

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Mejoramiento de una Línea de Producción de Tanques  
Rotomoldeados Utilizando Técnicas de Producción  
Esbelta”**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

Presentada por:

Carlos Gabriel Sarango Bustos

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2012

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis hermanos y mis amigos operadores de la empresa, por su apoyo sincero e incondicional durante la realización y culminación de este trabajo. Especialmente al Doctor Kleber Barcia por su invaluable ayuda.

## DEDICATORIA

A mis padres: Ada y Carlos, porque un hijo nunca olvida.

A mi esposa: Mirella por todo su amor incondicional.

A mis hijos: Samantha, Doménica, Daniel y Ayleen por ser el motor principal de mi vida.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Gustavo Guerrero M.

DECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE

---

Dr. Kleber Barcia V.

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Juan Calvo U.

VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Carlos Gabriel Sarango Bustos

## **RESUMEN**

La tesis se desarrolló en una empresa líder en Ecuador en la fabricación de productos plásticos para conducción y almacenamiento de fluidos, especialmente el agua para uso doméstico, situada en la ciudad de Durán y forma parte de un grupo internacional de empresas químicas y petroquímicas con más de 50 empresas a nivel mundial.

Este estudio se enfoca dentro del área de rotomoldeo, específicamente en el proceso de fabricación de tanques de polietileno lineal para almacenamiento de agua. La planta se divide en dos áreas: el área de mezclas y el área de hornos, donde se han descubierto inconvenientes que afectan la productividad y rendimiento. Entre las principales causas detectadas se encuentran los paros no programados de los equipos y maquinarias ocasionados por la falta de un programa de mantenimiento preventivo, además la existencia de desperdicios, desorden y contaminación del material. El objetivo principal de este estudio es plantear mejoras para disminuir el desperdicio y aumentar la productividad en el proceso de fabricación de tanques rotomoldeados mediante la utilización de los principios y técnicas de producción esbelta.

Con la aplicación de la metodología de producción esbelta se realiza la identificación de los principales problemas existentes en el proceso

productivo mediante una entrevista con el supervisor del área y se toman las respuestas con mayor relevancia. Luego de identificar algunos problemas en el proceso se realizan entrevistas a cinco operadores mediante cuestionarios con preguntas relacionadas con problemas de cultura, proceso y tecnología. Con la información obtenida de las entrevistas se procede a identificar los desperdicios del proceso y clasificarlos en desperdicios de alta prioridad y de baja prioridad. Al identificar los desperdicios críticos se procede a plantear mejoras para disminuirlos o eliminarlos.

La primera técnica esbelta en plantearse consiste en Mantenimiento Productivo Total y la implementación se basa fundamentalmente en 4 fases: Identificación de las condiciones actuales del equipo, Mejorar la vida del equipo, Planear el mantenimiento para mantener las condiciones del equipo y Predecir la vida del equipo. La segunda técnica esbelta en plantearse consiste en Trabajo en Equipo y Entrenamiento Cruzado, para implementación se seguirán tres puntos básicos: Procedimiento general de entrenamiento cruzado, Revisar y definir temas para la capacitación y el cronograma de actividades y capacitación. Con la implementación de las técnicas esbeltas seleccionadas, se espera obtener una reducción del porcentaje de paros de máquina y el cumplimiento de las metas de producción. Finalmente se analiza las mejoras planteadas mediante un análisis costo - beneficio para determinar la rentabilidad y viabilidad del estudio.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS.....	XI
SIMBOLOGÍA.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 Metodología de la Tesis.....	6
1.4 Estructura de la Tesis.....	8
CAPÍTULO 2	
2. MARCO TEÓRICO.....	10

2.1 Diagrama de Pareto.....	10
2.2 Diagrama de Flujo.....	13
2.3 Metodología de Producción Esbelta.....	16
2.4 Método de Mapeo de Cadena de Valores (VSM).....	19
2.5 Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	24

### CAPÍTULO 3

3. SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA.....	29
3.1 Descripción de la Empresa.....	29
3.2 Descripción del Proceso.....	33
3.3 Demanda y Producción Actual.....	50
3.4 Medición de Indicadores.....	54
3.5 Identificación de Problemas.....	60

### CAPÍTULO 4

4. IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS Y MEJORAMIENTO DEL PROCESO.....	67
4.1 Elaboración de Instrumentos de Entrevistas.....	67
4.2 Entrevistas.....	72
4.3 Selección de Desperdicios Críticos.....	79
4.4 Mapeo de la Cadena de Valor Actual.....	82
4.5 Selección de Técnica de Mejora.....	90

4.6 Mantenimiento Total Productivo (TPM).....	92
4.7 Trabajo en Equipo y Entrenamiento Cruzado.....	124
4.8 Mapeo de la Cadena de Valor Mejorada.....	130

## CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS.....	134
5.1 Medición de Indicadores.....	134
5.2 Análisis Costo – Beneficio.....	138

## CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	144
6.1 Conclusiones.....	144
6.2 Recomendaciones.....	146

## ANEXOS

## BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

Kg	Kilogramos
VSM	Mapeo de Cadena de Valores
TPM	Mantenimiento Productivo Total
PVC	Policloruro de Vinilo
PEPS	Primero en entrar – Primero en salir
OEE	Eficiencia Global del Equipo
MP	Mantenimiento Preventivo
MRP	Planeación de requerimiento de materiales
VAN	Valor actual neto
TIR	Tasa interna de retorno
TMAR	Tasa mínima atractiva de retorno

## SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
\$	Dólares

## INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1	Metodología de la Tesis.....	8
Figura 2.1	Símbolos del diagrama de flujo.....	14
Figura 2.2	Pasos básicos para identificar y eliminar desperdicios en procesos productivos.....	17
Figura 2.3	Metodología del mapeo de cadena valor.....	20
Figura 2.4	Símbolos del mapeo de la cadena de valor.....	23
Figura 3.1	Organigrama de la empresa.....	31
Figura 3.2	Esquema del pulverizador.....	35
Figura 3.3	Esquema de la mezcladora.....	36
Figura 3.4	Molde de rotomoldeo.....	37
Figura 3.5	Esquema de maquinarias de rotomoldeo.....	39
Figura 3.6	Diagrama de flujo del proceso de mezcla.....	41
Figura 3.7	Diagrama de flujo del proceso de rotomoldeo.....	45
Figura 3.8	Proceso de rotomoldeo.....	49
Figura 3.9	Diagrama de Pareto de ventas 2011.....	53
Figura 4.1	Formato cuestionario de cultura.....	69
Figura 4.2	Formato cuestionario de proceso.....	70
Figura 4.3	Formato cuestionario de tecnología.....	71
Figura 4.4	Mapeo de la cadena de valor actual.....	86
Figura 4.5	Almacenamiento de material compuesto.....	88
Figura 4.6	Acabado manual e impresión de logotipo.....	89
Figura 4.7	Cargar el material y abrir/cerrar el molde.....	89
Figura 4.8	Formato de análisis de la condición actual del equipo.....	95
Figura 4.9	Hoja de calificación.....	99
Figura 4.10	Esquema del quemador y línea de gas.....	114
Figura 4.11	Puntos de lubricación de la rotomoldeadora.....	117
Figura 4.12	Ubicación de la maquinaria en la planta.....	119
Figura 4.13	Procedimiento para entrenamiento cruzado.....	126
Figura 4.14	Mapeo de la cadena de valor mejorada.....	131

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Superficie de la empresa.....	32
Tabla 2 Producción y ventas anuales.....	51
Tabla 3 Ventas e ingresos año 2011.....	52
Tabla 4 Indicadores actuales.....	55
Tabla 5 Expectativas en el proceso.....	58
Tabla 6 Clasificación de los problemas.....	63
Tabla 7 Frecuencia de ocurrencia de problemas.....	65
Tabla 8 Identificación y clasificación de datos de desperdicios.....	74
Tabla 9 Agrupación de datos de desperdicios.....	76
Tabla 10 Porcentajes de presencia de desperdicios.....	78
Tabla 11 Matriz causas vs técnicas esbeltas.....	91
Tabla 12 TPM. Tabla de clasificación grupo 1.....	96
Tabla 13 TPM. Tabla de clasificación grupo 2.....	97
Tabla 14 TPM. Tabla de clasificación grupo 3.....	98
Tabla 15 Récord de oportunidades del equipo.....	102
Tabla 16 TPM. Tabla de clasificación mejorada grupo1.....	103
Tabla 17 TPM. Tabla de clasificación mejorada grupo 2.....	104
Tabla 18 TPM. Tabla de clasificación mejorada grupo 3.....	105
Tabla 19 Clasificación OEE.....	106
Tabla 20 Valores obtenidos de coeficientes para el cálculo de OEE.....	109
Tabla 21 Mayores causas de las fallas.....	113
Tabla 22 Capacitación para el personal de rotomoldeo.....	127
Tabla 23 Cronograma de actividades y capacitaciones.....	129
Tabla 24 Impacto después de las mejoras.....	135
Tabla 25 Costo Hora-Hombre.....	138
Tabla 26 Ahorro mensual (paros no programados eliminados).....	139
Tabla 27 Ahorro mensual por reducción de personal.....	139
Tabla 28 Ahorro mensual por aumento de productividad.....	139
Tabla 29 Ahorro por disminución de desperdicios.....	140
Tabla 30 Ahorro mensual total esperado.....	140
Tabla 31 Costo de implementación de TPM.....	141

Tabla 32	Costo de personal a capacitarse con entrenamiento cruzado....	141
Tabla 33	Costo de facilitador.....	142
Tabla 34	Costo de implementación de técnica entrenamiento cruzado....	142
Tabla 35	Costo total de implementación de las técnicas de mejoras propuestas.....	142
Tabla 36	Evaluación financiera.....	143

# INTRODUCCIÓN

La tesis se desarrolla en una empresa líder en Ecuador en la fabricación de productos plásticos para conducción y almacenamiento de fluidos, situada en la ciudad de Durán.

Las principales líneas de producción que posee esta empresa son: Tuberías de PVC, polietileno y polipropileno mediante el proceso de extrusión; accesorios de PVC y polipropileno mediante el proceso de inyección; y tanques de polietileno mediante el proceso de rotomoldeo.

La tesis se encuentra enfocada específicamente en el proceso de rotomoldeo donde se fabrican los tanques de polietileno lineal para almacenamiento de agua. Los principales problemas que se presentan en este proceso son los paros de máquina no programados ocasionados por inconvenientes en aspectos mecánicos y eléctricos, desperdicios de material, desorden en el área de mezclas y elevados índices de desperdicio por defectos de calidad. Como consecuencia se tienen incumplimientos de los indicadores diarios de producción.

El objetivo general es mejorar la productividad en el proceso de fabricación de tanques rotomoldeados mediante la utilización de los principios y técnicas de producción esbelta.

Mediante la aplicación de la metodología de producción esbelta se identifican los principales desperdicios en el proceso productivo, luego se seleccionan los desperdicios críticos encontrados y se establece un plan de mejoras que elimine todo aquello que genere costos innecesarios a la empresa. Finalmente las mejoras planteadas se analizan mediante un análisis costo - beneficio para determinar la rentabilidad y viabilidad del estudio.

Por lo tanto, con la utilización de las técnicas de producción esbelta apropiadas para eliminar los desperdicios críticos encontrados en el proceso, se espera que la empresa reduzca el número de paros de máquina no programados, porque estos ocasionan atrasos en la entrega de producción, alteraciones en la calidad del producto y daños considerables en los equipos afectados.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Planteamiento del Problema

En sus inicios la fabricación de tanques para almacenamiento de agua de uso doméstico estuvo dominada por materiales como el fibrocemento, la fibra de vidrio y el acero, y no ha sido hasta mediados de la década de los 80 que los tanques de polietileno lineal fabricados mediante el proceso de rotomoldeo comenzaron a tener auge.

En América Latina actualmente el moldeo rotacional o rotomoldeo cuenta con el dominio absoluto de la industria de tanques para almacenamiento de agua y el 90% del polietileno lineal transformado a través de este proceso está destinado a la fabricación de este producto.

Durante los últimos años en Ecuador el proceso de rotomoldeo ha tenido asombrosas tasas de crecimiento por sus numerosas ventajas sobre los demás procesos de transformación de plásticos. La fabricación de tanques para almacenamiento de agua sin duda permitirá que crezca el mercado del rotomoldeo durante mucho más tiempo.

La presente tesis se desarrolla en una empresa líder del Ecuador en fabricación de productos para la conducción y almacenamiento de fluidos especialmente el agua para uso doméstico, y forma parte de un grupo internacional de empresas químicas y petroquímicas con más de 50 empresas a nivel mundial.

El estudio se enfoca en el proceso de rotomoldeo específicamente en la fabricación de tanques para almacenamiento de agua. La planta se subdivide en dos: El área de mezclas y el área de rotomoldeo, donde se han descubierto inconvenientes que afectan la productividad y rendimiento. Entre las principales causas detectadas se encuentran los paros no programados de equipos y maquinarias ocasionados por la falta de un programa mantenimiento preventivo, elevados índices de desperdicio por defectos de calidad. Además desperdicios de material, desorden y contaminación en el área de mezclas.

Con la aplicación de la metodología de producción esbelta se realiza la identificación y eliminación de los principales desperdicios en el proceso productivo que afectan en el rendimiento de la empresa. Con la propuesta de mejora, se espera obtener una reducción del porcentaje de paros de máquina y el cumplimiento de indicadores de producción, para de esta forma ofrecer al mercado productos competitivos y de mejor calidad.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Plantear mejoras para disminuir el desperdicio y aumentar la productividad en el proceso de fabricación de tanques rotomoldeados de una empresa productora de plásticos ubicada en la ciudad de Durán mediante la utilización de técnicas de producción esbelta.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- ❖ Realizar una descripción del proceso mediante un diagrama de flujo para describir la situación actual donde se desarrolla el proceso.

- ❖ Identificar los principales problemas que afectan el sistema de producción de tanques rotomoldeados.
- ❖ Identificar la presencia de desperdicios en el proceso mediante una entrevista a los empleados del área de producción y mediante la interpretación de resultados.
- ❖ Establecer las propuestas de mejoras mediante la selección de las técnicas de producción esbelta para eliminar los desperdicios del proceso.
- ❖ Realizar mediciones y evaluaciones de las mejoras propuestas mediante indicadores de control con el fin de monitorear los cambios planteados.
- ❖ Evaluar financieramente las propuestas de mejora mediante un análisis costo – beneficio.

### **1.3 Metodología de la Tesis**

La metodología de la tesis comienza con una descripción general de la empresa identificando los aspectos internos y externos de la misma, para demostrar el entorno actual donde se desarrolla.

