceso

Con base en la información de datos históricos de la empresa, se determinará en que área se realizará el análisis. La selección puede ser a través de una grafica de Pareto u otra herramienta, ya sea con costo de pérdidas generadas o con la cantidad o el porcentaje de desperdicios generados. Se tomará en cuenta del área identificada, algún proceso o maquinaria en específico, con el fin de identificar claramente hacia

donde se dirigirá la metodología a implementar. En caso de no contar con datos históricos de la empresa y el equipo de proyecto asigne un proceso en específico, deberá ser justificado con otro tipo de información, por ejemplo: las reclamaciones o devoluciones de los clientes, las condiciones físicas del área (materiales del proceso en piso – desorden), consumo excesivo de materia prima, entre otras. La falta de controles en las áreas operativas genera una incertidumbre de lo que pasa realmente en la empresa. Cada control y medición requiere de la participación de todo el personal, no de un empleado en específico. Por lo tanto, se tendrán que realizar formatos para la identificación de los desperdicios, a fin de identificar el o los proceso (s) que lo (s) genera (n).

## **6. Se tiene información del proceso**

Una vez identificado y seleccionado el proceso se determinará si cuenta con la información disponible y necesaria para la realización de un análisis que nos ayude a identificar los tipos de desperdicios, como se generan, la cantidad de desperdicio generada, las fuentes de generación, en que etapas se presentan y los costos generados. Este análisis se realizará con base en dos opciones: con y sin información disponible, como lo muestra la figura 30.

**Para la información disponible** se realizará cualquiera de las herramientas mostradas. Cada una de ellas dependerá principalmente de la entrada de información confiable y completa. Y se recomienda para algunas de las herramientas lo siguiente (Reyes, et. al., 2008):

***Metodología Dupont***, se recomienda elaborar una secuencia minuciosa del flujo del desperdicio presentado en el proceso, para conocer a fondo los costos del proceso. Se requiere de un conocimiento adecuado de los problemas que se generen, con el fin de no convertirse en un obstáculo e impidan resultados confiables.

***OLCAP***, tiene como ventaja tratar con problemas del medio ambiente de naturaleza multiobjetivo. Sin embargo, considera la variedad de soluciones que son obtenidas de un problema dado. La selección y la verificación del criterio a ser considerado,

dependen de la empresa en su específico y preciso conocimiento en desperdicios y los requerimientos legales y de producción.

**Process integration**, Trata con representaciones matemáticas de variables en la identificación de valores óptimos para los parámetros de diseño y operativos. Además, involucra el uso de herramientas de simulación. En algunos casos representa una mala inversión su uso.

**Para la información no disponible**, realizar lo comentado por Reyes, Sharratt y Arizmendi. **Primero**, se definen las metas del proceso a través de una reunión de todo el personal involucrado en el proceso, para la selección de la información generada por el proceso. **Segundo**, todo el proceso es dividido por sus subprocesos y tareas funcionales, tomando en cuenta las funciones, el entendimiento y las bondades del proceso; las cuales constituyen las metas y objetivos del proceso. **Tercero**, se divide el conocimiento del proceso en cinco clase principales (crucial, prioridad, subordinado, causal y contextual), con esto nos ayudará a analizar el proceso de una forma general, identificando actores, objetos, actividades e interacciones. Estos pasos son desarrollados como una estructura ontológica (Reyes, et. al., 2008).

### **III. Evaluación**

El objetivo principal de la evaluación, es conocer los resultados obtenidos del análisis realizado al proceso, para seleccionar la herramienta o metodología a aplicar y establecer los controles o estándares que requiera. A través de los resultados obtenidos con el análisis del proceso se podrá identificar como son generados los desperdicios, su costo beneficio, si los recursos disponibles son suficientes, como impactan los desperdicios al medio ambiente conociendo las normatividades vigentes y si se requiere inversión. Con ello, se tendrán las bases para evaluar y tomar la decisión del tipo de herramienta o metodología a seleccionar. Además, de implementar los controles o estándares apropiados al proceso. En la figura 31 se aprecian los pasos que integran la evaluación en la MRD – PAES.

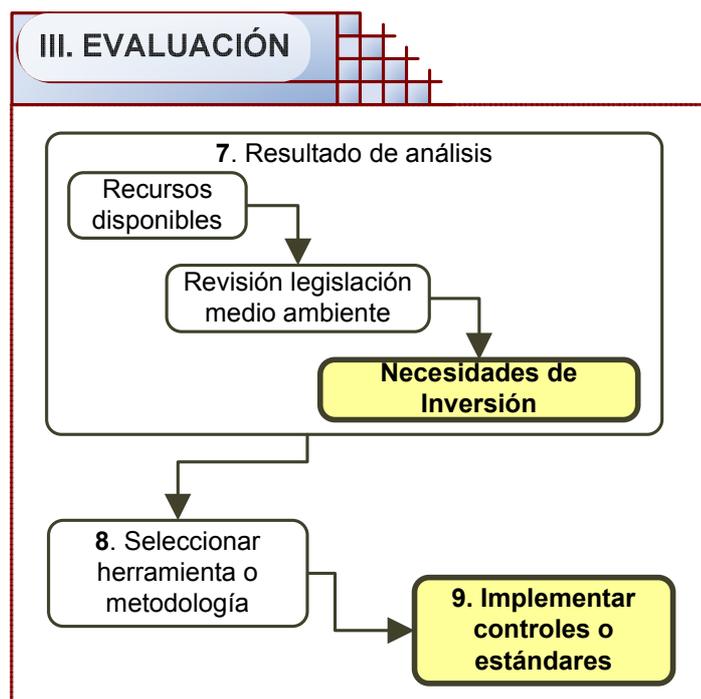


Figura 31. Pasos que integran la Evaluación en la MRD-PAES.

## 7. Resultados del análisis

Como resultado del análisis realizado al proceso seleccionado se generan 3 aspectos importantes a evaluar (los recursos disponibles, la revisión de legislación del medio ambiente y las necesidades de inversión) antes de seleccionar la herramienta o metodología. Reyes, Sharratt y Arizmendi consideran en su método ontológico desarrollado para recabar y organizar la información faltante, cuatro aspectos claves (acatamiento medioambiental, descripción del proceso, recursos disponibles y reducción de desperdicios). De las cuales, la descripción del proceso fue descrita anteriormente y más adelante se describirá la metodología en la reducción de desperdicios. Por consiguiente, los recursos disponibles y el acatamiento o lineamiento medioambiental son descritos como (Reyes, et. al., 2008):

**Los recursos disponibles** en la reducción de desperdicios presentan varios obstáculos basado en la disponibilidad de los recursos. Los recursos económicos están entre los problemas más grandes en la implementación de una metodología. Ya que la falta de presupuesto se hace evidente, además de en cualquier momento será

necesario entrenar y capacitar a los empleados en los errores e incidencias en la generación de desperdicios. El enfoque a corto plazo en lo económico puede ser difícil de aplicar en las medianas y pequeñas empresas. (Ibíd.). Ahora bien, los recursos disponibles en materia prima y prácticas operativas que favorezcan al flujo del proceso son indispensables pues de ellos depende que la eficiencia del proceso no sea afectada. Con los resultados del análisis realizado se puede proponer cambios en los recursos para mejorar las operaciones y no se generen los desperdicios.

**Revisión en la legislación del medio ambiente.** Para despertar la conciencia de los trabajadores en la generación de desperdicios será necesario dar a conocer y entender la importancia de los requerimientos legales en el medio ambiente. Es de suma importancia conocer a detalle por el departamento de seguridad y medio ambiente las normas vigentes y que en su momento aplican a la empresa, a continuación se listan algunas de las normas:

- **NOM-004-SCT2-1994**, Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-005-STPS-1998**, Relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.
- **NOM-010-STPS-1999**, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
- **NOM-018-STPS-2000**, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
- **Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.**
- **NOM-052-SEMARNAT-2005**, Establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- **NOM-053-SEMARNAT-1993**, Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

- **NOM-054-SEMARNAT-1993**, Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993.
- **NOM-057-SEMARNAT-1993**, Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.
- **NOM-083-SEMARNAT-2003**, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Estas son algunas de las normas que se deben de considerar dentro de los cambios que pudieran realizarse como medidas, dado los resultados de los análisis realizados. Es importante que se realicen acercamientos del departamento de seguridad y medio ambiente con las autoridades pertinentes para ser asesorados en las normas que aplican al tipo de empresa: ya que en algunos casos no generan gastos a la empresa.

Por último, **las necesidades de inversión**. La inversión está enmarcada desde la planeación del tipo de estrategia que se va a utilizar. Como se mencionó en el método, la prevención es mejor que el control o eliminación de los desechos de la empresa, ya que nos generan un menor costo (Cheremisinoff, 2003). Con esto, se puede tener como fundamento que la inversión es necesaria. Sin embargo, es cuestión del interés de la empresa en proponer dicha inversión, independientemente del tipo de estrategia que se aplique. Los resultados de los análisis del proceso indican que tan necesario es la inversión y en donde económicamente es factible emplear. La inversión va desde cambios en la maquinaria, capacitación, diseño del producto y reinstalación de los equipos.