Luego se realiza un levantamiento de información del proceso productivo mediante el uso de un diagrama de flujo de proceso para determinar los problemas más relevantes que afecten al rendimiento y generen costos innecesarios para la empresa.

Una vez identificado estos problemas a través de entrevistas al personal de producción se identifican los principales desperdicios existentes en la planta para luego tabularlos y clasificar los desperdicios en críticos y no críticos.

Luego de determinar los procesos críticos del proceso se realiza el análisis y la selección de las técnicas de mejora de producción esbelta, con la finalidad de solucionar los problemas detectados.

A continuación se realiza la medición y evaluación de las mejoras propuestas a través de indicadores de control para observar si los objetivos propuestos se cumplen satisfactoriamente.

Para finalizar la metodología, se realiza un análisis costo - beneficio para observar si las mejoras que se van a implantar en el proceso productivo justifican los costos en los que se va a incurrir y finalmente determinar el beneficio económico para la empresa. La figura 1.1 describe la metodología de la tesis:



**FIGURA 1.1 METODOLOGÍA DE LA TESIS**

#### **1.4 Estructura de la Tesis**

La presente tesis ha sido dividida en 6 capítulos. El primero se trata de generalidades de la empresa, se realiza el planteamiento de los problemas existentes; los objetivos, general y específicos; la metodología de la tesis y su estructura.

En el segundo capítulo se presenta el marco teórico que se va a utilizar para el desarrollo de la tesis. La teoría comprende: Diagrama de flujo de

proceso, los principios de producción esbelta y las técnicas lean que se van a utilizar para el desarrollo del presente estudio.

En el tercer capítulo se desarrolla la descripción de la empresa y de los procesos que se manejan. Se describe específicamente el proceso de rotomoldeo para la fabricación de tanques de almacenamiento de agua por medio del uso del diagrama de flujo del proceso. Se definen los principales problemas existentes en el proceso.

En el cuarto capítulo se identifican los desperdicios críticos mediante la utilización de entrevistas al personal de producción, luego se elabora un plan de mejoras para el sistema de producción utilizando las técnicas de producción esbelta que ayuden a disminuir costos y pérdidas para la empresa.

El quinto capítulo corresponde a la medición y evaluación de las mejoras y además se realiza un análisis costo – beneficio para determinar si los costos de las mejoras justifican la implementación de las mismas.

En el sexto capítulo se plantean las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de esta tesis y las recomendaciones que se consideran necesarias para mejorar la situación actual de la empresa.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Diagrama de Pareto

Es una técnica que permite clasificar productos vitales para la empresa de acuerdo a distintos parámetros como el volumen, la rentabilidad, la importancia estratégica, así como su relación en la determinación de las ventas totales [1].

Se utiliza para establecer políticas de ventas, inventarios, “combos de productos”, mediante una clasificación de productos, dependiendo de su volumen de venta, rentabilidad, importancia estratégica e impacto en el negocio total. La viabilidad y utilidad general del diagrama está respaldada por el llamado principio de Pareto conocido como “Ley 80-20” o “Pocos vitales, muchos triviales”, el cual reconoce que unos pocos

elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%) y el resto de los elementos generan muy poco del efecto total [1, 2].

Para la construcción del Diagrama de Pareto se siguen los siguientes pasos [3]:

- Seleccionar categorías lógicas para el tópico de análisis identificado (incluir el periodo de tiempo).
- Reunir datos. La utilización de un Check list puede ser de mucha ayuda en este paso.
- Ordenar los datos de la mayor categoría a la menor.
- Totalizar los datos para todas las categorías.
- Calcular el porcentaje del total que cada categoría representa.
- Trazar los ejes horizontales (x) y verticales (y primario – y secundario).
- Trazar la escala del eje vertical izquierdo para frecuencia (de 0 al total, según se calculó anteriormente)
- De izquierda a derecha trazar las barras para cada categoría en orden descendente. Si existe una categoría “otros”, debe ser colocada al final, sin importar su valor.
- Trazar la escala del eje vertical derecho para el porcentaje acumulativo, comenzando por el 0 y hasta el 100%.

- Trazar el gráfico lineal para el porcentaje acumulado, comenzando en la parte superior de la barra de la primera categoría (la más alta).
- Dar un título al gráfico, agregar las fechas cuando los datos fueron reunidos y citar la fuente de datos.
- Analizar el gráfico para determinar los pocos vitales.

El análisis del Diagrama de Pareto en la definición de productos vitales permite de una manera objetiva libre de subjetividad, clasificar aquellos productos, a los cuales la empresa debe prestarles mayor atención ya sea para establecer una estrategia de ventas o establecer políticas de inventario. Este esquema permite hacer una clasificación mayor que la conocida como ABC que en combinación con la criticidad nos puede dar una nueva definición de productos [1].

El Diagrama de Pareto al expresar gráficamente la importancia del problema, facilita la comunicación y recuerda de manera permanente cual es la falla principal, por lo que es útil para motivar la cooperación de todos los involucrados, puesto que con un vistazo cualquier persona puede ver cuáles son los problemas principales. Es más adecuado concentrar las energías en el problema vital e ir al fondo de sus causas que dispersar los esfuerzos en todos los problemas [2].

Dentro de las dificultades que se pueden presentar al tratar de interpretar el Diagrama de Pareto es que algunas veces los datos no indican una clara distinción entre las categorías, esto puede verse en el gráfico cuando todas las barras son más o menos de la misma altura [3].

Otra dificultad es que se necesita más de la mitad de las categorías para sumar más del 60% del efecto de calidad, por lo que un buen análisis e interpretación depende en su gran mayoría de un buen análisis previo de las causas y posterior recogida de datos.

## **2.2 Diagrama de Flujo**

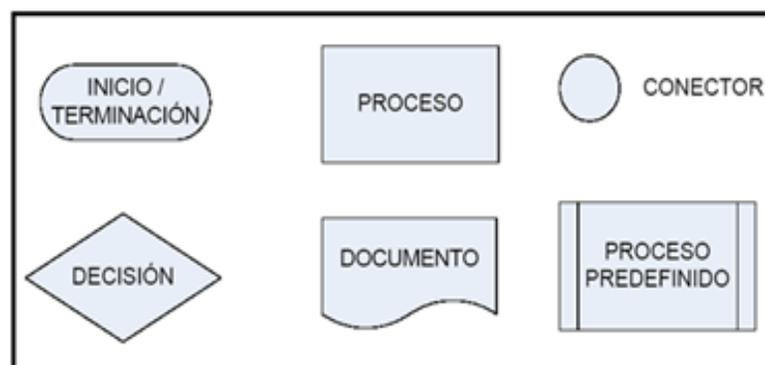
Un diagrama de flujo es una representación gráfica de un algoritmo o proceso que indica la trayectoria seguida por el objeto que se estudia, y los símbolos de análisis de procesos colocados en este diagrama lineal sirven para indicar lo que sucede con el objeto a su paso por el proceso. Este auxiliar es particularmente útil porque proporciona una vista compacta y general de un proceso, en existencia o propuesto [4].

Un diagrama de flujo siempre tiene un único punto de inicio y un único punto de término. Además todo camino de ejecución debe permitir llegar desde el inicio hasta el término [5].

Las siguientes son acciones previas a la realización del diagrama de flujo:

- Identificar las ideas principales a ser incluidas en el diagrama de flujo. Deben estar presentes el dueño o responsable del proceso anterior y posterior y de otros procesos interrelacionados.
- Definir que se espera obtener del diagrama de flujo.
- Identificar quien lo empleará y cómo.
- Establecer el nivel de detalle requerido.
- Determinar los límites del proceso a describir.

Los símbolos utilizados en los diagramas de flujo tienen significados específicos y se conectan por medio de flechas que indican el flujo entre las distintas etapas del proceso. Los símbolos más comunes se muestran a continuación en la figura 2.1.



**FIGURA 2.1 SÍMBOLOS DEL DIAGRAMA DE FLUJO**

Para construir un diagrama de flujo se deben tener presente los siguientes pasos:

- Establecer el alcance del proceso a describir. De esta manera quedará fijado el comienzo y el final del diagrama. Frecuentemente el comienzo es la salida del proceso previo y el final la entrada al proceso siguiente.
- Identificar y listar las principales actividades/subprocesos que están incluidos en el proceso a describir y su orden cronológico.
- Si el nivel de detalle definido incluye actividades menores, listarlas también.
- Identificar y listar los puntos de decisión.
- Construir el diagrama respetando la secuencia cronológica y asignando los correspondientes símbolos.
- Asignar un título al diagrama y verificar que este completo y describa con exactitud el proceso elegido.

Los diagramas de flujo favorecen la comprensión del proceso mostrándolo como un dibujo. Un buen diagrama de flujo reemplaza varias páginas de texto. Además permiten identificar problemas y oportunidades de mejora en el proceso.

Son una excelente herramienta para capacitar a los nuevos empleados y también a los que desarrollan la tarea, cuando se realizan mejoras en el proceso.

### **2.3 Metodología de Producción Esbelta**

La producción esbelta son varias herramientas que le ayudará a eliminar todas las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio y a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere [6].

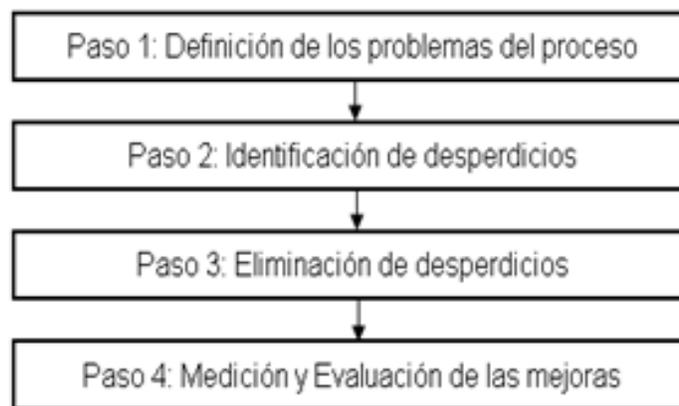
Los principales objetivos de la producción esbelta es implantar una filosofía de mejora continua que le permita a las compañías reducir sus costos, mejorar los procesos y eliminar los desperdicios para aumentar la satisfacción de los clientes y mantener el margen de utilidad.

Cuando se hace una reducción o eliminación de desperdicios para mejorar los procesos productivos, el experto necesita observar los siguientes puntos importantes [7]:

- Entender la variedad de procesos productivos que existen en la industria manufacturera.
- Observar los procesos de producción y entender todas las causas de posibles problemas.

- Establecer hipótesis acerca de las causas de los problemas y definir políticas de mejoramiento.
- Implementar mejoramiento continuo.

La Figura 2.2 muestra los cuatro pasos para identificar y eliminar desperdicios en procesos de producción en las empresas. La siguiente es una descripción general de estos pasos.



**FIGURA 2.2 PASOS BÁSICOS PARA IDENTIFICAR Y ELIMINAR DESPERDICIOS EN PROCESOS PRODUCTIVOS**

**Paso 1: Definición de los problemas del proceso.** El experto, quien trabajará para resolver el problema de proceso y el jefe de producción discuten los problemas del proceso de producción e identifican los tipos de problemas. Se realizan mediciones para cuantificar la situación actual del proceso y se definen las expectativas para a condición futura. Los problemas a ser minimizados o eliminado son seleccionados y priorizados.

**Paso 2: Identificación de desperdicios.** Este paso involucra el entendimiento del proceso(s) a ser mejorado(s). Esto es un requisito para prepararse para una entrevista con las personas que trabajan en el proceso. Los datos obtenidos después de la entrevista, son organizados y analizados. Los resultados de la entrevista son interpretados y clasificados para identificar la presencia de desperdicios en el proceso.

**Paso 3: Eliminación de desperdicios.** El Jefe de Producción y el experto desarrollan un plan para eliminar los desperdicios identificados. Este plan es comunicado a los trabajadores de planta. El experto selecciona las técnicas esbeltas que van a ser enseñadas a los trabajadores. Estas técnicas serán las que se utilizarán para eliminar los desperdicios en el proceso. Todos participan en la implementación del plan.

**Paso 4: Medición y evaluación de las mejoras.** Se realizan mediciones después de la implementación del plan de eliminación para conocer si las metas propuestas fueron alcanzadas. Las mediciones realizadas antes de la implementación del plan de eliminación y las mediciones realizadas después de la implementación son comparadas y los resultados son comunicados al presidente de la empresa. Este paso genera una retroalimentación que ayuda a decidir si el proceso de producción tiene que ser mejorado nuevamente.

Los beneficios de la producción esbelta se llevan a cabo mediante la aplicación de los conceptos de Justo a Tiempo, Flujo Continuo, Kanban y otras filosofías [8]:

- Reducción de 50% en costos de producción.
- Reducción de inventarios.
- Menos mano de obra directa.
- Mejor calidad.
- Mayor eficiencia de equipo.
- Disminución de los desperdicios.

#### **2.4. Método de Mapeo de Cadena de Valores (VSM)**

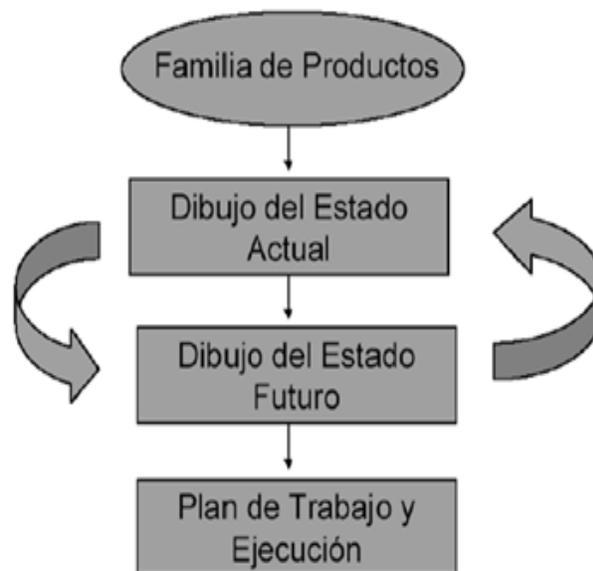
Es la representación gráfica de un conjunto de acciones, tanto de valor agregado como las que no agregan valor, que se necesitan para mover un producto a través de los principales flujos esenciales [9].

**Flujo de Producción:** Desde la materia prima hasta las manos del consumidor.

**Flujo de Diseño:** Desde el concepto hasta el lanzamiento del producto.

El mapeo de cadena de valor ofrece una visión del estado actual de la empresa y el lugar óptimo a donde se quiere llegar en cuanto al proceso se refiere, reduciendo eficientemente los costos de desperdicios tales como: sobreproducción, inventarios, tiempos de espera, transporte, movimientos, fallas de calidad y reprocesamientos, evitando así fugas de capital, que en la actualidad son primordiales para la estabilidad de una organización. Así como un mejor control y monitoreo de todas las etapas que el producto necesita para su manufactura [10].

La metodología del Mapeo de Cadena de Valores se muestra en la figura 2.3 [9].



**FIGURA 2.3 METODOLOGÍA DEL MAPEO DE CADENA DE VALOR**

### **Familia de Productos**

Una familia es un grupo de productos que pasan a través de etapas similares durante la transformación y pasan por equipos comunes en los procesos. Para desarrollar el mapeo de cadena de valor (VSM) se necesita seleccionar la familia de productos que se va a estudiar, luego definir cuantas piezas terminadas diferentes hay en familia, y finalmente que cantidad acostumbra pedir el cliente y con que frecuencia. Si la cantidad de productos que la empresa fabrica es complicada, se crea una matriz de familia de productos.

### **Dibujo del Estado Actual**

Luego de definir la familia de productos, se realiza el dibujo del estado actual de la empresa, para eso primero se necesita identificar los requerimientos del cliente, luego recorrer el proceso empezando en la entrega al cliente y terminando en la recepción de la materia prima. Se define el método de envío y la cantidad típica de requerimientos del cliente. Puede existir más de un cliente. Pero el proceso para cada cliente debe ser similar. El uso del cronómetro es esencial y confíe solo en los tiempos y la información que usted mismo obtenga. Finalmente se traza el mapa de la cadena de valores utilizando lápiz y papel A3 en vez de computadora y con la participación de los trabajadores.

### **Dibujo del Estado Futuro**

Una vez que se haya realizado y analizado el dibujo del estado actual, se prosigue a realizar el dibujo del estado futuro, para eso se requiere adaptar el proceso al ritmo de producción (ciclo de producción), takt time. Luego se crea un flujo continuo cuando sea posible (pieza por pieza). Se utiliza supermercados para controlar la producción cuando el flujo continuo no se prolongue hacia atrás. Por lo contrario se utiliza la técnica “Primero en entrar - Primero en salir” (PEPS) cuando no sea posible mantener un inventario del conjunto de variación de piezas en un supermercado, las piezas se fabrican sobre pedido, las piezas tiene vida muy corta en los anaqueles o son muy costosas y se usan muy pocas veces.

Luego se nivela la combinación de producción, para esto se necesita distribuir uniformemente el tiempo la fabricación de los distintos productos del proceso para mejorar la atención al cliente con plazos de entrega cortos y poco inventario de producto terminado. Se nivela el volumen de producción y se establece el paso de producción para cada proceso (pitch). Finalmente se reduce el tiempo de cambio entre productos y se fabrica lotes más pequeños en los procesos de atrás para que puedan reaccionar rápidamente a las necesidades de cambio los procesos de adelante.

## Plan de Trabajo y Ejecución

Para finalizar la metodología VSM se realiza el plan de trabajo y ejecución, el cual consiste en la forma de cómo ejecutar los cambios expuestos en el dibujo de estado futuro de la empresa. Primero se divide en segmentos la cadena de valor y se define los objetivos y metas para cada segmento. Por último se define el plan de la cadena de valores. La figura 2.4 muestra los símbolos utilizados en el mapeo de la cadena de valor.

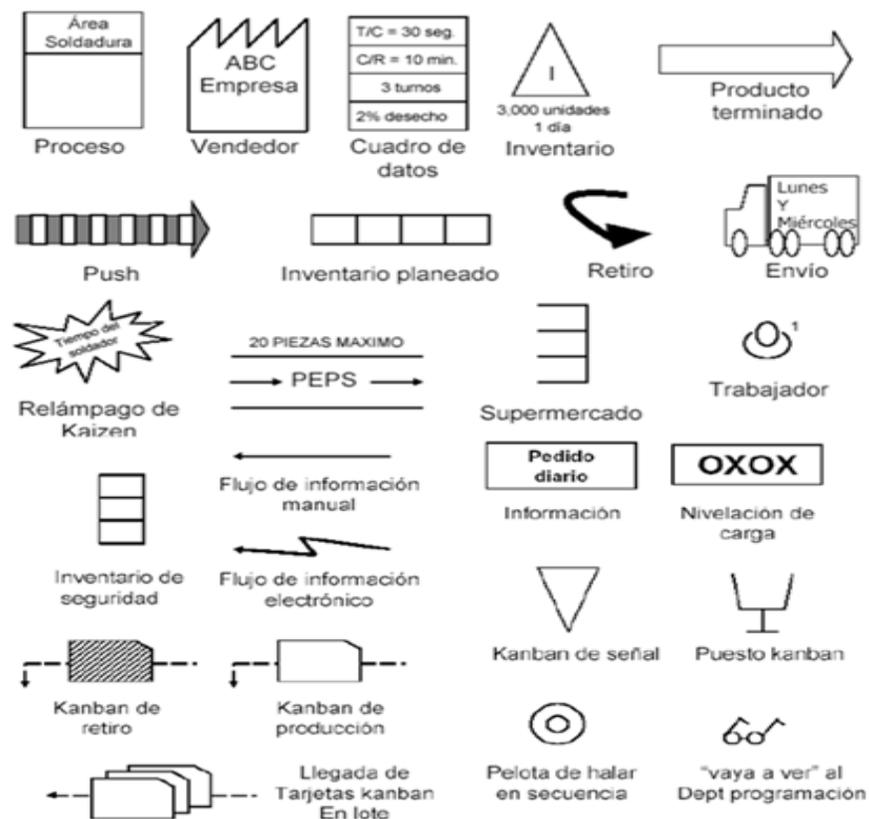


FIGURA 2.4 SÍMBOLOS DEL MAPEO DE LA CADENA DE VALOR

Entre los principales beneficios del mapeo de cadena de valores se encuentran [10]:

- Se plasman todas las operaciones para una mejor visión de los procesos que lleva la elaboración del producto.
- Todos los productos se ven desde una perspectiva más amplia y abierta.
- Se pueden visualizar las áreas de oportunidad para mejorar aplicando todas las técnicas necesarias para plasmar el estado futuro deseado.

En la mayoría de las empresas de manufactura que están instaladas en toda la Republica Mexicana se busca ser competitivos y ser el foco de los clientes para elaborarles sus productos, lo anterior se logra mejorando los precios, la calidad y los tiempos de entrega, entonces todas las empresas tienden aplicar esta metodología para la disminución de los desperdicios para la mejora de la empresa [10].

## **2.5. Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

Es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Es considerada como estrategia

ya que ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos [11]. Entre las características más significativas del TPM se tiene:

- Acciones de mantenimiento en todas las etapas del ciclo de vida del equipo.
- Participación amplia de todas las personas de la organización.
- Es observada como una estrategia global de empresa, en lugar de un sistema para mantener equipos.
- Orientado a la mejora de la efectividad global de las operaciones.

Para iniciar la aplicación de los conceptos de TPM en actividades de mantenimiento de una planta, es necesario que los trabajadores se enteren que la gerencia del más alto nivel tiene un serio compromiso con el programa. Existen cuatro fases para la implementación y desarrollo del TPM y son las siguientes [9]:

- Identificar las condiciones actuales del equipo
- Mejorar la vida del equipo
- Planear el mantenimiento para mantener las condiciones del equipo.
- Predecir la vida del equipo

**FASE 1: Identificación de las condiciones actuales del equipo**

- Establecer condiciones básicas para la limpieza, lubricación e inspección.
- Identificar necesidades de seguridad a través de la limpieza e inspección.
- Identificar anomalías y proponer condiciones nuevas.
- Entender y simplificar condiciones de operación.
- Recoger información para el cálculo de la eficiencia global del equipo (OEE) y priorizar mejoras.

**FASE 2: Mejorar la vida del equipo**

- Eliminar ambientes que causen deterioro acelerado (controlar las fuentes de contaminación).
- Establecer inspecciones diarias y estándares de limpieza y lubricación.
- Iniciar e implementar control visual intensivo.
- Evaluar los equipos para seleccionar el mantenimiento preventivo (MP).
- Prevenir la repetición de fallas mayores.

- Corregir las debilidades de diseño de los equipos.
- Eliminar fallas inesperadas.
- Actualizar destrezas en ajustes y cambios rápidos.
- Eliminar las seis mayores pérdidas.

### **FASE 3: Planear el mantenimiento para mantener las condiciones del equipo**

- Construir un sistema de mantenimiento preventivo (realizar inspecciones y mantenimientos periódicos; controlar las partes de repuesto; computarizar la información de mantenimiento).
- Reconocer signos de procesos con anomalías.
- Solucionar las anomalías correctamente.

### **FASE 4: Predecir la vida del equipo**

- Construir un sistema de mantenimiento predictivo (introducir equipos y técnicas predictivas; entrenar al personal en el uso de estos equipos).
- Consolidar actividades de mejoramiento (ejecutar análisis de fallas usando técnicas especiales; extender la vida del equipo usando mejores materiales).

A continuación se mencionan algunos de los beneficios más importantes del mantenimiento productivo total:

- Reduce los costos
- Aumenta la productividad sin reducir la calidad del producto.
- Evita las pérdidas de todo tipo.
- Reduce los accidentes laborales.
- Relación personal fuerte entre los obreros y sus máquinas.

También existen inconvenientes en el mantenimiento productivo total. El proceso de implementación es lento y costoso, Además es difícil cambiar los hábitos productivos, y la implicación de trabajar juntos todos los escalafones laborales de la empresa.

Ford, Eastman, Kodak, Dana Corp, Allen Bradley; son solo unas pocas empresas que han implementado TPM con éxito. Todas ellas reportan una mayor productividad gracias a esta disciplina [11].

# CAPÍTULO 3

## 3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

### 3.1 Descripción de la Empresa

La presente tesis se desarrolla en una empresa líder en la fabricación de productos plásticos para la conducción y almacenamiento de fluidos y cuenta con el 55% del mercado nacional, se encuentra localizada al norte de la provincia del Guayas específicamente en la ciudad de Durán, sector industrial.

Esta empresa fue creada en 1958 con el propósito fundamental de fabricar películas de polietileno utilizadas para cubrir los racimos de banano de exportación y en 1963 cambia su giro de negocio para empezar a fabricar tuberías de polietileno y desde entonces se destaca por ser la empresa con mayores índices de ventas en el Ecuador.

La ventaja competitiva de esta empresa se debe principalmente a una estrategia de diferenciación de sus productos de tal forma que los clientes están dispuestos a pagar un precio mayor por sus altos estándares de calidad. Cabe recalcar que la empresa cuenta con triple certificación de sistemas de gestión: ISO 9001(Calidad) ISO 14001 (Medio Ambiente) OSHAS 18001 (Seguridad y Salud) y con certificaciones de calidad de sus productos.

En lo que respecta a su estructura organizacional es de tipo vertical-horizontal definida así para mantener una relación interna eficaz en todos los departamentos. La empresa cuenta con 494 trabajadores los cuales se dividen en: 6 gerentes; 126 empleados y 362 obreros. La figura 3.1 muestra el organigrama actual de la empresa.

En cuanto a su infraestructura, las instalaciones de la empresa están conformadas por varias edificaciones dentro de su predio donde se encuentran distribuidas las áreas de oficina, producción, bodegas, etc. La tabla 1 detalla el tamaño de la superficie de cada una de las áreas.

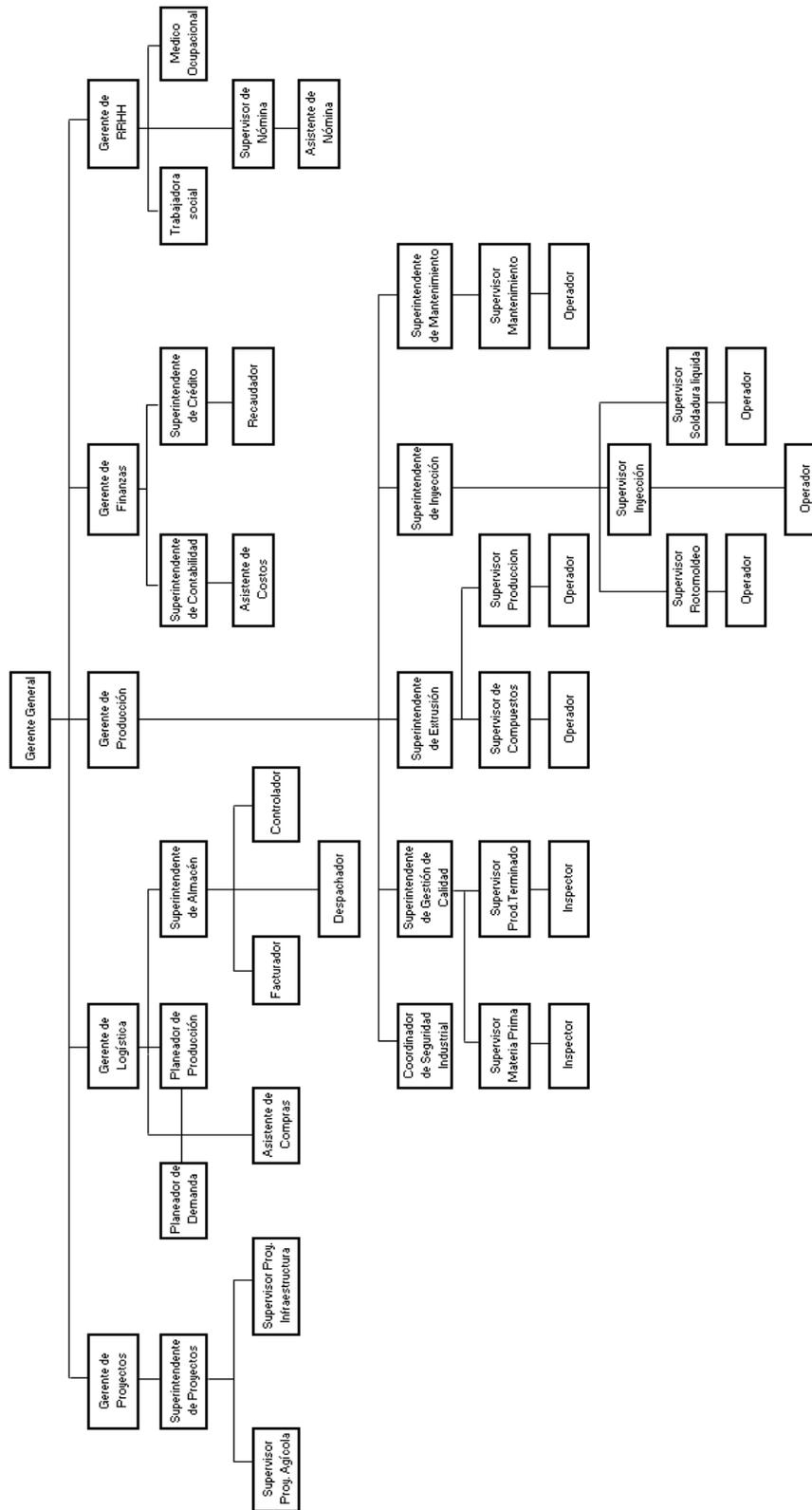


FIGURA 3.1 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

**TABLA 1**  
**SUPERFICIE DE LA EMPRESA**

ÁREA	SUPERFICIE (mt2)
Extrusión	3847.68
Rotomoldeo	922.54
Accesorios / Inyección	3370
Futuro almacén	3267
Almacenamiento 1	5378
Garita	202
Almacenamiento 2	6405.3
Almacenamiento 3	3349.42
Productos Novafort	1335
Áreas Administrativas	3560

Para la fabricación de los productos la empresa cuenta con diferentes tipos de procesos los cuales se detallan a continuación:

*Proceso de extrusión:* Para fabricar tuberías y perfiles plásticos de PVC; polipropileno y polietileno.