El equipo de proyecto deberá realizar un comparativo del costo beneficio, en donde se investiguen y consulten los costos del tipo de inversión y de recuperación que se proponen a utilizar. Con la finalidad de presentar a la dirección las mejores opciones, para que en su momento sean consideradas. En caso de aceptar las opciones, se

tendrá que realizar una planeación en tiempo (largo, mediano o corto tiempo), para integrar los cambios encontrados en los análisis con la selección de la nueva metodología. Además, se realizarán pruebas físicas con el fin de adaptar los cambios operativos del proceso con los empleados.

## **8. Seleccionar herramienta o metodología**

La selección de la herramienta o metodología está apoyada por los resultados obtenidos del proceso analizado, la identificación de las fuentes de generación de desperdicios, de los recursos disponibles de la empresa, las normatividades que se deben tomar en cuenta y por la necesidad de realizar una inversión.

La identificación de la falta de información dentro de las etapas del análisis de proceso, es relevante; ya que ayudan a observar las carencias y debilidades que presenta el proceso y con ello, se pueden plantear y seleccionar la (s) herramienta (s) o metodología (s) adecuada (s). En la serie de pasos propuesta por la agencia del medio ambiente se basan diferentes tipos de herramientas o metodologías que pudieran ser aplicados dado la etapa en donde se encuentra la empresa. Se podría tomar como alternativa ante las necesidades de la empresa.

Sin embargo, es de suma importancia que el análisis y los resultados del proceso seleccionado, indiquen donde y que tipo de herramientas se pudieran aplicar. Ya que de acuerdo a su aplicación, la selección de una o varias de ellas será la más apropiada para alcanzar las metas y los objetivos. Otra alternativa sobresaliente, es la estructura ontológica propuesta por Reyes (2008). La cual muestra una guía paso a paso muy interesante que ayuda a la toma de decisiones, ante la falta de información en las empresas.

## **9. Implementar controles o estándares**

Las metodologías descritas anteriormente indican que sólo se alcanza el objetivo de ellas a través de la selección de la herramienta o metodología. Aunque parece limitada con tan solo aplicar una. Excepto por la metodología propuesta por Crittenden & Kolaczkowski (1995) y los planes para la reducción de los desperdicios, que mencionan la importancia de replantear las metas y objetivos ante los resultados de las evaluaciones y aplicaciones de metodologías o herramientas usadas.

Los controles deben estar indicados e identificados dentro de la selección en el tipo de herramienta a emplear y establecer parámetros medibles y controlables dentro del proceso. La metodología o herramienta seleccionada en su momento puede dar algunos parámetros interesantes para poder aplicar. Se hacen las siguientes sugerencias de implementación:

- El uso de tableros informativos en las áreas claves de la empresa, deberá contener las metas planteadas, la información del proceso como: producción diaria, producción mes, producción en el turno, la cantidad de desperdicios, rendimientos, entre otros.
- El uso de herramientas estadísticas básicas, aplicadas al proceso y utilizadas por los trabajadores dentro del proceso. Por ejemplo: hojas de verificación, diagramas de barras, histogramas, graficas de control, entre otras.
- La selección, la separación y la ubicación correcta de los desperdicios dentro y fuera del proceso. Con el uso de contenedores o recipientes previamente identificados.

### **IV. Seguimiento**

En este apartado, el seguimiento tiene como objetivo continuar y mantener la metodología en los parámetros establecidos, con la finalidad de ir avanzando y mejorando en la reducción de los desperdicios. El seguimiento en la implementación de la herramienta o metodología seleccionada, está apoyada en cuatro puntos clave mostrados en la figura 32: informar en todas las áreas avances alcanzados, la generación de una base de datos, la participación e integración abierta no sólo del

equipo de proyecto, sino de todas los empleados de la empresa y por la retroalimentación de la estrategia que fundamenta los avances logrados.

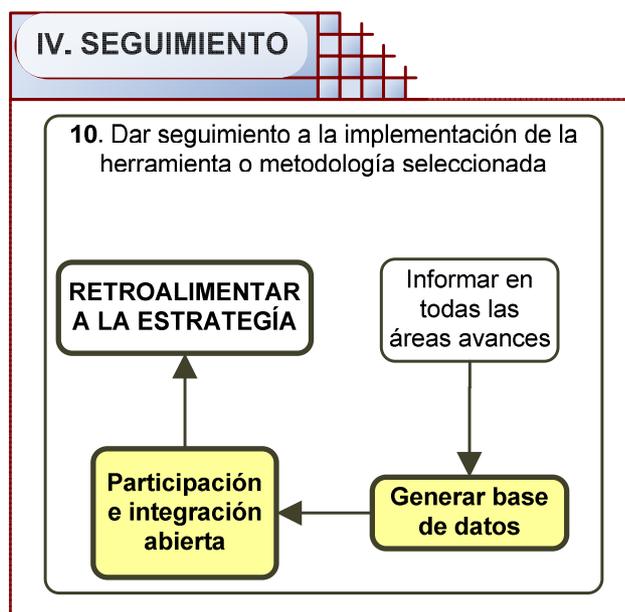


Figura 32 Pasos que integran el Seguimiento en la MRD-PAES.

**10. Dar seguimiento a la implementación de la herramienta o metodología seleccionada.**

Para asegurar el mejoramiento continuo, se necesita revisar y dar seguimiento monitorear y evaluar las técnicas en la reducción de desperdicios cada determinado tiempo, con especial atención en los desperdicios cuya cantidad se ha estado reduciendo. Los procedimientos deberán estar actualizados con la nueva metodología, así como integrados en la estructura administrativa, con la finalidad de tener bases para la implementación y en su momento retroalimentar la metodología. Además, se deberán permitir cambios en la producción y desarrollo de nuevas técnicas para la reducción (Crittenden & Kolaczowski, 1995; Departamento de Protección Ambiental de la Florida, 2007; Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999).

La creación de un plan o una metodología ofrece o genera muchas formas para mejorar la administración en la reducción de desperdicios y apoya al uso y a la creación de nuevas tecnologías y practicas a las necesidades de la empresa. Sin embargo, requieren de ciertas características que deben ser tomadas en cuenta, tales como (Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999):

- Incrementar la conciencia y la atención de los químicos peligrosos,
- Incrementar la conciencia y entrenamiento para cambiar viejos paradigmas o patrones de trabajo,
- Tener conocimiento en opciones para realizar un cambio,
- Tener la voluntad para experimentar y cambiar,
- Que se tenga la voluntad por parte de la administración en proveer los recursos para los cambios y
- Tener la voluntad para continuar a través de la evaluación y el aprendizaje de los cambios realizados.

Como ya vimos en la figura 32, el seguimiento contempla cuatro puntos clave que son descritos a continuación:

**Informar en todas las áreas avances:** La administración debe llevar a cabo reuniones a nivel departamental con el objetivo de considerar el desempeño ambiental y los avances logrados. Cada cierto tiempo los administradores deben revisar los procesos y las operaciones de la empresa para identificar nuevos desperdicios, así como nuevas oportunidades de reducir desperdicios. Estas revisiones deben servir para revisar la metodología e incluir nuevos desperdicios y/o procesos así como nuevos objetivos y/o estrategias. La composición del grupo de reducción de desperdicios pudiera tener que cambiar para reflejar los cambios (Departamento de Protección Ambiental de la Florida, 2007).

**Generar base de datos:** La creación de una base de datos es con la finalidad de facilitar la información y generar datos históricos que nos ayuden en el análisis de la información e identificar a través de frecuencia de datos los desperdicios que se van generando así como las causas y los efectos que lo ocasionan. Cada departamento tendrá la responsabilidad de informar los datos que pudieran estar relacionados con la generación de los desperdicios. Es importante que se haga uso de equipo de cómputo en las áreas y que el personal en piso almacene la información, ya que es ahí donde surge la información. La capacitación al personal es fundamental, para la adaptación y actualización de este tipo de herramienta de información.

**Participación e integración abierta:** Finalmente, se debe reconocer a los empleados por ideas que promuevan la reducción o la eliminación de desperdicios, descargas o derrames (Departamento de Protección Ambiental de la Florida, 2007). El equipo de proyecto estará obligado a capacitar a todo el personal en piso, con la finalidad de tener más puntos de vista. Los comentarios y las sugerencias en la medición y modificaciones propuestas en la metodología deberán ser tomados en cuenta. El equipo de proyecto estará encargado de realizar actividades de campo las cuales integren y hagan participes al personal del área. La participación va desde el llenado de formatos hasta la participación en las juntas de revisión de avances.

**Retroalimentar a la estrategia:** El equipo de proyecto debe continuar revisando la metodología según sea necesario siempre con el objetivo de reducir la producción de desperdicios (Departamento de Protección Ambiental de la Florida, 2007). Además, existen cinco pasos, con algunas preguntas, que ayudan en la actualización de un plan o metodología en la reducción de desperdicios y son (Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee, 1999):

1. Revisar la participación de los empleados en el proceso. ¿Hay un nuevo proceso en la reducción de desperdicios, que necesita ser explicado?; ¿Hay nuevos empleados que necesitan ser capacitados? y ¿Los empleados están todavía activos en la participación de ofrecer sugerencias en la reducción de desperdicios?
2. Dirigir otro análisis de los desperdicios. ¿Hay nuevos desperdicios peligrosos?; ¿Han sido eliminados cualquiera de los desperdicios encontrados? y ¿Los costos han cambiado?
3. Reevaluar las opciones. ¿Existen nuevas opciones previamente no consideradas? y ¿Cualquiera de las opciones previamente rechazadas ahora son factibles?
4. Reexaminar el alcance del plan o metodología. ¿Los productos, los procesos y los flujos de los desperdicios han cambiado significativamente?; ¿El plan o la metodología deberá ser ampliado? y ¿o, deberá ser más enfocado?

5. Renovar el compromiso de la administración. Mientras no exista un cambio en la administración, está no serpa necesaria. A menos que, sea con la finalidad de mejorar la metodología.

### **3.4. Implicaciones – consideraciones para el funcionamiento de la propuesta**

Para el funcionamiento de la propuesta MRD–PAES, es necesario definir hasta donde abarca y que parámetros deben ser tomados en cuenta. El impacto de la crisis económica afectó a muchas empresas y se vieron en la necesidad de aplicar estrategias. La empresa US Technologies consideró necesaria la estrategia en la reducción de desperdicios.

Por lo tanto, la investigación de esta propuesta diseñada para la reducción de desperdicios, es particularmente generada y desarrollada basados en las características de la empresa, con la finalidad de obtener un buen funcionamiento y resultados alcanzables. La implementación de la propuesta MRD–PAES tiene como consideraciones o limitaciones los siguientes aspectos o puntos claves:

**Inversión.** Es importante respaldar dos aspectos claves, el presupuesto para la realización e implementación de los cambios que generará la propuesta antes de llevarla a cabo. Y la poca disponibilidad de los recursos económicos en apoyo a capacitación, tecnología (desde modificaciones hasta equipos nuevos) y cambios en los recursos (entradas y salidas en el proceso) que dispone la empresa, como resultado del análisis y la evaluación hecha al proceso.

**Cambio cultural.** Toda empresa necesita enfrentarse a los cambios de paradigmas y culturales antes, durante y después de la implementación de una propuesta. Para ello, es necesario considerar la rotación de personal en sus actividades por periodos determinados y definidos (cada semana, cada mes), por el área responsable e interesada. La adaptación será medida dentro de los parámetros que establezca el área de recursos humanos. La finalidad de la rotación del personal es que se conozcan las funciones de cada tarea en el proceso y que identifiquen las fuentes de generación de desperdicios, ya que en ocasiones no se dan cuenta de lo que están realizando.

**Capacitación.** Aunado al cambio cultural generado de la incorporación de esta metodología y la aplicación de una herramienta, es necesaria la capacitación del personal con apoyo del departamento de recursos humanos y el equipo de proyecto. Los periodos de capacitación pueden comprender antes o después de las jornadas de trabajo y no deben durar más de 30 minutos, con la finalidad de que la capacitación sea lo más práctico, dinámico y de fácil entendimiento. Los temas pueden ir desde la modificación y cambios en las actividades realizadas por los trabajadores y debe existir una amplia participación e interacción entre los trabajadores.

**Área de alcance.** Está limitada al personal que se encarga y tiene responsabilidades dentro de su área. El orden de importancia está con el personal que se encuentra directamente involucrado con la fuente de generación de desperdicios.

**Tiempo.** La realización o aplicación de esta metodología puede variar, dependiendo de la disponibilidad que se tenga y el compromiso por parte de la dirección. Se ha considerado un tiempo propuesto de entre 1 a 3 meses para obtener resultados. La representación de los tiempos propuestos es el siguiente: Planeación comprende de 1 a 2 semanas, Análisis comprende de 2 a 4 semanas, Evaluación comprende de 2 a 4 semanas y Seguimiento comprende de 1 a 2 semanas. Por lo tanto, es responsabilidad de la dirección en aceptar estas limitaciones en el tiempo, por ello, no fueron indicados en el esquema general de la propuesta. Además, sólo se busca conocer en un determinado tiempo la problemática de la empresa para poder dar la propuesta del tipo de metodología que pueda disminuir o eliminar el problema en sí.

**Costo.** Con la declaración de los objetivos y las metas es importante que se estén visualizando las variaciones en los costos; ya que nos indican si hay mejora o no, para poder actuar en la corrección de algún error y continuar cumpliendo con lo establecido. El análisis y la evaluación deben quedar bien definidos con la medición y control de los costos. Las variaciones que pudiéramos tener están indicadas en las pérdidas obtenidas por la generación de los desperdicios y con el uso excesivo de recursos (materia prima, mano de obra, maquinaria, energía, etc.).

## **4. DISCUSIÓN**

Durante este capítulo se discutirán los resultados obtenidos de la propuesta metodológica (MRD–PAES) realizada. En el primer punto que contempla el análisis interno, se hace referencia a la empresa en estudio (US Technologies), en la cual se dará una breve recopilación de la problemática que se generó y se evaluará la metodología a través de la simulación de su proceso actual y de una propuesta; se darán sus resultados y una comparación entre los resultados de los modelos. En el segundo punto se mostrará un análisis externo, mencionando casos de estudio de aplicación de otras metodologías. En el tercer punto se mencionan las conclusiones obtenidas de esta investigación. Y por último se enriquece la investigación con los comentarios realizados para las futuras investigaciones.

### **4.1 Análisis interno**

#### **4.1.1 Caso: empresa US Technologies (UST)**

La empresa US Technologies pasó por problemas económicos, como resultado de la crisis económica y con ello, se vio en la necesidad de emplear estrategias que ayuden a mantener su estabilidad económica. Actualmente, UST, empresa fabricantes de productos químicos, está intentando nuevamente ampliar su mercado y captar más clientes. Ya que la recuperación económica está incrementando nuevamente la apertura de mercados. Estratégicamente surgió la necesidad de implementar un método que ayude a la identificación y la reducción de los desperdicios de un proceso, con la finalidad de minimizar sus costos e incrementar su productividad.

La situación actual que sufre la empresa, está relacionada con la falta de una estrategia que identifique y controle las fuentes que generan los desperdicios. Los problemas por los que atraviesa la empresa en estudio, son los siguientes: no se tienen registros; no se tienen mediciones; inclusive no hay control sobre las variables críticas del proceso; ni se han definido correctamente los tipos de desperdicios de acuerdo a sus características y no existe una planeación adecuada con el manejo de las materias primas que entran y salen del proceso. La medición de los parámetros identificados y establecidos en el proceso, ayudará al incremento de la productividad y a la mejora de

la calidad de los productos. Y como consecuencia, las posibles ganancias, con dichos incrementos, se ven afectadas.

Se identificó el área del proceso que más incidencia tuvo como generador de desperdicios y fue el área 5 en Uno, como consecuencia de los problemas que sufre la empresa. Las etapas del proceso que actualmente se desarrollan en el área identificada, son mostradas a través de un diagrama de bloques del proceso ilustrado en la figura 33. En la cual, las etapas marcadas fueron seleccionadas para la elaboración de un modelo de simulación, con la finalidad de validar la importancia de la aplicación de una metodología en la reducción de los desperdicios y de los beneficios que su pudieran alcanzar.

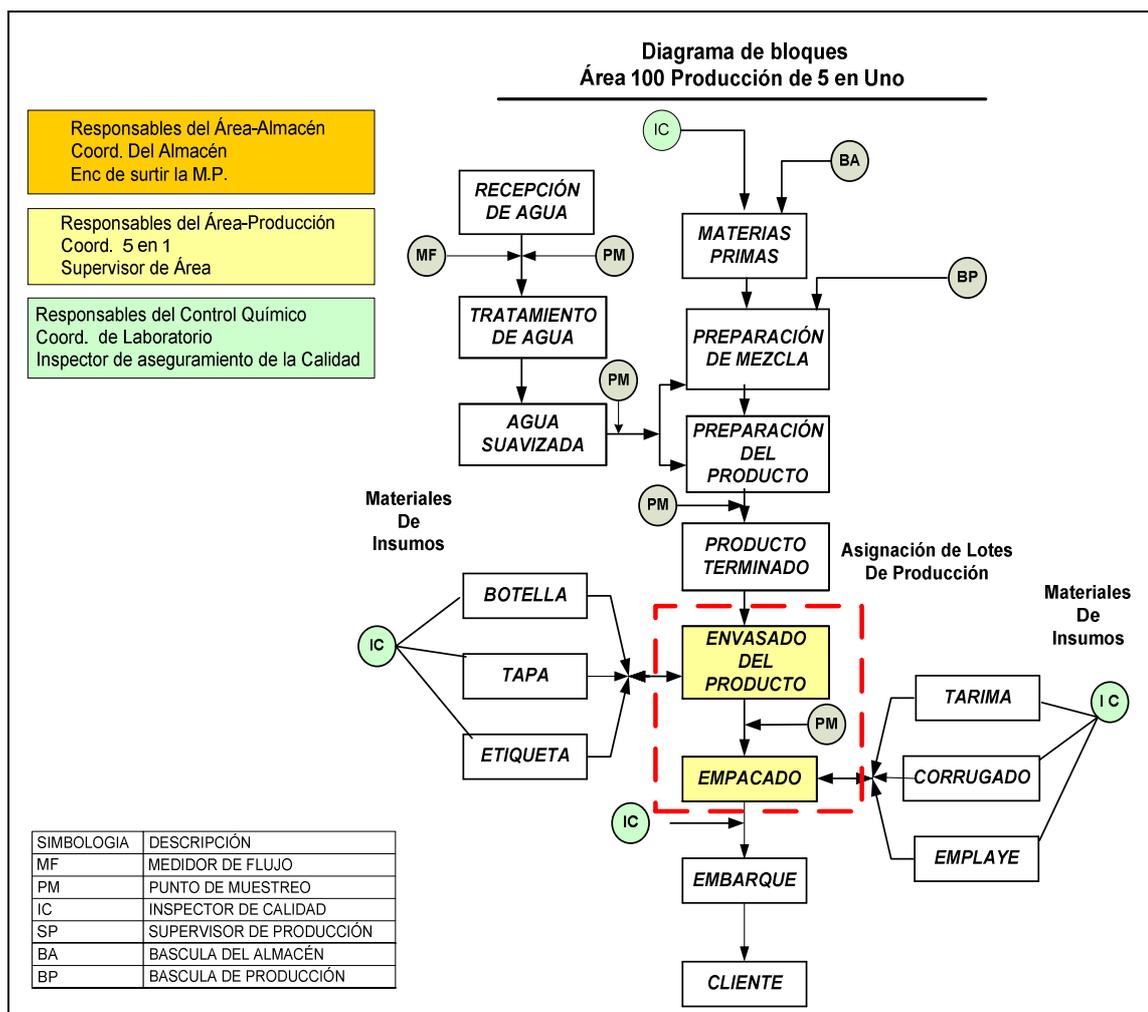


Figura 33. Diagrama de Bloques del área 5 en Uno (US Technologies, 2009).