*Proceso de inyección:* Para fabricar accesorios plásticos de PVC y polipropileno para conexiones de tuberías.

*Proceso de rotomoldeo:* Para fabricar tanques plásticos de polietileno.

*Proceso de soldadura líquida:* Para fabricar pegamentos para la unión de tuberías.

### 3.2 Descripción del Proceso

El proceso productivo de estudio de la presente tesis consiste en el proceso de rotomoldeo o también llamado “moldeo rotacional” donde se fabrican los tanques de polietileno para almacenamiento de agua de uso doméstico. El área de rotomoldeo se encuentra dividida en dos: El área de preparación de mezclas y el área de hornos. A continuación se describen brevemente los elementos básicos que interviene en el proceso en lo referente a materia prima, equipos y maquinarias:

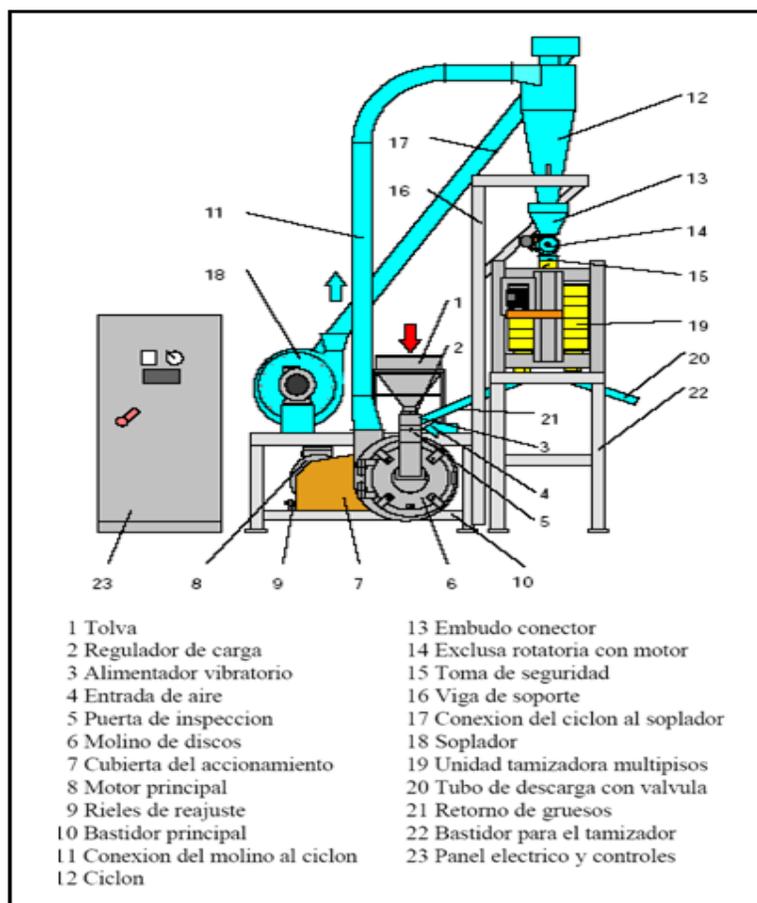
*Materia Prima:* En el área de rotomoldeo se genera un compuesto basado en una formulación o mezcla donde la principal resina es el polietileno de media densidad, a esta resina se le adhieren pigmentos de procedencia orgánica que son los encargados de dar el color final al producto, y además se le adhiere dióxido de titanio porque este elemento es el responsable de hacer menos traslucido el material y evitar el paso de los rayos solares al interior del tanque evitando que se generen algas o desarrollen microorganismos. En muchos casos otro elemento que forma parte del compuesto es el scrap pulverizado que resulta de desperdicios de tanques en mal estado o con defectos de calidad.

*Pulverizador:* El polietileno de media densidad utilizado como resina principal en el proceso de rotomoldeo generalmente es vendido en forma de pellet, los cuales deben ser pulverizados en un polvo fino para su posterior procesamiento, de esta actividad se encarga el pulverizador.

Un pulverizado de buena calidad requiere mucho conocimiento y experiencia y es muy importante en el proceso porque esto evitará defectos de calidad en el producto final. Los polvos producidos en equipos equivocados o con mantenimiento inapropiado, muestran superficies ásperas, desmenuzadas, colas y altos contenidos de finos. Estos polvos no fluirán apropiadamente en el molde, formaran nidos que causan espesores disparejos y hasta huecos en los tanques que se manufacturan. Las piezas se romperán fácilmente y las rupturas por tensiones son inevitables.

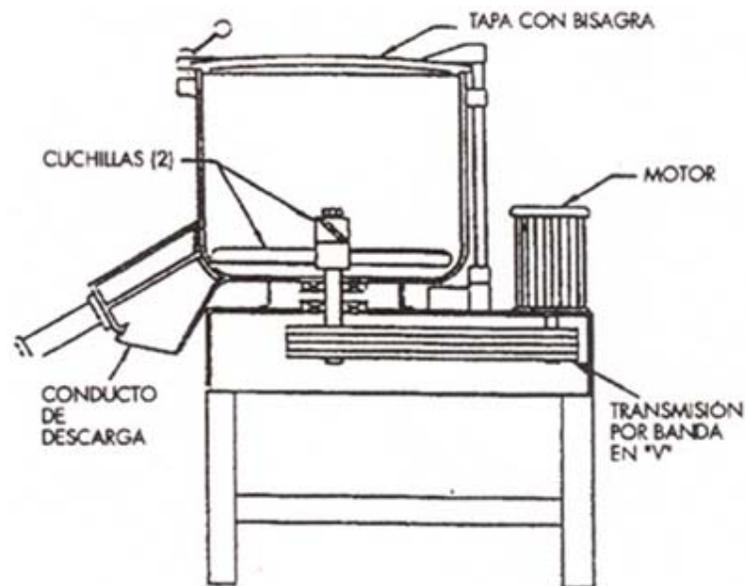
Los polvos que son pulverizados demasiado fino, en primer lugar tienen mayor costo en la producción y segundo lleva a un mayor consumo de materia prima. Material que es demasiado grueso requiere de temperaturas más elevadas y ciclos mas prolongados en el proceso, además dan problemas como son burbujas en las paredes y ofrece menores resistencias a roturas.

Los pellets de polietileno son pulverizados en molinos por abrasión mecánica a polvos, todos estos molinos producen una repartición de partícula que es demasiado grande para el uso en el rotomoldeo. Para producir un polvo aceptable, el material debe ser tamizado. El tamaño de la partícula deseado es clasificado y el material grueso es retornado al molino para seguir siendo pulverizado. En la figura 3.2 se muestra el esquema de un pulverizador.



**FIGURA 3.2 ESQUEMA DEL PULVERIZADOR**

*Mezcladora:* Sirve para que se combinen el polvo de polietileno y los aditivos (pigmento y dióxido de titanio). Esta máquina tiene en la olla unas paletas metálicas que conectadas a un motor giran continuamente mezclando todos los materiales, una vez mezclado el compuesto se descarga por un ducto en sacos para posteriormente ser usado en el proceso. En la figura 3.3 se muestra el esquema de una mezcladora intensiva.



**FIGURA 3.3 ESQUEMA DE LA MEZCLADORA**

*Molino:* Es una máquina utilizada para romper los productos plásticos, para que puedan ser reciclados. Su funcionamiento es parecido a un triturador de papel de gran tamaño, se compone de un motor que gira un rotor donde se adjunta hojas de corte dentro de un recinto cerrado. Es

utilizada para moler los tanques con defectos de calidad para luego pulverizarlos y utilizarlos como resina en el proceso productivo.

*Moldes:* Pueden ser tan simples como un objeto redondo, o complicados con hendeduras y nervaduras. La selección de moldes rotatorios depende del tamaño, forma y acabado de la superficie de la pieza que va a ser moldeada. Los moldes deben ser tan delgados y livianos como sea posible y deben montarse sobre el torno o brazo de la máquina de moldeo rotatorio. La figura 3.4 muestra el molde utilizado para fabricar los tanques de 500 litros cilíndrico estándar que por su forma también son llamados “chanchitos” y son muy utilizados en la sierra del Ecuador.



**FIGURA 3.4 MOLDE DE ROTOMOLDEO**

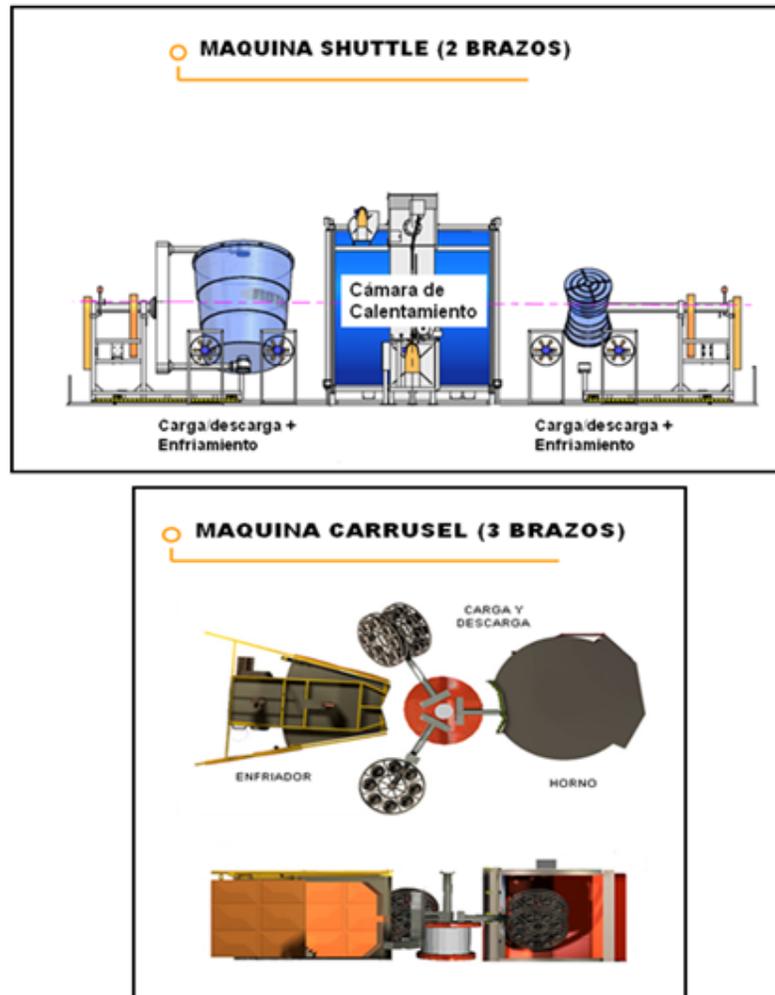
*Maquinaria:* El proceso en estudio cuenta con dos tipos de máquina de moldeo rotacional: Tipo carrusel de tres brazos y Tipo Shuttle de dos brazos, ambas máquinas son de horno.

La máquina carrusel tiene su nombre debido a que su configuración se asemeja a los carruseles de los parques de diversiones y posee brazos en forma de "L" para sujetar los moldes. Cuando los ciclos son similares esta máquina da las facilidades de fabricar tanques continuamente más rápido que las otras máquinas. Las etapas de carga, descarga y enfriamiento son dependientes entre si.

El horno de esta máquina trabaja por medio de gas licuado de petróleo (GLP) "gas industrial", el horno genera una llama que calienta el aire que se encuentra dentro de la recámara, este aire calienta al molde porque la llama nunca va directo sobre el molde. En el horno el molde rota y se calienta para que la mezcla en polvo se funda y se adhiera a las paredes del molde tomando su forma.

La máquina Shuttle solo cuenta con una cámara de calentamiento. La carga y descarga están junto con el enfriamiento. Esta máquina da las facilidades de controlar el proceso y así poder fabricar tanques de dos o tres capas. Existe un brazo en forma de "C" para colocar moldes extremadamente grandes y otro brazo tipo vertical que permite colocar dos o mas moldes al mismo tiempo, la ventaja del brazo "C" sobre el brazo en forma de "L" es que tiene más puntos de agarre.

En la figura 3.5 se muestra el esquema de ambas máquinas de moldeo rotacional.