#### 4.1.2 Modelo de simulación – situación actual

Para la realización del modelo de simulación se realizó un ajuste de los datos; se utilizó el software Arena versión 10 estudiantil. El ajuste se aplicó con base en los tiempos ciclos generados por la máquina de llenado de la línea 1, ya que es más representativa y es la que siempre se utiliza. A partir de esas características se utilizó como factor representativo de los datos, el valor de 1 ciclo = 50 galones; cada uno de los datos está representado en ciclo/minutos y para el armado de una tarima se utilizó el dato de 2.88 ciclos por cada armado de tarima, que es igual a 144 galones por tarima; la cual corresponde con la información obtenida de la problemática descrita en el capítulo 1. A continuación se muestran los datos para la realización de la simulación en la tabla 11:

	<b>Llenado L1 (min.)</b>	<b>Armado de tarima L1 (min.)</b>	<b>Emplayado de Tarima (min.)</b>		<b>Llenado L1 (min.)</b>	<b>Armado de tarima L1 (min.)</b>	<b>Emplayado de Tarima (min.)</b>
<b>1</b>	8.67	6.94	1.24	<b>21</b>	9.17	7.99	1.26
<b>2</b>	9.00	8.68	1.27	<b>22</b>	8.83	9.03	1.27
<b>3</b>	8.67	6.94	1.27	<b>23</b>	8.67	8.68	1.27
<b>4</b>	8.67	8.68	1.26	<b>24</b>	9.33	8.68	1.26
<b>5</b>	8.83	6.94	1.26	<b>25</b>	8.67	9.72	1.25
<b>6</b>	9.00	8.68	1.25	<b>26</b>	8.67	9.72	1.24
<b>7</b>	8.67	6.94	1.27	<b>27</b>	9.17	6.94	1.27
<b>8</b>	9.33	6.94	1.26	<b>28</b>	9.00	8.68	1.27
<b>9</b>	8.67	6.94	1.26	<b>29</b>	9.17	6.94	1.25
<b>10</b>	8.83	8.68	1.26	<b>30</b>	8.67	8.68	1.26
<b>11</b>	8.67	6.94	1.27	<b>31</b>	9.17	6.94	1.26
<b>12</b>	9.17	7.99	1.25	<b>32</b>	9.00	8.33	1.27
<b>13</b>	8.83	8.68	1.26	<b>33</b>	8.67	9.03	1.26
<b>14</b>	9.00	6.94	1.26	<b>34</b>	8.67	6.94	1.27
<b>15</b>	8.67	8.68	1.24	<b>35</b>	8.83	6.94	1.27
<b>16</b>	9.33	6.94	1.24	<b>36</b>	8.83	9.72	1.27
<b>17</b>	9.00	6.94	1.24	<b>37</b>	9.00	8.68	1.26
<b>18</b>	9.17	8.68	1.26	<b>38</b>	9.17	6.94	1.25
<b>19</b>	8.50	8.68	1.26	<b>39</b>	9.00	6.94	1.25
<b>20</b>	8.67	8.68	1.24	<b>40</b>	8.67	6.94	1.24

Tabla 11. Datos del proceso 5 en Uno, utilizados para la simulación.

Con los datos generados para el proceso del área 5 en Uno, fue necesario definir que tipo de distribución era la adecuada, para los datos mostrados en la tabla anterior. Los datos se sometieron a un análisis, utilizando el software StatFit2 versión 2.1.7.1 estudiantil, con la finalidad de encontrar las distribuciones a las que pertenecen. Sólo se obtuvieron resultados favorables para el llenado, la distribución fue del tipo uniforme con valores de 8.5 mínimo y 9.3 máximo. Para los datos de armado de tarima L1 y empleado de tarima, se utilizó el programa proporcionado por el software Arena, el Input Analyzer. Las distribuciones obtenidas fueron empírica continua para el armado de tarima L1, con valores de (0.000, 6.660, 0.450, 7.217, 0.450, 7.773, 0.525, 8.330, 0.875, 8.887, 0.925, 9.443, 1, 10.00) y triangular para el empleado de tarima, con valores de 1.23 mínimo, 1.27 de moda y 1.28 máximo. Otra característica importante fue indicar el porcentaje de desperdicios que actualmente contempla la empresa que es del 3% por cada lote producido y la longitud de la réplica fue para sólo un turno de ocho horas y sin descansos; ya que no se tienen problemas por falta de personal. Con estos valores se realizó el modelo de simulación y es el que aparece en la figura 34.

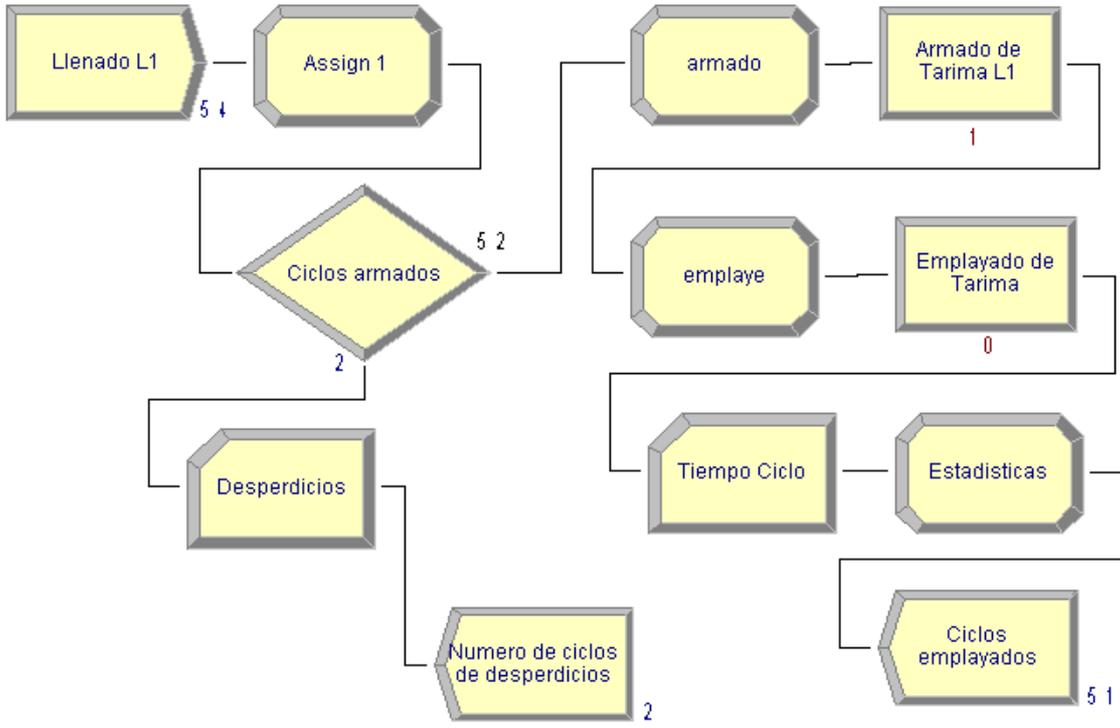


Figura 34. Modelo de simulación de la situación actual de la empresa UST

## **Resultados**

Para obtener los resultados de la situación actual de UST se declararon unas variables que permitieron evaluar y conocer lo que originó la simulación. Se evaluó principalmente el número de ciclos armados, el número de ciclos emplayados y así como el número de ciclos de desperdicios generados después del llenado. La interpretación se realizará más adelante. Los resultados de la simulación fueron los siguientes:

Número de ciclos armados L1	52
Número de ciclos emplayados	51
Número de ciclos de desperdicios	2

### **4.1.3 Modelo de simulación – propuesta de mejora al modelo**

La mejora al proceso actual es separar las etapas internas de los procesos de envasado y de empacado de la figura 35. Las modificaciones del proceso para la propuesta fueron: la maquina llenadora, el armado de cajas, el armado de tarimas y emplayado. Con el propósito de identificar las variables criticas del proceso. La figura 33 muestra el diagrama para el área 5 en Uno y las etapas mejoradas.