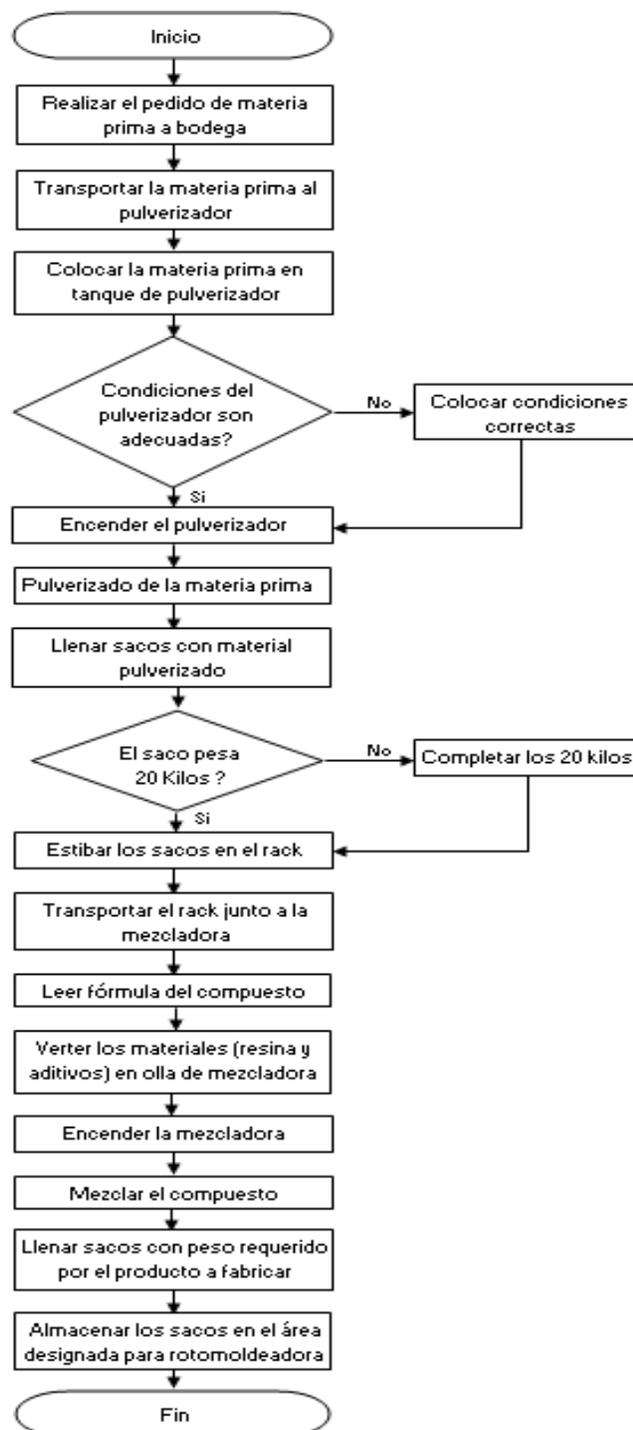
**FIGURA 3.5 ESQUEMA DE MAQUINARIAS DE ROTOMOLDEO**

Una vez descritos los elementos básicos que intervienen en el proceso, se procede a realizar la descripción de las etapas, desde la elaboración de la mezcla hasta el acabado final del producto.

El proceso para la fabricación de tanques de polietileno para almacenamiento de agua se divide en dos sub-procesos dependientes entre sí. El primero consiste en la preparación de la mezcla (resina y aditivos) y el segundo consiste en la fabricación de los tanques mediante el proceso de rotomoldeo o “moldeo rotacional” donde se utiliza un horno de gran tamaño para calentar el molde, que luego es enfriado y finalmente se le da el acabado manual para obtener el producto final.

Para una mayor comprensión se muestra en la figura 3.6 el diagrama de flujo del proceso de preparación de mezcla o también llamado “material compuesto”.

En el área de mezclas se lleva a cabo el proceso de la elaboración del material compuesto que es utilizado en la fabricación del producto. Se debe tener en cuenta la importancia de la calidad de la mezcla porque la forma, el tamaño y la repartición de las partículas determinan la fluidez y la densidad del polvo, partículas correctamente pulverizadas se compactan fácilmente y la densidad del polvo al granel será relativamente alta, y por otro lado la sobre-mezcla puede resultar negativa porque puede ocasionar un aumento en la estática y provocar colas en las partículas y aun causar que los colores se separen de las partículas de polvo. Las partículas con colas tienden a formar pequeñas bóvedas que impiden el llenado de detalles finos y esquinas agudas.



**FIGURA 3.6 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE MEZCLA**

El proceso de elaboración del material compuesto comienza con la realización del pedido de la resina y sus aditivos a la bodega de almacenamiento de materias primas mediante un sistema de información electrónico, la cantidad del pedido es variable y depende de las necesidades actuales del área. Con este pedido electrónico el montacarguista designado transporta la resina principal que se encuentra en forma de pellets hasta el área de pulverizado y también transporta los aditivos que se encuentran en forma de polvo hasta el área de mezclado. A continuación se vierte la resina principal en un tanque de almacenamiento y se coloca la manguera transportadora del pulverizador dentro del tanque, el operador del pulverizador verifica que se encuentren programadas todas las condiciones necesarias para su correcto funcionamiento, en caso que las condiciones sean las correctas se procede a encender el pulverizador.

El pulverizador automáticamente absorbe la resina almacenada en el tanque mediante la manguera transportadora y procede a pulverizarla, luego el operador descarga el material pulverizado y comienza a llenar sacos de 20 kilogramos para después coserlos y estibarlos en jaulas metálicas tipo pallets o también llamados "racks" ubicados junto al pulverizador.

Una vez llenado los racks con los sacos de material pulverizado, mediante la utilización del montacargas, el material es transportado y ubicado junto a la mezcladora para continuar con el proceso. Se debe considerar que no existe orden de producción para pulverizar la resina, ni tampoco una cantidad diaria definida por este motivo y para garantizar la existencia de material, siempre se pulveriza con excedentes que son almacenados en la bodega de materias primas como “material pulverizado” para una futura utilización.

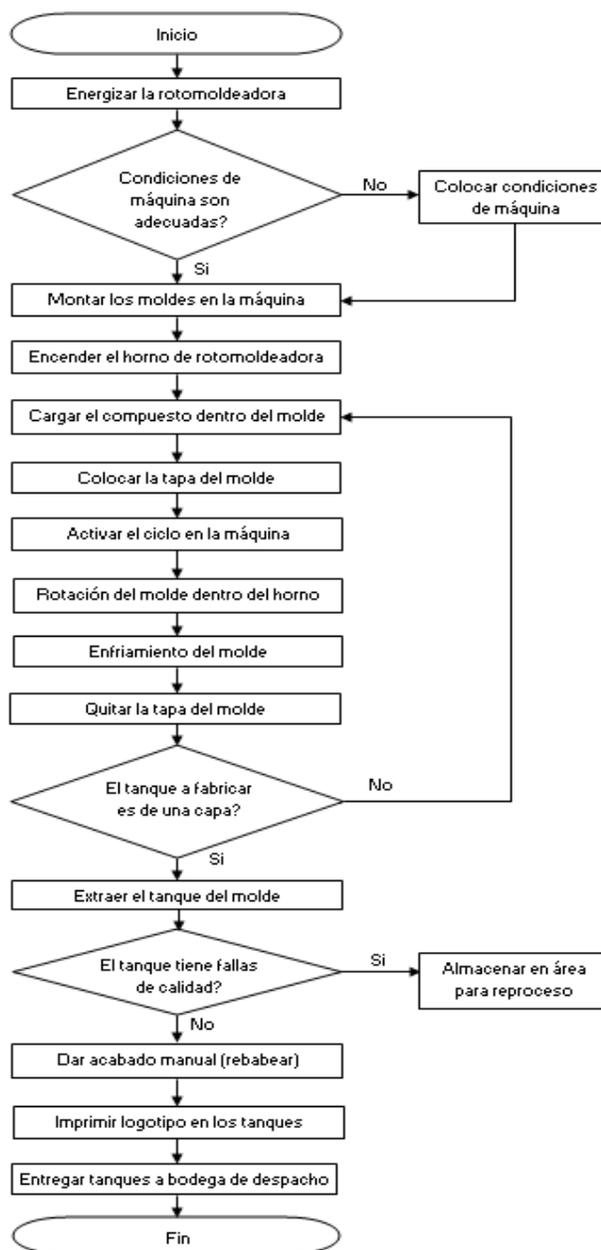
A continuación con el material pulverizado y los aditivos ubicados cerca de la mezcladora se procede a realizar la mezcla para obtener el material compuesto. La mezcladora tiene una olla con capacidad de 80,5 kilogramos, a esto se le llama “parada” y tiene un tiempo de duración de mezcla de 15 minutos controlados por un temporizador, se procede a verter en la olla los materiales con los porcentajes definidos por la fórmula del compuesto y se enciende la mezcladora, la cual automáticamente realiza el proceso de mezcla y cumplido el tiempo programado se apaga. Luego el operador realiza la descarga mediante el ducto de la maquina y llena sacos con el peso requerido por el producto que se desea fabricar. Estos sacos son llevados al área de almacenamiento que se encuentra junto a las máquinas rotomoldeadoras para su utilización. Generalmente la fórmula es la misma para todos los productos rotomoldeados diferenciándose

únicamente en el color porque la empresa produce tanques de dos y tres capas, donde la capa externa es elaborada con compuesto azul y la capa interna es elaborada con compuesto blanco.

En el área de mezclas también se lleva a cabo el proceso de reciclaje mediante la utilización de un molino. Todos los tanques con defectos de calidad ocasionados en el proceso o almacenamiento y devueltos por los clientes son reprocesados, estos son cortados en pedazos pequeños que pueden ser introducidos en el molino, el cual se encarga de triturarlos y formar pequeños pellets, que luego son llevados al pulverizador para convertirlos en polvo y puedan ser mezclados y utilizados en pequeños porcentajes en la fórmula. En caso de no requerir por el momento el uso de material reprocesado en la mezcla, este material es almacenado en sacos de 20 kilogramos y llevado a la bodega de materia prima identificándolos como “scrap pulverizado” para su futura utilización. Cabe recalcar que existen productos donde no se puede utilizar material reprocesado porque ocasionan muchos problemas de calidad y en el proceso, dentro de estas excepciones se encuentran los tanques de dos y tres capas.

Una vez que ha sido elaborado el compuesto y los sacos con el peso requerido por el producto a fabricar han sido identificados y almacenados en el área designada comienza el proceso de rotomoldeo.

La figura 3.7 muestra el diagrama de flujo del proceso de rotomoldeo de los tanques de polietileno.



**FIGURA 3.7 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ROTOMOLDEO**

El proceso de rotomoldeo en el área de hornos inicia al energizar la máquina rotomoldeadora y encender el panel de control electrónico, de esta manera el siguiente paso es verificar que las condiciones de funcionamiento de la máquina para elaborar el producto programado sean las correctas, de no ser así se procede inmediatamente a programar la máquina con las condiciones adecuadas, con la ayuda de los brazos giratorios de la rotomoldeadora se realiza el montaje de los moldes de los tanques a fabricar y luego se enciende el horno para su calentamiento. Todos estos pasos antes mencionados se realizan una sola vez durante toda la producción de un lote, de aquí en adelante el proceso se hace continuo. Una vez ajustadas las condiciones de trabajo se cargan los moldes con el compuesto azul que se encuentran en los sacos previamente preparados en el área de mezcla. Se recuerda que estos sacos ya contienen el peso exacto a utilizar en la fabricación del producto. Luego de realizada la carga del material se procede a colocar la tapa del molde ajustándolos con pernos, de este paso depende gran parte de la calidad final del producto porque un ajuste inadecuado puede ocasionar rebabas y deformaciones originando desperdicios y retrabajo.

A continuación mediante el panel de control electrónico se activa el ciclo de producción. La máquina automáticamente ingresa el brazo con el molde a la cámara de horno y ocasiona un movimiento de rotación en dos direcciones para que el material debido al calor se adhiera a las

paredes del molde. Una parte crítica del proceso es aumentar la temperatura del material plástico lo suficiente para que las partículas individuales del polvo se fundan en una parte homogénea. De la misma manera el material plástico no debe calentarse a temperaturas que degraden térmicamente el material. Por esto es importante que todas las superficies internas del molde lleguen y se mantengan a la temperatura apropiada durante la etapa de calentamiento del ciclo.

Después de la etapa de calentamiento en el horno, donde el molde y el material plástico fueron calentados a alta temperatura, la máquina automáticamente abre la compuerta del horno y sale el brazo con el molde que aun continua rotando en dos direcciones para luego iniciar la etapa de enfriamiento del ciclo donde se debe reducir esa alta temperatura al punto donde el molde pueda ser manejado, para esto se enciende los ventiladores de la rotomoldeadora que expulsan agua atomizada hacia el molde.

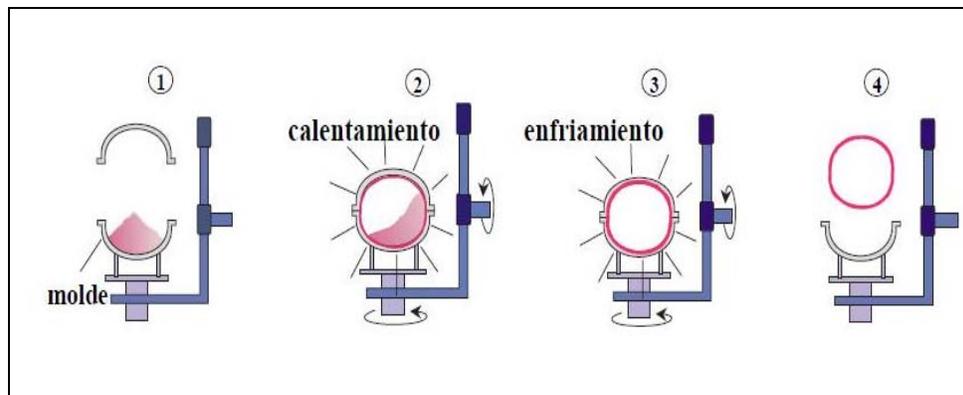
Conforme el molde se enfría, también se enfría el material plástico, el cual pasa de un líquido espeso viscoso a un semisólido y finalmente se convierte en una parte sólida completamente rotomoldeada. Es importante notar que la temperatura en el molde y en el material plástico es lo suficientemente caliente como para continuar el proceso de fusión aun después de que el molde ha sido retirado del horno.

Luego de cumplido el tiempo de enfriamiento, el operador procede a quitar los pernos de la tapa del molde y abrirlo, si el tanque es de una sola capa se procede a retirar el producto del molde, pero si el tanque es de dos capas se procede a verter el compuesto blanco de la capa interna y se inicia nuevamente la etapa de calentamiento y enfriamiento. Si el tanque es de tres capas se procede a verter un tercer compuesto denominado “espumado” que se lo coloca entre el compuesto azul y el compuesto blanco. Para la elaboración de este tanque de tres capas, las etapas de calentamiento y enfriamiento al igual que la carga y descarga de material se repiten tres veces

Una vez que ha sido extraído el tanque del molde se procede a realizar una inspección visual para controlar la calidad del producto, si el tanque presenta fallas de calidad que no se pueden recuperar entonces es enviado al área de desperdicios para ser reprocesado, pero si el tanque cumple con los requisitos de calidad o presenta fallas que se pueden corregir manualmente se procede a cortar la tapa y luego darle un acabado que consiste en eliminar rebabas y corregir fallas visuales. En algunos casos los tanques presentan pequeños agujeros que son corregidos manualmente derritiendo el plástico para utilizarlo como relleno.

Luego del acabado manual los tanques son almacenados en el área de impresión, donde con la utilización de una malla tipo plantilla que tiene tejido el logotipo de la empresa y pintura se procede a imprimir el logotipo y nombre de la empresa en los tanques para darle el acabado final al producto. A todos los tanques después de imprimirlos se les realiza una inspección visual con la finalidad de detectar posibles fallas de calidad en la impresión, para luego ser entregados a la bodega de producto terminado para su almacenamiento y despacho a los clientes.

La figura 3.8 muestra el esquema principal del proceso de rotomoldeo en 4 pasos básicos.