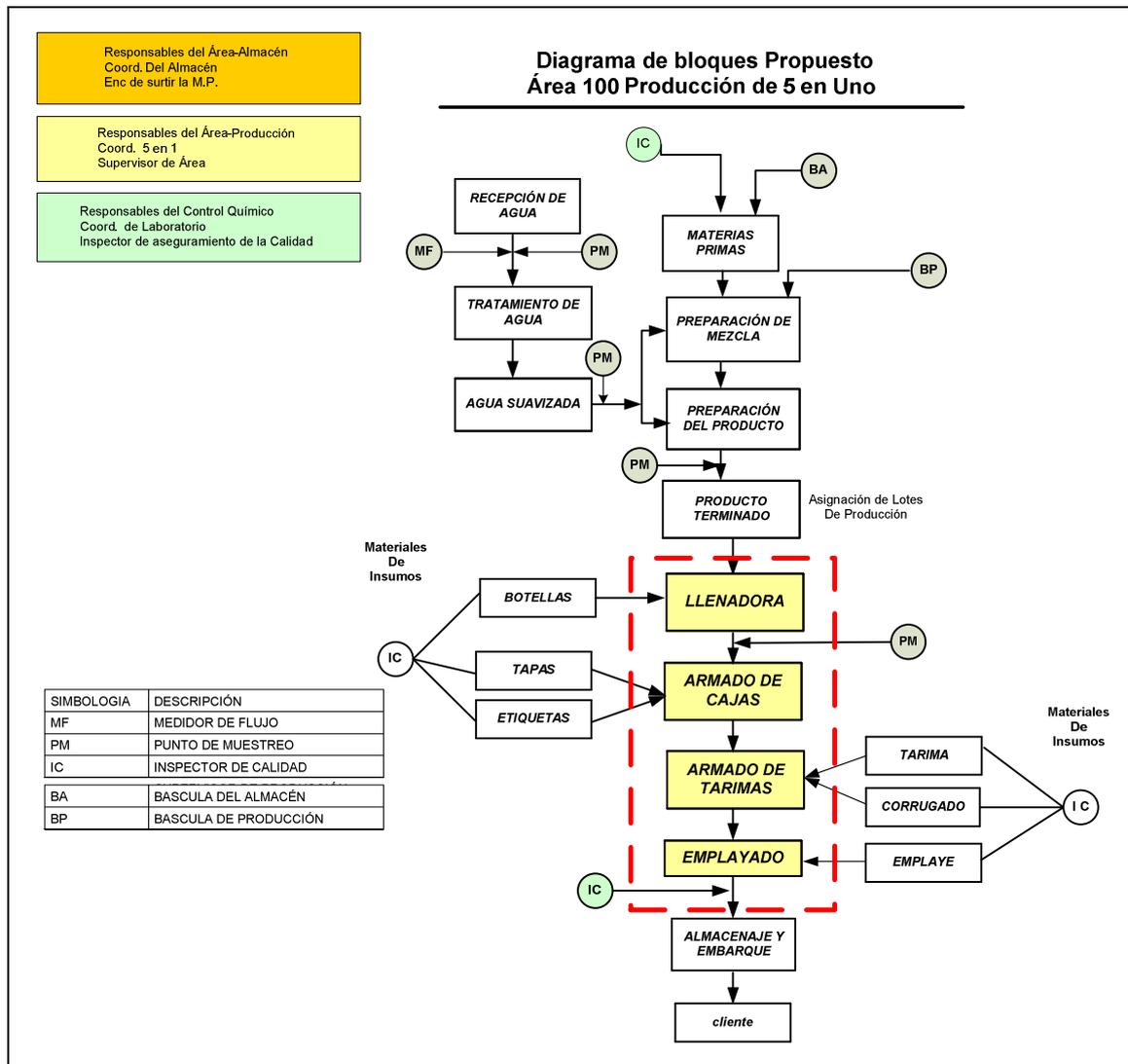


Figura 35. Diagrama de Bloques Propuesto del área 5 en Uno.

Para la realización del modelo propuesto se realizaron algunas modificaciones. Estas fueron: la reducción del tiempo de llegadas de las entidades en el llenado de la distribución uniforme, de 8.5 a 6.5 mínimo y de 9.3 a 7.33 máximo. Se agregó el proceso de armado de cajas, se propone como medida de control faltante al proceso y se utilizan los mismos valores del llenado propuesto. Otra característica fue bajar el porcentaje de desperdicios de 3% en el proceso anterior a 0.5%. Se dejan los mismos valores para el armado de tarima y para la emplayadora. La figura 36 muestra el modelo de simulación propuesto.

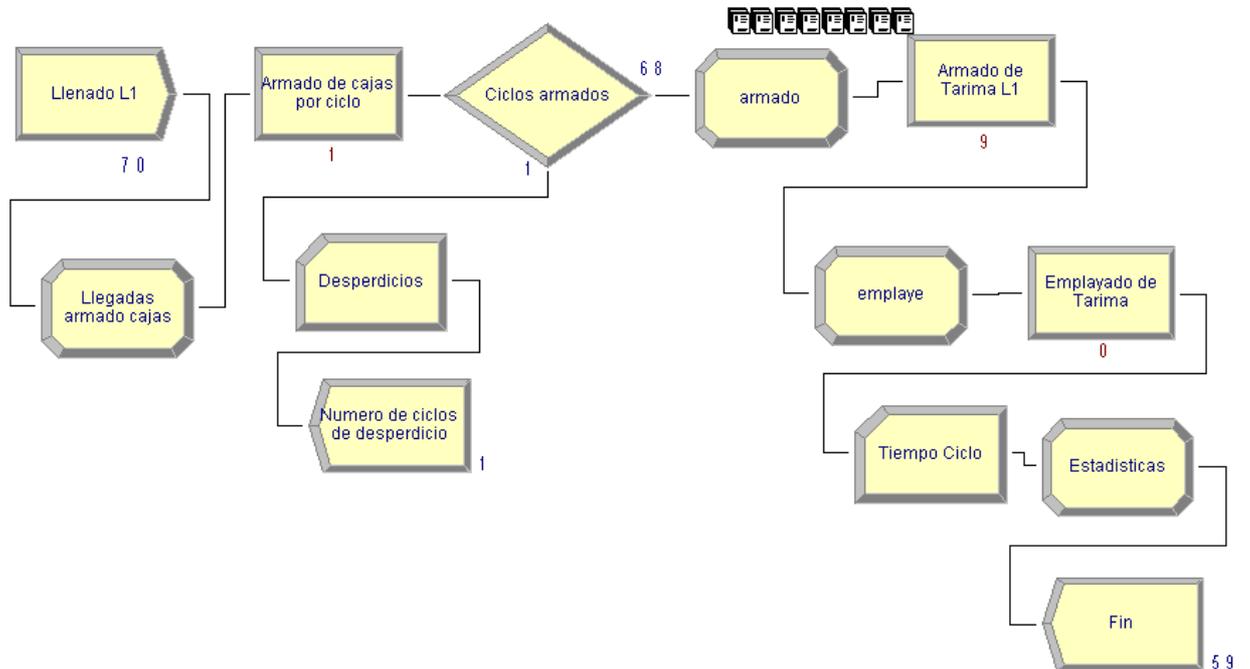


Figura 36. Modelo de simulación propuesto para la empresa UST

## Resultados

Se emplearon las mismas variables declaradas en el modelo anterior (número de ciclos armados, número de ciclos empleados y número de ciclos de desperdicios), además de agregar una nueva variable para el armado de cajas, la interpretación se realizará en el siguiente punto. Por lo tanto, los resultados fueron:

Número de ciclos armados de cajas	70
Número de ciclos armados L1	68
Número de ciclos empleados	59
Número de ciclos de desperdicios	1

#### 4.1.4 Evaluación de ambos modelos de simulación

La interpretación de los resultados nos indica la importancia de la simulación como apoyo en la propuesta realizada para esta investigación. Los ciclos obtenidos en ambos modelos, son una interpretación cuantitativa de la cantidad de galones que van entrando al sistema. Cada ciclo representa un total de 50 galones; por lo tanto, se necesitan de 2.88 ciclos para el armado de una tarima y el empleado. En el caso del armado de cajas cada ciclo representa 12.5 cajas (cada caja contiene 4 galones). Con los datos y los costos de pérdida evaluados y mostrados en el punto 1.1.5, el cual se refiere a la descripción de la problemática, se elaboró la siguiente tabla 12, que describe el costo beneficio:

<b>Evaluación de los modelos de simulación actual y propuesto</b>				
<b>Modelo actual</b>	<b>Armado de cajas</b>	<b>Armado de tarima</b>	<b>Empleado de tarima</b>	<b>Desperdicios</b>
Ciclos	-	52	51	2
Galones	-	2600	2550	100
Tarimas	-	18.1	17.7	
Costo por tarima	-	\$ 27,083	\$ 28,333	
Costo por desperdicio				\$ 1,041.67
<b>Modelo propuesto</b>				
Ciclos	70	68	59	1
Galones	3500	3400	2950	50
Cajas	875	850	737.5	12.5
Tarimas	24.3	23.6	20.5	
Costo por tarima	\$ 36,458	\$ 35,417	\$ 32,778	
Costo por desperdicio				\$ 520.83
<b>Costo - Beneficio</b>				
Por turno		\$ 8,333	\$ 4,444	\$ 521
Por día		\$ 16,666.67	\$ 8,888.89	\$ 1,041.67
Al mes		\$ 433,333.33	\$ 231,111.11	\$ 27,083.33

Tabla 12. Evaluación de los modelos de simulación actual y propuesto en la empresa UST

La evaluación descrita en la tabla 11, nos muestra el costo beneficio que se pudiera lograr la implementar la metodología propuesta MRD–PEAS. Los costos indican el gran ahorro en desperdicios de hasta \$27,083.33, el cual incluye las materias primas y el producto final de llenado. Cabe mencionar que sólo se redujo el 50% de los desperdicios generados por turno. Otro costo importante es el del incremento en la producción del armado y emplayado de tarimas de 30% con un coto de \$433,333.33 y 15% con un costo de \$ 231,111.11 respectivamente. Para el cálculo de los costos se consideró para 2 lotes de producción posibles y para 26 días hábiles son tomar en cuenta los días de descanso. Con la ayuda de la simulación, las diferencias en los costos encontrados apoyan y validan la importancia en la implementación de la metodología propuesta MRD-PAES.