**FIGURA 3.8 PROCESO DE ROTOMOLDEO**

### 3.3 Demanda y Producción Actual

En la actualidad la empresa distribuye los tanques para almacenamiento de agua a clientes de todas partes del Ecuador siendo dirigidos principalmente a los grandes proyectos del estado y distribuidores de materiales de construcción.

Existe una gran variedad de tanques que van desde 55 galones, 250 litros hasta 5000 litros, de diferentes formas: cilíndricos, cónicos y tipo botella, al momento se podría mencionar que existen casi 20 tipos de tanques de diferentes tamaños y formas.

Desde 1993 cuando se dio la introducción del proceso de rotomoldeo en la empresa con la finalidad de producir tanques para almacenamiento de agua para uso domestico, ha existido un notable aumento anual de producción y ventas de estos productos, se estima que esta demanda seguirá en aumento debido a la introducción de nuevos productos y estrategias de ventas para capturar clientes potenciales. En lo referente al sistema de producción se puede mencionar que la empresa produce basándose en pronósticos y mediante un sistema make-to-stock es decir producir para almacenar en bodega con la finalidad de despachar a los clientes en el menor tiempo posible. En la tabla 2 se muestra la producción anual y las ventas anuales por tipo de tanque.

**TABLA 2**  
**PRODUCCIÓN Y VENTAS ANUALES**

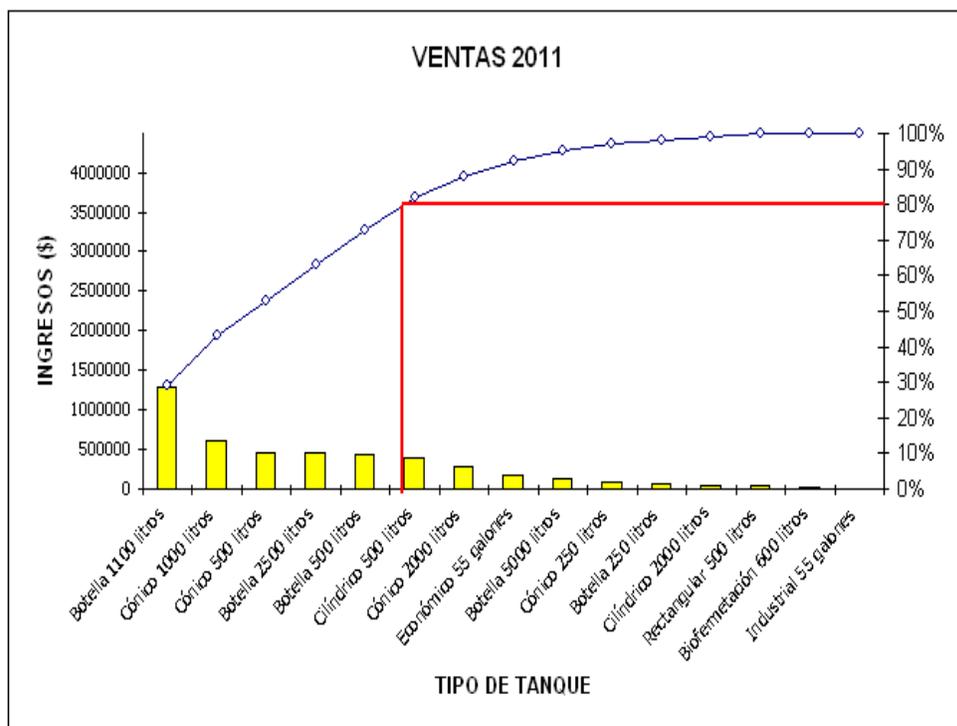
PRODUCTO	PESO UNITARIO (Kg)	AÑO 2009		AÑO 2010		AÑO 2011	
		PRODUCCIÓN UNIDADES	VENTAS UNIDADES	PRODUCCIÓN UNIDADES	VENTAS UNIDADES	PRODUCCIÓN UNIDADES	VENTAS UNIDADES
Tanque Cónico 500 litros Std	15,86	5714	5700	6667	6320	6520	6286
Tanque Cónico 250 litros Std	9,48	2395	2392	2577	2215	2537	2423
Tanque Cónico 1000 litros Std	25,70	4920	4712	4952	4818	4926	4604
Tanque Cónico 2000 litros Std	47,40	1170	1112	1476	1402	1566	1501
Tanque Biofermentación 600 litros	18,60	254	250	1407	1304	425	220
Tanque Botella 1100 litros Eco	25,25	6674	6521	8948	8539	9704	9019
Tanque Botella 2500 litros Eco	49,25	1415	1411	2105	2003	2787	2547
Tanque Botella 250 litros Eco	11,25	1310	1135	1576	1470	1578	1547
Tanque Botella 500 litros Eco	16,25	5254	5147	7077	7002	7881	7294
Tanque Cilindrico 2000 litros Std	141,20	102	100	115	101	139	107
Tanque Cilindrico 500 litros Std	17,24	5402	5078	5420	5418	5485	5230
Tanque Botella 5000 litros Eco	106,55	267	262	273	265	303	205
Tanque Económico 55 galones	7,60	8099	8010	8145	8029	8375	7931
Tanque Industrial 55 galones	14,00	117	115	234	231	161	112
Tanque Rectangular 500 litros Std	26,60	301	300	341	319	499	420
<b>TOTAL</b>		<b>43394</b>	<b>42245</b>	<b>51313</b>	<b>49436</b>	<b>52886</b>	<b>49446</b>

Los valores mostrados en la tabla 2 fueron obtenidos del sistema electrónico de producción y representan los tanques en buen estado y aptos para comercializar. Como se puede observar existe un incremento anual en la producción y las ventas, además se pudo determinar que la cantidad de tanques producidos es mayor a la cantidad de tanques vendidos. La diferencia entre las unidades producidas y las vendidas es atribuible al stock existente, daños y pérdidas sufridas en las bodegas de producto terminado, además de la reposición de tanques devueltos por los clientes debido a fallas de calidad.

**TABLA 3**  
**VENTAS E INGRESOS AÑO 2011**

PRODUCTO	VENTAS				
	UNIDADES	PRECIO POR UNIDAD	TOTAL DE INGRESOS	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
Tanque Botella 1100 litros Eco	9019	143,22	1291701	29%	29%
Tanque Cónico 1000 litros Std	4604	133,73	615693	14%	43%
Tanque Cónico 500 litros Std	6286	73,31	460827	10%	53%
Tanque Botella 2500 litros Eco	2547	176,82	450361	10%	63%
Tanque Botella 500 litros Eco	7294	60,13	438588	10%	73%
Tanque Cilíndrico 500 litros Std	5230	73,34	383568	9%	82%
Tanque Cónico 2000 litros Std	1501	181,88	273002	6%	88%
Tanque Económico 55 galones	7931	22,81	180906	4%	92%
Tanque Botella 5000 litros Eco	205	660,70	135444	3%	95%
Tanque Cónico 250 litros Std	2423	37,82	91638	2%	97%
Tanque Botella 250 litros Eco	1547	39,80	61571	1%	98%
Tanque Cilíndrico 2000 litros Std	107	458,51	49061	1%	99%
Tanque Rectangular 500 litros Std	420	91,82	38564	1%	100%
Tanque Biofermentación 600 litros	220	78,14	17191	0%	100%
Tanque Industrial 55 galones	112	45,00	5040	0%	100%

En la tabla 3 se muestran las ventas del año 2011 en forma descendente con sus respectivos ingresos y porcentajes. La figura 3.9 muestra el diagrama de Pareto de las ventas del año 2011 por tipo de tanque.



**FIGURA 3.9 DIAGRAMA DE PARETO DE VENTAS 2011**

En el diagrama de Pareto se puede observar que aquellos productos que representan el 80% de las ventas son principalmente los tanques tipo botella y tipo cónico, de los cuales se escogerá el tanque de 1100 litros económico tipo botella para realizar el mejoramiento de la línea de producción, por representar el 29% de los ingresos anuales en el área de rotomoldeo, además este producto refleja el mayor incremento en las

ventas de los últimos tres años y es considerado uno de los productos “estrella” de la empresa.

### **3.4 Medición de Indicadores**

En el proceso de fabricación de tanques de polietileno se necesita definir correctamente los puntos a mejorar porque no debe tomarse ninguna decisión de cambio sin antes tener un claro entendimiento del porque del cambio, esta es la razón de la necesidad de realizar medidas de referencia antes de cualquier intento de identificar y eliminar desperdicios.

Los indicadores a tomarse deben medir la eficiencia, eficacia, rapidez y calidad. La información presentada en la tabla 4 fue obtenida del sistema electrónico de producción de la empresa, condiciones de máquina del área de rotomoldeo y toma de tiempos reales en el sitio de trabajo.

Se debe considerar que el proceso a mejorar es la fabricación del tanque de 1100 litros tipo botella, este tanque es elaborado con dos capas, la externa de color azul y la interna de color blanco, tal como se hizo referencia anteriormente en la descripción del proceso de rotomoldeo. Para la fabricación de este tanque se utiliza la máquina rotomoldeadora Shuttle, cuyo esquema fue mostrado en la figura 3.5 del presente capítulo. La empresa cuenta con 2 moldes para la elaboración de este

producto y por lo general ambos son montados al mismo tiempo en el brazo vertical de la máquina rotomoldeadora junto con los moldes de sus respectivas tapas, mientras en el brazo tipo C se trabaja con moldes de grandes tamaños los cuales poseen un mayor tiempo de ciclo, esto origina que el tiempo de ciclo del producto en estudio este limitado por el tiempo de ciclo del producto que se este elaborando en el otro brazo, porque ambos moldes utilizan la misma cámara de calentamiento.

Los indicadores actuales del proceso de fabricación del tanque 1100 litros tipo botella se muestra en la tabla 4.

**TABLA 4**  
**INDICADORES ACTUALES**

<b>PRODUCCIÓN</b>	
Pulverizado	3850 kg/día
Mezclado	3500 kg/día
Producto terminado	26 tanques/día
<b>CALIDAD</b>	
Pulverizado	1.28% desperdicio/día
Mezclado	0.71% desperdicio/día
Producto terminado	7.14% desperdicio/día
<b>TIEMPO DE CICLO DEL PROCESO</b>	
Producto terminado	33.2 días/lote

El indicador de producción sirve para determinar la cantidad de kilogramos y tanques en buen estado que son producidos en un día de trabajo, este indicador permite comprobar el cumplimiento de las metas de producción. El indicador de calidad muestra el porcentaje de desperdicio existente en el proceso. El indicador de tiempo de ciclo del proceso sirve para determinar el tiempo empleado en obtener un lote de tanques, por medio de este indicador se identifican las actividades que no agregan valor al proceso para eliminarlas.

El indicador de producción se calculó basándose en información de 30 días y obteniendo el número promedio de kilogramos de material pulverizado y mezclado, además el número promedio de tanques producidos en un día (ver anexo A). El número promedio de kilogramos pulverizados y mezclados es de 3850 kg/día y 3500 kg/día respectivamente. El número promedio de tanques producidos es de 26 tanques/día, este valor también aplica para el número de tapas porque cada molde del tanque tiene adjunto el molde de su respectiva tapa. Generalmente se trata de producir igual cantidad de tanques y tapas para obtener productos completos. Se debe considerar que el día de trabajo tiene 3 turnos rotativos de 4 horas cada uno para el caso del pulverizador y la mezcladora y de 8 horas cada uno para el caso de la rotomoldeadora, es decir las máquinas laboran 12 y 24 horas al día,

parando únicamente para realizar cambio de moldes o cuando se presentan fallas eléctricas y/o mecánicas.

El indicador de calidad muestra los porcentajes de desperdicios en relación con la producción diaria total. Para obtener este indicador se calculó el porcentaje promedio que representan los kilogramos de material contaminado y los tanques defectuosos por día, utilizando datos durante un período de 30 días (ver anexo B). En la actualidad se desperdicia 50 kilogramos de material pulverizado que representa el 1.28 %, se desperdicia 25 kilogramos de material compuesto que representa el 0.71% y se desperdicia 2 tanques en el área de rotomoldeo lo que representa 7.14%.

El indicador de tiempo de ciclo del proceso se lo obtuvo experimentalmente en las estaciones de trabajo. Este tiempo de ciclo del proceso fue considerado desde la realización del pedido de la materia prima al proveedor hasta que el tanque es entregado a la bodega de almacenamiento para su despacho, considerando los tiempos de producción de cada una de las etapas del proceso y de almacenamiento del material y producto semiprocesado.

Se determinaron estos tres indicadores porque sirven para verificar el mejoramiento de la línea de producción de tanques donde se requiere

disminuir los desperdicios y aumentar la productividad, para de esta forma cumplir con el objetivo general de la presente tesis.

En la tabla 5 se presentan las expectativas planteadas para la condición futura en el proceso de producción de tanques rotomoldeados tipo botella de 1100 litros de capacidad. Estas expectativas fueron establecidas en conjunto con el supervisor del área.

**TABLA 5**  
**EXPECTATIVAS EN EL PROCESO**

<i>Medidas</i>	<i>Actual</i>	<i>Expectativas</i>
<b>PRODUCCIÓN</b>		
Pulverizado	3850 kg/día	4560 kg/día
Mezclado	3500 kg/día	4830 kg/día
Producto terminado	26 tanques/día	32 tanques/día
<b>CALIDAD</b>		
Pulverizado	1.28% desperdicio/día	0.50% desperdicio/día
Mezclado	0.71% desperdicio/día	0.25% desperdicio/día
Producto terminado	7.14% desperdicio/día	2.94% desperdicio/día
<b>TIEMPO DE CICLO DEL PROCESO</b>		
Producto terminado	33.2 días/lote	20 días/lote

Como se puede observar en la tabla 5 las expectativas planteadas en el indicador de producción es llegar a pulverizar 4560 kilogramos por día, a mezclar 4830 kilogramos de compuesto por día y a producir 32 tanques

en buen estado por día, es decir se espera aumentar el 18.44% la producción de pulverizado, el 38% la producción de compuesto en la mezcladora y el 23.07% la producción de tanques rotomoldeados, para lo cual se espera disminuir el porcentaje de desperdicio en el proceso.

Las expectativas en el indicador de calidad es disminuir a 0.50% el desperdicio en el pulverizado, a 0.25% el desperdicio en la mezcla del compuesto y a 2.94% el desperdicio en el proceso de rotomoldeado. En lo referente al pulverizado y a la mezcla, el desperdicio es atribuible a material contaminado no apto para ser utilizado en el rotomoldeo, y en el caso del producto terminado el desperdicio es atribuible a los tanques que presentan defectos de calidad que impiden ser comercializados y son enviados a reproceso.

En el indicador de tiempo de ciclo la expectativa es disminuir el ciclo de producción del producto terminado a 20 días por lote de tanques, es decir se espera reducir el tiempo de ciclo en 39.75%. Se debe tomar en cuenta que los tiempos de calentamiento en el horno y enfriamiento se encuentran estandarizados y cualquier cambio en estos podría afectar la calidad del producto, por lo tanto lo que se espera mejorar es el tiempo operativo de los trabajadores y el tiempo empleado en almacenamiento y espera del material compuesto.

### 3.5 Identificación de Problemas

Para identificar los problemas existentes en el proceso de rotomoldeo se realizó una entrevista al supervisor de producción del área y se tomaron las respuestas con mayor relevancia, luego de esto se clasificaron los problemas en tres categorías.

*Problemas de cultura:* Se presentan en un proceso productivo y están relacionadas con el talento humano. Se refiere al ineficiente uso de las actitudes, valores, creencias, expectativas y costumbres de los trabajadores del proceso.

*Problemas de Proceso:* Son condiciones o conjuntos de circunstancias que un experto o grupo de trabajadores de planta consideran que deben ser mejoradas en el proceso. Esto sucede muy a menudo cuando el proceso no se encuentra definido, no es confiable, no produce los resultados deseados y no alcanza las expectativas.

*Problemas de Tecnología:* Son problemas que se manifiestan en la aplicación inapropiada de conocimientos técnicos para realizar una tarea asignada.

El supervisor de producción respondió el cuestionario de preguntas con claridad y objetividad (Ver Anexo C) y se pudo obtener la siguiente información:

Cuando existen problemas en el proceso de fabricación, ya sean estos por defectos de calidad o fallas mecánicas-eléctricas en las máquinas, las decisiones son tomadas únicamente por el supervisor de producción o el superintendente del área, en el caso que el problema ocurra en segundo o tercer turno se procede a comunicarse vía telefónica con el supervisor o parar la máquina y esperar que al día siguiente tomen una decisión.

Cada vez que se presenta ausentismo de un operador, el puesto de trabajo es ocupado por una persona de otra área, el cual carece de conocimiento del proceso de rotomoldeo y ocasiona retrasos y fallas de calidad.

Existe mucho desorden en el área de mezclas porque no existe un lugar definido para almacenar el material pulverizado y mezclado, esto ocasiona que exista contaminación y productos defectuosos, además el supervisor de producción indicó que el material pulverizado es almacenado en sacos vacíos que antes contenían material en forma de

pellet, donde muchas veces quedan residuos de este material y por este motivo el producto final presenta huecos en su superficie.

Cuando existen cambios en la materia prima estos cambios no son comunicados a los operadores, originando desperdicios porque en muchas ocasiones un nuevo material requiere realizar cambios en las condiciones de máquina.

En el área de mezclas siempre se produce en exceso y el material sobrante que no es utilizado en el proceso de rotomoldeo es almacenado en la bodega de materias primas para asegurar la existencia de material cuando ocurren paros no programados por daños eléctrico-mecánicos en el pulverizador o la mezcladora.

El supervisor de producción enfatizó que el principal problema en el proceso son los paros de máquina no programados ya sean estos por fallas eléctricas o mecánicas en el pulverizador, mezcladora y rotomoldeadora. Esto ocasiona que no se puedan cumplir las metas de producción.

Una vez obtenida la información por parte del supervisor de producción, se procede a identificar y clasificar los problemas existentes y se muestran a continuación en la tabla 6.

**TABLA 6**  
**CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS**

RESPUESTAS DEL SUPERVISOR DE PRODUCCIÓN	CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS
Las decisiones son tomadas únicamente por el supervisor de producción	Problema de Cultura
En caso de ausentismo el puesto es ocupado por persona sin experiencia	Problema de Cultura / Problema de Proceso
El almacenamiento del material del pulverizador y la mezcladora origina desperdicios	Problema de Cultura / Problema de Proceso
Existe desorden en el área de mezclas ocasionado por mal almacenamiento	Problema de Cultura / Problema de Proceso
Los cambios en la materia prima no son comunicados a los operadores	Problema de Cultura / Problema de Proceso
Excesivo inventario de material compuesto para evitar escasez por daños de máquina	Problema de Cultura / Problema de Tecnología
Existen paros no programados de máquina por daños y fallas	Problema de Cultura / Problema de Tecnología

Quando el supervisor de producción es la única persona que toma las decisiones en el proceso productivo se origina un problema de cultura porque induce al uso ineficiente de los conocimientos de los trabajadores y no permite el desarrollo de sus habilidades.

El ausentismo de los trabajadores obliga al supervisor a ubicar a personas de otras áreas en los puestos de trabajo. Estas personas no tienen los conocimientos operacionales para ocupar esos puestos de

trabajo porque fueron entrenadas para otras funciones, esto origina un problema de proceso. El ausentismo también representa un problema de cultura porque el supervisor ha adoptado la costumbre de cubrir los puestos de trabajo con personas de otras áreas y el trabajador se ausenta frecuentemente sin justificación alguna.

El almacenamiento del material pulverizado y mezclado en sacos o fundas con residuos de cuerpos extraños que han sido utilizados en otras actividades y además ubicar el material en lugares no designados, origina un problema de proceso porque ocasiona que el material se contamine y al utilizarlo en la fabricación del producto, este se obtenga con defectos de calidad. Además se origina un problema de cultura porque el uso de sacos y fundas contaminadas al igual que ubicarlos en áreas no designadas es una costumbre de todas las personas que laboran en el área de rotomoldeo.

La poca comunicación entre el supervisor y los trabajadores en lo referente a los cambios en la materia prima origina un problema de cultura porque se hace uso ineficiente de las actitudes y conocimientos de los operadores desperdiciando posibles sugerencias de mejora, además se produce un problema de proceso porque en muchas ocasiones los cambios en la materia prima conllevan a realizar cambios

en las condiciones de las máquinas, al no realizarlos se originan desperdicios.

Los paros no programados de las máquinas debido a fallas eléctricas y/o mecánicas ocasionan que los trabajadores sobreproduzcan material pulverizado y compuesto, esto origina un problema de cultura porque la totalidad de trabajadores han adoptado esta costumbre, además se origina un problema de tecnología porque se esta aplicando inapropiadamente los conocimientos al crear un inventario que no agrega valor y resulta innecesario.

Tomando como referencia la tabla 6 se seleccionan los problemas más críticos en el ambiente de trabajo y estos serán minimizados o eliminados. A continuación en la tabla 7 se muestra los problemas de acuerdo a la frecuencia de ocurrencia.

**TABLA 7**  
**FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE PROBLEMAS**

CLASIFICACIÓN DE PROBLEMAS	FRECUENCIA
Problemas de Cultura	7
Problemas de Proceso	4
Problemas de Tecnología	2

Son problemas de alta frecuencia los que representa el 50% o más del total de los problemas existentes en el proceso [7]. En la tabla 7 se puede observar que el problema de cultura representa el 54% del total de los problemas y se lo considera prioridad 1 para ser eliminado o minimizado en el proceso y se debe tener presente en el momento que se entrevisten a los trabajadores de la planta.

En general, si los problemas de cultura, de proceso y de tecnología existen en un proceso de producción, todos serán considerados para futuro análisis y no solamente los de alta prioridad.

# CAPÍTULO 4

## 4. IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS Y MEJORAMIENTO DEL PROCESO

### 4.1 Elaboración de Instrumentos de Entrevista

En el capítulo anterior se identificaron los problemas del proceso de rotomoldeo mediante una entrevista con el supervisor de producción y se determinó su frecuencia de ocurrencia. La preparación de la entrevista es una parte crítica de la metodología y para lograr mantener un buen flujo de información primero se observó el proceso a ser mejorado porque es considerado una buena estrategia para adquirir conocimientos sobre el proceso y de esta forma se puede definir con mayor precisión las preguntas a usarse en la entrevista a los operadores. Los operadores son considerados la mayor fuente de información del proceso de producción porque están familiarizados con

los aspectos no documentados del proceso y conocen muchas actividades que son difíciles de detectar.

Luego se procede a elaborar y seleccionar las preguntas que van a usarse en el cuestionario de la entrevista y deben tener énfasis en los problemas identificados como prioridad 1 de acuerdo a lo ilustrado en la tabla 7 de la presente tesis. Las preguntas de las entrevistas van a ser clasificadas en tres grupos: problemas de cultura; problemas de proceso; problemas de tecnología.

Para identificar los desperdicios del proceso en el área de mezcla y el área de horno, el cuestionario de las entrevistas a los operadores es el mismo, porque en el proceso de rotomoldeo no se encuentran definidos los puestos a personas por áreas y existe un sistema de rotación de personal entre ellos. El anexo D muestra un ejemplo de las entrevistas realizadas.

En la figura 4.1, figura 4.2, figura 4.3 se muestran los formatos de las entrevistas usados para los operadores del área de rotomoldeo.

Fecha: \_\_\_\_\_  
 Área: \_\_\_\_\_

**INSTRUMENTO DE ENTREVISTA**

**CULTURA**

1	¿Qué efectivo es el flujo de información entre el supervisor y los trabajadores?	Pobre	Mediano	Bueno
<hr/>				
2	¿Se les comunica a tiempo los cambios de materia prima o en el proceso de producción?	Nunca	A veces	Siempre
<hr/>				
3	¿Son claras las indicaciones dadas por el supervisor de producción hacia los trabajadores?	Nunca	A veces	Siempre
<hr/>				
4	¿Tiene una participación en las decisiones que se toman en el proceso de producción?	Nunca	A veces	Siempre
<hr/>				
5	¿Está a tiempo la información y decisión del proceso?	Nunca	A veces	Siempre
<hr/>				
6	¿Son las decisiones basadas en datos reales?	Nunca	A veces	Siempre
<hr/>				
7	¿Tienen todos los trabajadores las correctas habilidades y nivel educacional para realizar las actividades requeridas?	Nunca	A veces	Siempre
<hr/>				
8	¿Con qué frecuencia sus habilidades son utilizadas?	Nunca	A veces	Siempre
<hr/>				
9	¿Tienen los trabajadores de planta entrenamiento cruzado?	Ninguno	Algunos	Todos
<hr/>				
10	¿Con qué frecuencia usted no tiene partes disponibles para realizar un trabajo continuo en el proceso?	Nunca	A veces	Siempre
<hr/>				

**FIGURA 4.1 FORMATO CUESTIONARIO DE CULTURA**

Fecha: \_\_\_\_\_  
 Área: \_\_\_\_\_

**INSTRUMENTO DE ENTREVISTA**

**PROCESO**

1	¿Está bien distribuida la carga de trabajo entre los operadores? Pobre <span style="margin-left: 150px;">Mediano</span> <span style="margin-left: 150px;">Bueno</span>
<hr/>	
2	¿Siempre logran producir la cantidad de productos propuestos en el día? Nunca <span style="margin-left: 150px;">A veces</span> <span style="margin-left: 150px;">Siempre</span>
<hr/>	
3	¿Están las partes esperando a ser procesadas entre las estaciones de trabajo? Nunca <span style="margin-left: 150px;">A veces</span> <span style="margin-left: 150px;">Siempre</span>
<hr/>	
4	¿Hay productos defectuosos en el proceso? Nunca <span style="margin-left: 150px;">A veces</span> <span style="margin-left: 150px;">Siempre</span>
<hr/>	
5	¿Por lo general espera mucho tiempo el producto en la línea por falta de materia prima? Nunca <span style="margin-left: 150px;">A veces</span> <span style="margin-left: 150px;">Siempre</span>
<hr/>	
6	¿Existe a menudo productos defectuosos debido a fallas en las máquinas? Nunca <span style="margin-left: 150px;">A veces</span> <span style="margin-left: 150px;">Siempre</span>
<hr/>	
7	¿Existe contaminación del material al transportarlo del pulverizador a la mezcladora? Nunca <span style="margin-left: 150px;">A veces</span> <span style="margin-left: 150px;">Siempre</span>
<hr/>	
8	¿Son los productos terminados y el compuesto producidos en grandes cantidades antes de ser requeridos por el próximo proceso? Nunca <span style="margin-left: 150px;">A veces</span> <span style="margin-left: 150px;">Siempre</span>
<hr/>	
9	¿Cómo son transportados los productos terminados hacia la bodega, por los operadores o utilizan algún tipo de transporte? Y ¿Por qué?
<hr/>	
10	¿Qué tan lejos está la bodega de producto terminado? Muy lejos <span style="margin-left: 150px;">Mas o menos lejos</span> <span style="margin-left: 150px;">Suficiente cerca</span>
<hr/>	

**FIGURA 4.2 FORMATO CUESTIONARIO DE PROCESO**



## 4.2 Entrevistas

Luego de realizar las entrevistas a cinco operadores del proceso de producción, se procede a identificar y clasificar los desperdicios del proceso. Los nueve desperdicios existentes en un proceso de producción son:

*Desperdicio por sobreproducción:* Se define como la producción en exceso del requerimiento de una estación de trabajo; también se lo define como la producción anticipada al requerimiento de una estación de trabajo. Finalmente se la define como la producción acelerada de una estación de trabajo.

*Desperdicio de inventario:* Se la define como cualquier inventario en exceso al flujo de una parte de producción en el proceso (One-piece flow).

*Desperdicio por defectos:* Los desperdicios por defectos incluyen la inspección y la reproducción de los productos y la información en los inventarios.

*Desperdicios por proceso:* Es cualquier esfuerzo que no aumente el valor agregado al producto o al servicio desde el punto de vista de los consumidores.

*Desperdicio por espera:* Es el tiempo perdido cuando se espera por algo en el proceso de producción.

*Desperdicio de recurso humano:* El desperdicio de recurso humano consiste en no usar las habilidades de los trabajadores (mental, creativa, física).

*Desperdicio por movimiento:* Es cualquier movimiento de las personas o de las máquinas que no aumente el valor agregado del producto o servicio.

*Desperdicio por transporte:* Consiste en el transporte de partes, productos e información alrededor de la planta.

*Desperdicio de materiales y recursos naturales:* Es cualquier cosa que no pueda ser reducida, reusada o reciclada.

Una vez revisado y completado los datos, se procedió a realizar un resumen de la información obtenido en la tabla de “Clasificación de datos”. A continuación la tabla 8 muestra los resultados obtenidos en las entrevistas y la clasificación de los desperdicios detectados en el proceso de rotomoldeo.