## **4.2 Análisis Externo**

Este punto trata de los hallazgos encontrados en casos de estudios aplicando específicamente metodologías o herramientas para la reducción de desperdicios. El objetivo es comparar los resultados obtenidos de la simulación utilizada para la validación de la propuesta metodológica MRD-PAES, contra los resultados de otras investigaciones semejantes y que han sido aplicadas a empresas.

### **4.2.1 Casos reales**

Se han considerado cuatro casos de estudios aplicados a empresas, incluyendo la validación con la simulación realizada a la empresa UST. A continuación, se da una breve explicación de lo sucedido en cada caso.

#### **Caso 1. Empresa de limpieza del alcohol**

Este caso está aplicado a una empresa de limpieza del alcohol, la cual busca mejorar sus actividades para la prevención y eliminación de los desperdicios generados. A través del uso de herramientas, se identificó las actividades necesarias en el incremento en el tiempo de proceso, la temperatura y la velocidad de agitación en la limpieza del alcohol, para la reducción de los desperdicios; con la finalidad de mejorar la conversión de alcohol sucio a alcohol limpio. Las herramientas fueron la grafica P, para identificar el flujo de las variables del proceso; y las graficas Di, utilizadas para la identificación de variables de causa y efecto, a través de nodos. Se elaboró un modelo

funcional heurístico para la identificación de las diferentes actividades entre sí, ayudando a facilitar la interpretación y el mejoramiento de las variables (Halim I. y Srinivasan R., 2004).

### **Caso 2. Empresa generadora de formaldehídos**

Se utilizó la metodología ontológica para la identificación y descomposición de actividades. Se seleccionaron dos actividades claves: el suministro y la reacción de las cuales, las sub actividades identificadas como: suministro de aire, vaporización del metanol, manejo de vapores y oxidación del metanol, fueron seleccionadas, con la finalidad de establecer las herramientas de reducción de desperdicios apropiadas. Y con ello, se tenga el uso adecuado de la información desde su origen en la mejora y en la prevención de la reducción de los desperdicios (Reyes, et. al., 2008).

### **Caso 3. Empresa transformadora de Hidrodesalquilación (HDA) de tolueno a benceno**

Se identificaron y generaron alternativas cualitativas factibles de los niveles jerárquicos en las variables críticas (a) entradas-salidas, b) reacción y c) separación) y sus alternativas de prevención en el proceso, con el uso del software ENVOPexpert. Después se evaluaron las alternativas cuantitativamente con un simulador HYSYS y el algoritmo WAR con el objetivo de minimizar el impacto del medio ambiente. Se alcanzó hasta un 17% en la reducción del impacto del medio ambiente y 1% en los costos de operación (Halim I. y Srinivasan R., 2002)

### **Caso 4. US Technologies, fabricante de productos de limpieza del hogar**

La empresa US Technologies de encarga de producir productos de limpieza. Se identificó las etapas críticas del proceso (envasado y empaçado). Por lo tanto se aplicó un modelo de simulación con el software ARENA para validar la importancia necesaria en la implementación del diseño de una metodología propuesta MRD-PAES en la reducción de sus desperdicios. Los resultados muestran una reducción paulatina en la generación de desperdicios de 2.5% menos y un incremento en la productividad en sus de las operaciones de un 30% en al armado de tarima y un 15% en el empaçado.

#### 4.2.2 Comparación de casos

Los resultados obtenidos de los casos reales aplicados en algunas empresas son mostrados en la tabla 13 para ser comparados entre sí. De los cuales, hay dos casos de estudio que su análisis fue del tipo cuantitativo y dos del tipo cualitativo. El conjunto de herramientas va desde la aplicación de una metodología específica hasta el uso de herramientas directas, todas con el fin de reducir los desperdicios y mejorar el desempeño de sus actividades o funciones.

El caso de estudio 3 y el aplicado a la empresa UST tuvieron que ver con la aplicación cuantitativa, a través de software de simulación y herramientas de optimización. Es claro notar que entre más complejo se encuentre la empresa en estudio, incrementa el número de variables a evaluar.

Caso	Variables identificadas	Análisis de variables		Herramienta o Metodología utilizadas	Resultados alcanzados
		Cualitativas	Cuantitativas		
1	Tiempo del proceso, temperatura, velocidad de agitación.	SI		Graficas P, Graficas Di (causa – efecto) Modelo heurístico	Mejoramiento de las actividades, mostradas en una tabla comparativa de los resultados entre el equipo de trabajo de la empresa y la metodología propuesta. Se identificaron las actividades críticas y sus sub actividades, como afectan al medio ambiente, se sugirieron herramientas para su reducción (metodología Dupont, ENVOPexpert, integración de proceso) y se comentaron los recursos necesarios para su aplicación.
2	Suministro (aire, vaporización del metanol y manejo de vapores) y Reacción (oxidación del metanol)	SI		Metodología ontológica (descomposición de las actividades del proceso)	

Caso	Variables identificadas	Análisis de variables		Herramienta o Metodología utilizadas	Resultados alcanzados
		Cualitativa	Cuantitativa		
3	a) (alimentación del hidrogeno, tolueno, desperdicio de vapor y difenol); b) (reactor, horno, flujo de hidrogeno y tolueno) y c) (estabilizador , columna de benceno y tolueno)		SI	ENVOPexpert, Simulador HYSYS y algoritmo WAR	Se identificaron los niveles jerárquicos y sus alternativas de solución con la herramienta ENVOPexpert y se analizaron con el simulador y con el algoritmo se logró un 17 % en la reducción del impacto ambiental y 1% en los costos de operación
4	Tarimas armadas, tarimas emplayadas, desperdicios generados		SI	Simulador ARENA	Incremento en las operaciones del armado de tarima y emplayado de hasta un 30% y 15% respectivamente y una reducción paulatina de hasta el 2.5 % en la generación de desperdicios

Tabla 13. Comparación de casos reales en empresas.

### **4.3 Conclusiones y aportaciones a la investigación**

Durante la investigación realizada, la empresa US Technologies enfrentó una problemática en la generación de los desperdicios. Por lo que, fue necesario realizar una propuesta de diseño de una metodología para la reducción de sus desperdicios. En su diseño, se tomaron en cuenta ciertos factores importantes y relevantes propuestos por otras metodologías, para el diseño de la Metodología de Reducción de Desperdicios basada en la Planeación, el Análisis, la Evaluación y el Seguimiento (MRD-PAES). Los beneficios logrados de las aportaciones realizadas en la metodología diseñada fueron:

- ✓ En la planeación, se desarrolló un punto importante en la selección de la estrategia; ya que define lo que la empresa realmente busca, como prevenir, reciclar, tratar o desechar los desperdicios.
- ✓ En el análisis, se integraron dos metodologías que analizan los problemas en la reducción de los desperdicios con las herramientas adecuadas; por un lado, donde la empresa dispone de la información necesaria; y por otro lado, donde la empresa se ve limitada con la información.
- ✓ En la evaluación, se consideró la necesidad de inversión, con base en los resultados del análisis; ya que depende del tipo de estrategia que se lleva a cabo, de la mejora de los procesos, de la reducción de los costos en la generación de los desperdicios y en la reducción del impacto en el medio ambiente. Además, se estableció la importancia de implementar controles o estándares dentro de los procesos, cuando sean necesarios, o en su momento mejorarlos.
- ✓ En el seguimiento, fue importante la generación de una base de datos, con el adiestramiento adecuado del personal para su uso, así como, disponer del conocimiento adecuado de las variables críticas y los controles establecidos. Se propuso que la participación e integración al equipo de proyecto sea abierta, con la finalidad de que todos tengan las mismas oportunidades y las ideas sean escuchadas e implementadas.

Hay que resaltar la importancia de la implementación de la metodología MRD-PAES en un plazo entre los 1 y 3 meses; ya que las metodologías analizadas, no lo comentan.

Sin embargo, el tiempo debe ser establecido por la administración y el equipo de proyecto. El control en los gastos, en el presupuesto y las inversiones generadas son fundamentales, pues de ellas depende el control y las mejoras en los procesos que generan los desperdicios.

Por otra parte, la simulación realizada tuvo como finalidad validar la importancia de implementar la metodología MRD-PAES y demostrar lo que se puede alcanzar. Los resultados muestran claramente que al implementar la metodología adecuadamente, se lograrán mejores resultados y se podrán establecer los controles necesarios para la reducción de los desperdicios. Ahora bien, las características del diseño de la metodología MRD-PEAS y su implementación están basadas en la problemática de la empresa. Con los problemas presentados en la empresa en estudio y la estrategia de prevención a seguir se considera factible el uso de herramientas administrativas como el caso de lean manufacturing, ISO 9000 e ISO 14000. Ya que es necesario una buena interacción entre el personal y el conocimiento adecuado de las fuentes y los tipos de desperdicios generados en la empresa.

En conclusión, el diseño de la metodología propuesta MRD-PAES es de suma importancia para el beneficio de la empresa UST. La propuesta es resultado de la comparación realizada entre otras metodologías y las necesidades y carencias de la empresa. El apoyo de la simulación remarcó y destacó los beneficios económicos que se pudieran lograr, con la implementación de la metodología MRD-PAES. La empresa UST juegan un papel muy importante, en donde la credibilidad y la confianza de todo su personal es vital para el cúmulo de éxitos posibles a alcanzar con esta metodología.

#### **4.4 Futuras investigaciones**

Para el desarrollo de las investigaciones posteriores, es importante implementar la metodología diseñada y comprobar los resultados en el tiempo de aplicación y la selección de las herramientas adecuadas a ser implementadas por parte del equipo de proyecto. Además de probar que la hipótesis de la investigación sea aceptada y con ello se cumpla con el objetivo de esta investigación. La aplicación de las herramientas administrativas (lean manufacturing, ISO 9000 u otras) son tomadas en cuenta por las

características y estrategias que se presentaron dentro de la empresa. Y para la aplicación de la metodología en otras áreas es posible aplicar las herramientas del tipo operativas, dependiendo de las condiciones y la problemática que se tenga en el área y del uso al que sea destinada la metodología propuesta.

La metodología MRD-PAES nace de la problemática y las necesidades presentadas en la empresa. Para ampliar la línea de investigación se podrá tomar la metodología para realizar cambios y poder aplicarla para cualquier tipo de empresa. La integración de otras metodologías pudiera mejorar la estructura de aplicación general. Por otro lado, la simulación realizada para la validación de la metodología puede ampliarse en el número de variables (los tiempos de preparación del producto líquido, los recursos humanos y de materia prima) y aplicarse para toda el área, convertirlo en un modelo de simulación robusto. Además de utilizar un software de simulación que contenga un ilimitado número de entidades, con la finalidad de probar el modelo con datos reales y no representativos.

Otro punto para ser investigado más adelante, es la implementación de la metodología específicamente en el impacto ambiental de sus desperdicios. Ya que muchas veces, son de los problemas ocultos y que poco a poco se conocen de ellos. La gestión en la reducción del impacto ambiental está considerada dentro de la ISO 14000. Sin embargo, con las metodologías aplicativas directamente, se pudieran desarrollar o utilizar algoritmos ya establecidos. Estás han sido algunas de las alternativas que se pudieran realizar más adelante y que la metodología diseñada MRD-PAES lo permite. No obstante, la implementación es la puerta que abre las oportunidades de mejorar y corregir lo establecido. Además, la disposición y la credibilidad de todo un equipo será ideal para seguir y continuar con mejores prácticas operativas, administrativas y financieras para el beneficio de la empresa.

## REFERENCIAS

- Azapagic, A. and Clift, R. (1999). The application of life cycle assessment to process optimization. *Computers and Chemical Engineering*. 23: 1509-1526.
- Baca G. U.; Cruz, M.; Cristobal, M. A.; Gutierrez, J.C.; Pacheco, A.; Rivera, A. y Rivera, I. (2007). *Introducción a la ingeniería industrial (1ª ed.)*. México: Grupo Editorial Patria.
- Baca, G. U.; Rodríguez, N.; Pacheco, A.; Reyes, J.; Alcántar, M. E.; Prieto, A. M.; Pérez, G.; Rivera, I.; Pinzón, C.; Bonotto, M. V. y Rivera, G. (2010). *Administración integral. Hacia un enfoque de procesos (1ª ed.)*. México: Grupo Editorial Patria
- Block, M. R. y Marash I. R. (2004). *Integración de la ISO 14001 en un sistema de gestión de la calidad (2ª ed.)*. España: Fundación Confemetal.
- Bulatov, I.; Klemeš, J. (2009) Towards cleaner technologies: emissions reduction, energy and waste minimization, industrial implementation. *Clean Technologies & Environmental Policy*, 11 (1), 1-6.
- Cabezas, H.; Bare, J. C. y Mallick, S. K. (1999). Pollution prevention with chemical process simulators: the generalized waste reduction (WAR) algorithm-full version. *Computers & Chemical Engineering*, 23, 623-634.
- Centre for Process Integration (2010). What is Process Integration? *Chemical Manufacturing & Engineering*. EUA. Consultado: 21 de Noviembre del 2010. Disponible en: <http://www.chemicalprocessing.com/articles/2005/452.html>
- Chapple, W.; Harris, R.; Paul, C. The cost implications of waste reduction: factor demand, competitiveness and policy implications. *Journal of Productivity Analysis*, 26 (3), 245-258.
- Cheremisinoff, N.P. (2003). *Handbook of solid waste management and waste minimization technologies (1ª ed.)*. Estados Unidos de América: Butterworth Heinemann. Vol. 3.
- Comité de Competitividad. (2008). *Situación de la competitividad en México (1ª ed.)*. México: Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública.

- Crittenden B. y Kolaczowski S. (1995). Waste minimization a practical guide. United Kingdom: Institution of chemical engineers.
- Cuatrecasas, LI. (2010). Lean Management: La gestión competitiva por excelencia (1ª ed.). España: Profit.
- Dahlgaard, J.; Dahlgaard, S. (2002) From defect reduction to reduction of waste and customer/stakeholder satisfaction (understanding the new TQM metrology). Total Quality Management, 13 (8), 1069
- Damelio R. (2001). Mapeo de procesos (2da reimp.). México: Panorama.
- Davis, G.; Phillips, P.; Coskeran, T. (2009) DRIVING COMMERCIAL AND INDUSTRIAL WASTE REDUCTION IN QUEENSLAND, AUSTRALIA—THE POTENTIAL APPLICATION OF A UK WASTE MINIMISATION CLUB MODEL. Journal of Solid Waste Technology & Management, 35 (1), 51-63.
- Davis, W. S., (1999). Cost/benefit analysis chapter thirty-eight. CRC Press LLC. P Consultado: 21 de Noviembre del 2010. Disponible en: [ftp://ftp.seu.edu.cn/Pub2/EBooks/Books\\_from\\_EngnetBase/pdf/7001/7001\\_PDF\\_C38.pdf](ftp://ftp.seu.edu.cn/Pub2/EBooks/Books_from_EngnetBase/pdf/7001/7001_PDF_C38.pdf)
- Departamento de Conservación Ambiental de Tennessee (1999). Writing a waste reduction plan. EUA, Tennessee. Consultado: 17 de Marzo del 2010. Disponible en: <http://www.p2pays.org/ref/16/15910.pdf>
- Departamento de Protección Ambiental de la Florida (2007). Guía para preparar un plan de reducción de desperdicios. EUA, Florida. Consultado: 17 de Marzo de 2010. Disponible en: [http://www.dep.state.fl.us/waste/quick\\_topics/publications/shw/Plan\\_de\\_Reducion\\_de\\_Desperdicios.pdf](http://www.dep.state.fl.us/waste/quick_topics/publications/shw/Plan_de_Reducion_de_Desperdicios.pdf)
- Douglas JM (1992). Process synthesis for waste minimization. Industrial Engineer Chemistry. Res. 31 238-243.
- El-Halwagi, M. M. (2009). Process integration. Process systems engineering. (1ª ed.) Vol. 7. Estados Unidos: ELSEVIER
- Environment Agency Japan, (1992). Quality of the environment in Japan 1992. Tokyo.
- Environment Agency, (2009). Environment Agency's Sustainable Procurement Guide. Consultado: 21 de Noviembre del 2010. Disponible en: <http://www.environment-agency.gov.uk/aboutus/procurement/120987.aspx>

- Environment Protection Agency, (2009). What is risk assessment?. Consultado: 21 de Noviembre del 2010. Disponible en: <http://epa.gov/riskassessment/basicinformation.htm#arisk>
- Environmental Data Services (2009). Waste reduction Winner DENSO MANUFACTURING UK. Green Business Awards. 20-20.
- Envirowise (1998). Waste Minimization pays. United Kingdom. Consultado: 21 de Noviembre del 2010. Disponible en: <http://www.envirGwise.gov.uk/>.
- Ezquerro, M. A. (1998). Diccionario ideológico de la lengua española (1ª ed.). España: VOX
- Feld, W. M. (2001) Lean Manufacturing. Tools, techniques, and how to use them (1ª ed.). Estados Unidos de América: St. Lucie Press / APICS Series on Resource Management
- GreenPro (2011). What is GreenPro?. Consultado: 22 de Noviembre del 2010. Disponible en: <http://www.certifiedgreenpro.org/>
- Guía Roji (2010). Mapa de localización por medio electrónico. Consultado: 20 de Enero del 2010. Disponible en: [http://mapas.guiaroji.com.mx/ubicacion.php?gv\\_mapa=1&gv\\_calle=&gv\\_colonia=INDEPENDENCIA&gv\\_delegacion=TULTITLAN&gv\\_cp=54914&gv\\_x=481823.984905765&gv\\_y=2170386.98547612](http://mapas.guiaroji.com.mx/ubicacion.php?gv_mapa=1&gv_calle=&gv_colonia=INDEPENDENCIA&gv_delegacion=TULTITLAN&gv_cp=54914&gv_x=481823.984905765&gv_y=2170386.98547612)
- Gutiérrez P. H y De la Vara S. R. (2009). Control estadístico de calidad y seis sigma. (2da ed.). México: Mc Graw Hill.
- Hajeer, M. (2010). Mathematical Model for Waste Reduction in Aluminum Fabrication Industry in Kuwait. Journal of Mathematics & Statistics, 6 (2), 110-115.
- Halim, I. y Srinivasan, R. (2006). Supporting Waste Minimization Studies by Integrating Expert System with Process Simulators. 16th European Symposium on Computer Aided Process Engineering and 9th International Symposium on Process Systems Engineering. Ed. Elsevier B.V, 1003–1007.
- Halim, I. y Srinivasan, R (2000). An intelligent system for identifying waste minimization opportunities in chemical processes. In European Symposium on Computer Aided Process Engineering - 10; Pierruci, S., Ed.; Elsevier Science: Amsterdam; p 829-834.

- Halim, I. y Srinivasan, R. (2006). Systematic waste minimization in chemical processes. 3. Batch operations. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45: 4693-4705.
- Halim, I. y Srinivasan, R. (2004). A New Methodology for Automating Waste Minimization Analysis of Batch Processes. Consultado 2 de Diciembre del 2010. Disponible en: <http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/aiche2004/pdffiles/papers/006d.pdf>
- Halim, I. y Srinivasan, R. (2002). *Industrial Engineer Chemical Res.*, 41, p 208-219.
- Halim, I. y Srinivasan, R. (2002). Integrated decision support system for waste minimization analysis in chemical processes. *Environmental Science Technology*, 36, 1640 – 1648
- Henry, G. y Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental* (2da ed.). México: Pearson,
- HERNANDEZ, S. R. (2002). *Administración. Pensamiento, proceso, estrategia y vanguardia*. (1ª ed.) México: Mc Graw Hill
- Hilaly, A. K.; Sikdar, S. K. J., (1994) *Air Waste Management Association*. 44, 1303-1308
- Hinterberger, F., et. al, (2003). *Material Flow Accounting and Analysis (MFA) A Valuable Tool for Analyses of Society-Nature Interrelationships*. Sustainable Europe Research Institute (SERI) Background Paper, Num. 2. Consultado: 26 de Noviembre del 2010. Disponible en: <http://seri.at/wp-content/uploads/2009/08/SERI-BP2.pdf>
- Imai M. 1998. *KAIZEN La clave de la ventaja competitiva japonesa* (10ª impr.). México: CECSA
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). *La industria química en México 2009, Serie estadísticas sectoriales Numero 23*. México. Consultado: 8 de Mayo del 2010. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/Quimica/2009/IQM-2009.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/Quimica/2009/IQM-2009.pdf)
- Isalski, W.H. (1995). ENVOP for waste minimization. *Environmental Protection Bulletin*, 34(16)
- Kelton, W. D., et. al. (2008). *Simulación con software ARENA* (4ª ed.). México: Mc Graw Hill.

- Lapré, M.; Mukherjee, A.; Van Wassenhove, L. (2000) Behind the Learning Curve: Linking Learning Activities to Waste Reduction. *Management Science*, 46 (5), 597.
- Law, A. M. (2007). *Simulation Modeling and Analysis* (4<sup>a</sup> ed.). Estados Unidos de América: Mc Graw Hill
- Lenihan V. (2010). Cleaner production to drive water efficiency. *Water Science & Technology: Water Supply—WSTWS*. 10 (4), p 541 – 545.
- Marticorena, A.; Mandagarán, B.; Campanella, E. (2010). Análisis del Impacto Ambiental de la Recuperación de Metanol en la Producción de Biodiesel usando el Algoritmo de Reducción de Desechos WAR. *Información Tecnológica*, 21 (1), 23-30.
- Mizsey, P. y Fonyó, Z. (1995) Waste reduction in the chemical industry. Cited in HM Freeman, Z Puskas and R. Orbina (eds.) *NATO ASI Series, Vol. 2 Cleaner Technologies and Cleaner Products for Sustainable Development*. Springer, Berlin. 141-152.
- Mulholland KL y Dyer JA (1999) *Pollution Prevention: Methodology, Technologies and Practices*. AIChE., New York, NY. Cited in: KL Mulholland and JA Dyer (2001) Process analysis via waste minimization: using DuPont's methodology to identify process improvement opportunities. *Environ. Prog.* 20 (2) p 75-79.
- Mulholland KL y Dyer JA (2001) Process analysis via waste minimization: Using DuPont's methodology to identify process improvement opportunities. *Environ. Prog.* 20 (2) 75-79.
- Mulholland, K. and Dyer, J. (1998). Follow this path to pollution prevention. *Chemical Engineering Progress*, 94(1): 34-42.
- Natural Resources Canada, (2003) Pinch Analysis for the efficient use. Of energy, water and hydrogen. Catalogue # M39-96 / 2003 E. Consultado 24 de Noviembre del 2010. Disponible en: [www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=en&name=en\\_23130289.pdf](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=en&name=en_23130289.pdf)
- Okamura, T.; Matsuyhashi, R.; Yoshida, Y.; Hasegawa, H.; Ishitani, H. (2004) CO2 reduction effect of the utilization of waste heat and solar heat in a city gas system. *Electrical Engineering in Japan*, 149 (1), 22-32.

- Operation Research: The science of better. (2010). What Operations Research is? Estados Unidos de América. Consultado: 9 de Febrero del 2010. Disponible en: <http://www.scienceofbetter.org/what/index.htm>
- Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE). (2010). Perspectivas OCDE: México Políticas Clave para un Desarrollo Sostenible. México. Consultado: 26 de Enero del 2010. Disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/22/2/45391108.pdf>
- Oropeza, H. (2005). Los costos en las empresas, guía técnica (1ª ed.). México: Trillas.
- Presidencia de la Republica (2007). Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012. Poder Ejecutivo Federal. México. Consultado: 26 de enero del 2010. Disponible en: [http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/pdf/PND\\_2007-2012.pdf](http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/pdf/PND_2007-2012.pdf)
- Render, B.; Stair, R. y Hanna, M. (2006). Métodos cuantitativos para los negocios (9 Ed.). México: Pearson Prentice Hall.
- Resch, M.; Desrochers, P. (2001) 10 Steps to Facility-Wide Waste Reduction. Pollution Engineering, 33 (4), 26.
- Reyes C. A., et. al. (2008). Contribution of knowledge management for the implementation of waste minimization measures into process industries. Process Safety and Environment Protection, 86 (1), p 375 – 388.
- Riggs, J. L. (2008). Sistemas de producción planeación, análisis y control. (3ª ed.). México: LIMUSA WILEY
- Rockwell Automation (2005). Arena Template Developer's Guide. Rockwell Software Inc. USA.; Publication ARENDG-RM001B-EN-P.
- RUSHBROOK, P. (2006) Developments in Management and Technology of Waste Reduction and Disposal. Annals of the New York Academy of Sciences, 1076 (1), 486-497.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2010). Presenta la SEMARNAT el inventario nacional de generación de residuos peligrosos. México. Consultado: 28 de Enero del 2010. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/boletindeprensa/Pages/BOLETIN%20SEMARNAT%2012310.aspx>
- SEMARNAT, Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, México
- Sikdar, S. and El-Hawagi, M. (2001). Process Design Tools/or the Environment. (Taylor & Francis, New York, USA).

- Sipper, D. y Bulfin Jr., R. (1998). Planeación y control de la producción (1ª ed.). México: MC Graw Hill.
- Socconini, L. (2008). Lean Manufacturing (1ª ed.). México: Norma
- Stagliano A.A. (2005). Herramientas avanzadas de six sigma (1ª ed.). México: Panorama.
- Steurer, A., (1992). Stoffstrombilanz Österreich, 1988. Schriftenreihe Soziale Ökologie. No. Band 26. IFF/Abteilung Soziale Ökologie, Wien.
- Takus, David A. y Profozich, David M. (Invierno, 1997). Arena Software Tutorial. Documento presentado en la conferencia de simulación, Sewickley, Pennsylvania
- Tam, V.; Tam, C. (2008) Waste reduction through incentives: a case study. Building Research & Information, 36 (1), 37-43.
- Tomkevičiūtė, G. y Stasiškienė, Ž. (2006) Assessment of Opportunities for Beverage Packaging Waste Reduction by Means of Deposit-Refund Systems. Environmental Research, Engineering & Management, 35 (1), 61-72.
- U.S. Environmental Protection Agency (2009). Environmental Management Systems (EMS). Consultado: 30 de Noviembre del 2010. Disponible en: <http://www.epa.gov/ems/>
- US Technologies. (2002). MANUAL DE OPERACIÓN DE MAQUINA LLENADORA.
- US Technologies. (2005). MISIÓN DE LA EMPRESA. Manual de la Organización.
- US Technologies. (2009). ORGANIGRAMA. Manual de la Organización.
- Vega, J. C. (2002). QUIMICA DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES. (1ª Edición). Chile. Universidad Católica de Chile.
- Weissberg, R., & Buker, S. (1990). Writing up research: experimental research report writing for students of English. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Regents.
- Wilkinson, A. M. (1991). The scientist's handbook for writing papers and dissertations. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.