TABLA 8

## IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE DATOS DE DESPERDICIOS

N° Pregunta	Respuestas	Desperdicio	Entrevistados					Total
			1	2	3	4	5	
<b>CULTURA</b>								
3	No son claras las indicaciones dictadas por el supervisor	RRHH	0	0	1	0	0	1
4	No tengo participación en las decisiones del proceso	RRHH	1	1	1	0	1	4
8	Habilidades no utilizadas	RRHH	1	1	1	0	1	4
9	No tengo entrenamiento cruzado	RRHH	1	1	1	1	1	5
1	Pobre flujo de comunicación entre trabajadores	Proceso	0	0	0	0	0	0
6	Decisiones no basadas en datos reales	Proceso	1	0	0	1	1	3
2	Cambios en el proceso no son comunicados a tiempo	Espera	0	0	0	0	0	0
5	No a tiempo información y decisiones	Espera	1	0	0	0	0	1
10	No a tiempo partes necesarias en proceso	Espera	0	0	0	0	1	1
7	Entrenamiento inapropiado y poca habilidad	Defecto	1	1	1	1	1	5
<b>PROCESO</b>								
8	Producción en grandes cantidades y anticipado	Sobreproducción	1	1	1	1	1	5
4	Existen procesos defectuosos	Proceso	0	1	0	0	0	1
6	Mucho producto defectuoso por fallas de máquinas	Proceso	0	1	0	1	0	2
7	El material se contamina al transportarlo en la mezcla	Proceso	1	1	1	0	1	4
1	Mala distribución de trabajo	Espera	1	0	0	0	0	1
5	Larga espera por falta de materia prima	Espera	0	0	0	0	0	0
2	No se cumple con la meta de producción propuesta al día	Defecto	1	1	1	0	1	4
3	Mucho inventario entre estaciones de trabajo	Inventario	0	1	0	0	0	1
10	Bodega de partes lejos de la estación de trabajo	Movimiento	0	0	0	0	0	0
9	Movimiento del producto requiere personal y maquinaria	Transporte	1	1	1	1	1	5
<b>TECNOLOGIA</b>								
7	Insuficiente soporte financiero	RRHH	0	0	0	0	0	0
9	Los operadores no dan ideas de cambio	RRHH	1	0	1	1	1	4
2	Uso de diferentes políticas de trabajo	Proceso	0	0	0	0	0	0
5	Las máquinas reciben poco mantenimiento	Proceso	1	1	1	1	1	5
8	Se cambio la forma de trabajar en producción	Proceso	0	0	0	0	0	0
10	No se están usando técnicas para mejorar el proceso	Proceso	0	0	0	0	0	0
1	Tiempo de arranque de máquina muy largo	Espera	1	1	1	1	1	5
3	Máquinas no disponibles por falla de funcionamiento	Espera	1	1	1	1	1	5
4	Máquinas siempre ocupadas cuando se necesitan	Espera	1	1	1	1	1	5
6	Pequeño espacio de almacenaje de parte	Inventario	0	0	0	0	0	0

La tabla de identificación y clasificación de datos de desperdicios fue elaborada de la siguiente manera:

- En la columna “Número de pregunta” se escribe el número de la pregunta de cada cuestionario que se realizó en la entrevista.
- En la columna “Respuesta” se escriben las preguntas realizadas en las entrevistas en su forma negativa.
- En la columna “Desperdicio” se escribe la categoría de desperdicio que concuerde con la respuesta.
- En la columna “Entrevistados” se encuentran enumerados del 1 al 5 los participantes de las entrevistas. Se escribe “0” si el participante no identifica causas de desperdicio y se escribe “1” si el participante identifica causas de desperdicio.
- En la columna “Total” se escribe el total de la suma de cada respuesta.

Luego de organizar y clasificar los resultados obtenidos se procede a agrupar los datos como se muestra en la tabla 9. En esta tabla se puede apreciar en las filas que la categoría desperdicio CULTURA – RRHH fue identificada 14 veces; la categoría desperdicio PROCESO – PROCESO fue identificada 7 veces y la categoría desperdicio TECNOLOGÍA – ESPERA fue identificada 15 veces por los participantes de la entrevista.

**TABLA 9**  
**AGRUPACIÓN DE DATOS DE DESPERDICIOS**

DESPERDICIO	Entrevistados					Total
	1	2	3	4	5	
<i>CULTURA</i>						
Recurso Humano	3	3	4	1	3	14
Proceso	1	0	0	1	1	3
Espera	1	0	0	0	1	2
Defecto	1	1	1	1	1	5
<i>PROCESO</i>						
Sobreproducción	1	1	1	1	1	5
Proceso	1	3	1	1	1	7
Espera	1	0	0	0	0	1
Defecto	1	1	1	0	1	4
Inventario	0	1	0	0	0	1
Movimiento	0	0	0	0	0	0
Transporte	1	1	1	1	1	5
<i>TECNOLOGÍA</i>						
Recurso Humano	1	0	1	1	1	4
Proceso	1	1	1	1	1	5
Espera	3	3	3	3	3	15
Inventario	0	0	0	0	0	0

Para interpretar los resultados se sigue una regla simple. En este paso se clasifican los resultados en dos grupos: desperdicio de alta prioridad y desperdicio de baja prioridad.

Si el porcentaje del número total de veces que ha sido identificada una categoría de desperdicio es mayor o igual al 50% de la presencia del desperdicio, entonces se dice que es importante y esta categoría de

desperdicio tendrá alta prioridad para ser eliminada. Si el porcentaje del número total de veces que ha sido identificada una categoría de desperdicio es menor al 50% de la presencia del desperdicio, entonces se dice que no es importante y esta categoría de desperdicio tendrá baja prioridad para ser eliminada.

El porcentaje del número total de veces que ha sido identificada una categoría de desperdicio puede calcularse usando la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{(TOTAL)}{(PARTICIPANTES) * (RESPUESTAS)} * 100$$

Donde TOTAL es el número total de veces que ha sido identificada una categoría de desperdicio en cultura, proceso y tecnología. PARTICIPANTES es el número de entrevistados y RESPUESTAS es el número de respuestas que identifican una categoría de desperdicio.

Por ejemplo: El desperdicio CULTURA – Recurso Humano tiene el siguiente porcentaje del total de número de veces que ha sido identificada esta categoría.

$$\frac{(14)}{(5) * (4)} * 100 = 70.00\%$$

Entonces, el desperdicio CULTURA – Recursos Humanos tiene alta prioridad en el proceso de eliminación. La tabla 10 muestra los porcentajes de desperdicios obtenidos en proceso de rotomoldeo de tanques para almacenamiento de agua para uso doméstico.

**TABLA 10**  
**PORCENTAJES DE PRESENCIA DE DESPERDICIOS**

<b>Desperdicio</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
<i>CULTURA</i>		
<b>Recurso Humano</b>	14	<b>70</b>
Proceso	3	30
Espera	2	13
<b>Defecto</b>	5	<b>100</b>
<i>PROCESO</i>		
<b>Sobreproducción</b>	5	<b>100</b>
Proceso	7	47
Espera	1	10
<b>Defecto</b>	4	<b>80</b>
Inventario	1	20
Movimiento	0	0
<b>Transporte</b>	5	<b>100</b>
<i>TECNOLOGÍA</i>		
Recurso Humano	4	40
Proceso	5	25
<b>Espera</b>	15	<b>100</b>
Inventario	0	0

### 4.3 Selección de Desperdicios Críticos

Después de establecer los porcentajes de desperdicio del área de rotomoldeo se procede a clasificar los desperdicios en alta y baja prioridad.

Primero se determinan los desperdicios de alta prioridad. Las categorías de desperdicio que dieron alta prioridad de eliminación fueron:

Desperdicio de CULTURA – Recursos Humanos.

Desperdicio de CULTURA – Defecto

Desperdicio de PROCESO – Sobreproducción.

Desperdicio de PROCESO – Defecto.

Desperdicio de PROCESO – Transporte.

Desperdicio de TECNOLOGÍA – Espera.

Luego se determinan los desperdicios de baja prioridad. Las categorías de desperdicio que dieron baja prioridad de eliminación fueron:

Desperdicio de CULTURA – Proceso.

Desperdicio de CULTURA – Espera.

Desperdicio de PROCESO – Proceso.

Desperdicio de PROCESO – Espera.

Desperdicio de PROCESO – Inventario.

Desperdicio de PROCESO – Movimiento.

Desperdicio de TECNOLOGÍA – Recursos Humanos.

Desperdicio de TECNOLOGÍA – Proceso.

Desperdicio de TECNOLOGÍA – Inventario.

Los factores de mayor influencia que fueron identificados por los entrevistados para la determinación de los desperdicios de alta prioridad fueron:

Para la categoría CULTURA – Recursos Humanos: Los operadores no tienen participación en las decisiones del proceso porque las decisiones siempre son tomadas por los jefes; Las habilidades de los operadores no son utilizadas y siempre se rigen a cumplir órdenes estrictas del supervisor; Ninguna de las personas que laboran en el área han recibido entrenamiento cruzado para ejercer sus funciones adecuadamente.

Para la categoría CULTURA – Defecto: Las operadores que laboran en el área de rotomoldeo tienen poca habilidad y no tiene entrenamiento esto sucede porque desde hace algunos años la producción de tanques ha aumentado significativamente y la directiva de la empresa no ha contratado más personal para el área, esto obliga al supervisor a cubrir

estos puestos vacantes con personal de otras áreas que se encuentren en ese momento desocupados.

Para la categoría PROCESO – Sobreproducción: La totalidad de entrevistados identificaron este desperdicio y se refiere a la excesiva producción de material compuesto y producto terminado que es almacenado en las bodegas, esta forma de producir la adoptaron para prevenir la falta de material y productos durante las paradas no programadas de maquinaria ya sea el pulverizador, la mezcladora, los moldes o la rotomoldeadora.

Para la categoría PROCESO – Defecto: La producción diaria del área de rotomoldeo es controlada a través de indicadores de producción fijados en unidades/turno y kilogramos/hora, los entrevistados manifestaron que estos indicadores durante algún tiempo atrás permanecen en rojo, es decir no se están cumpliendo con las metas de producción diarias propuestas.

Para la categoría PROCESO – Transporte: Los operadores indicaron que tanto el material como el producto terminado requieren ser trasladados con montacargas, en el caso del material virgen pulverizado es estibado en pallets y es llevado al área de mezcla con la ayuda del montacargas, lo mismo sucede con la transportación de la mezcla al

área de rotomoldeo y finalmente los tanques como producto terminado son colocados en jaulas metálicas llamadas racks para ser trasladados con un montacargas a las bodegas para su despacho.

Para la categoría TECNOLOGÍA – Espera: Todos los entrevistados coincidieron que en esta categoría se encuentra el mayor desperdicio del proceso y es originado por los tiempos de arranque muy largos debido a falta de preparación de maquinarias y moldes. Adicionalmente las máquinas utilizadas en el área de mezclas y en el área de rotomoldeo presentan frecuentemente fallas eléctrico – mecánicas lo cual ocasiona paradas no programadas del proceso y esto a su vez conlleva al incumplimiento de las metas de producción.

#### **4.4 Mapeo de la Cadena de Valor Actual**

Luego de seleccionar los desperdicios críticos del proceso, se representan gráficamente las acciones del proceso mediante un mapeo de cadena de valores (VSM), esto se lo realiza con la finalidad de comprobar los resultados obtenidos en las entrevistas elaboradas a los operadores.

Para desarrollar el mapeo de la cadena de valor se debe considerar el flujo de material y el flujo de información que existe en el proceso. En el capítulo anterior de la presente tesis se define a los tanques de

polietileno de 1100 litros bicapa tipo botella como la familia de productos a estudiar porque en este proceso se van a implementar las mejoras.

A continuación se detallan las actividades que se realizan en el proceso de rotomoldeo para graficar el mapeo de cadena de valores actual:

Las etapas del proceso de producción son: pulverizado; mezclado; rotomoldeo; acabado e impresión.

- Todos los días se realizan entregas a los clientes.
- La carga de material y desmoldeo del tanque exigen aproximadamente 10 minutos cada uno.
- El proveedor del polietileno entrega el material una vez cada 30 días.
- Se entregan al cliente 25 tanques diarios, los retira en las mañanas y en dos camiones con plataformas de 15 tanques cada uno.
- En la empresa se trabaja 30 días al mes, tres turnos en todas las áreas de producción, cuatro horas en el área de pulverizado y mezclas y ocho horas en el área de rotomoldeo en cada turno con sobretiempo si fuera necesario. Una pausa de 30 minutos para almorzar, pero se relevan entre operadores de esta forma la máquina no queda parada por este motivo.
- El departamento de logística recibe las provisiones de pedidos para 30 días y las introduce en un sistema MRP. Y envía al proveedor su cálculo de necesidades de polietileno. Elabora el programa diario de

producción de los procesos de molido; pulverizado, mezclado y rotomoldeo.

La información sobre el proceso es la siguiente:

#### *Pulverizado*

- Tipo de equipo: Pulverizador que exige un operador.
- Tiempo de ciclo: 270 segundos (25 Kilogramos de material).
- Tiempo de cambio entre materiales: 60 minutos (para limpiar equipo).
- Fiabilidad de la máquina: 65%.
- Horas trabajadas en el día: 12 horas (4 horas en cada turno).
- Inventarios observados: 3600 kilos diarios para utilizar en la mezcla.

#### *Mezclado*

- Tipo de equipo: Mezcladora que exige un operador.
- Tiempo de ciclo: 300 segundos (25 Kilogramos de material).
- Tiempo de cambio entre materiales: 15 minutos (para limpiar equipo).
- Fiabilidad de la máquina: 75%.
- Horas trabajadas en el día: 12 horas (4 horas en cada turno).
- Inventarios observados: 4000 kilos diarios para utilizar en rotomoldeo.

#### *Rotomoldeo*

- Tipo de equipo: Rotomoldeadora que exige dos operadores.
- Tiempo de ciclo: 3120 segundos (1 tanque + 1 tapa).
- Tiempo de cambio entre moldes: 240 minutos.
- Fiabilidad de la máquina: 65%.

- Horas trabajadas en el día: 24 horas (8 horas en cada turno).
- Inventarios observados: 10 tanques diarios para rebabear y corregir fallas

#### *Acabado*

- Tipo de equipo: Trabajo manual que exige un operador.
- Tiempo de ciclo: 180 segundos (1 tanque + 1 tapa)
- Horas trabajadas en el día: 12 horas (4 horas en cada turno).
- Inventarios observados: 10 tanques diarios para imprimir logotipo.

#### *Impresión de logotipo*

- Tipo de equipo: Trabajo manual que exige dos operadores.
- Tiempo de ciclo: 60 segundos (1 tanque )
- Horas trabajadas en el día: 12 horas (4 horas en cada turno).

Inventarios observados: 30 tanques diarios para entregar a bodega

En la figura 4.4 se muestra el gráfico del mapeo de la cadena de valores actual del proceso de rotomoldeo para fabricar tanques de 1100 litros tipo botella para almacenamiento de agua.

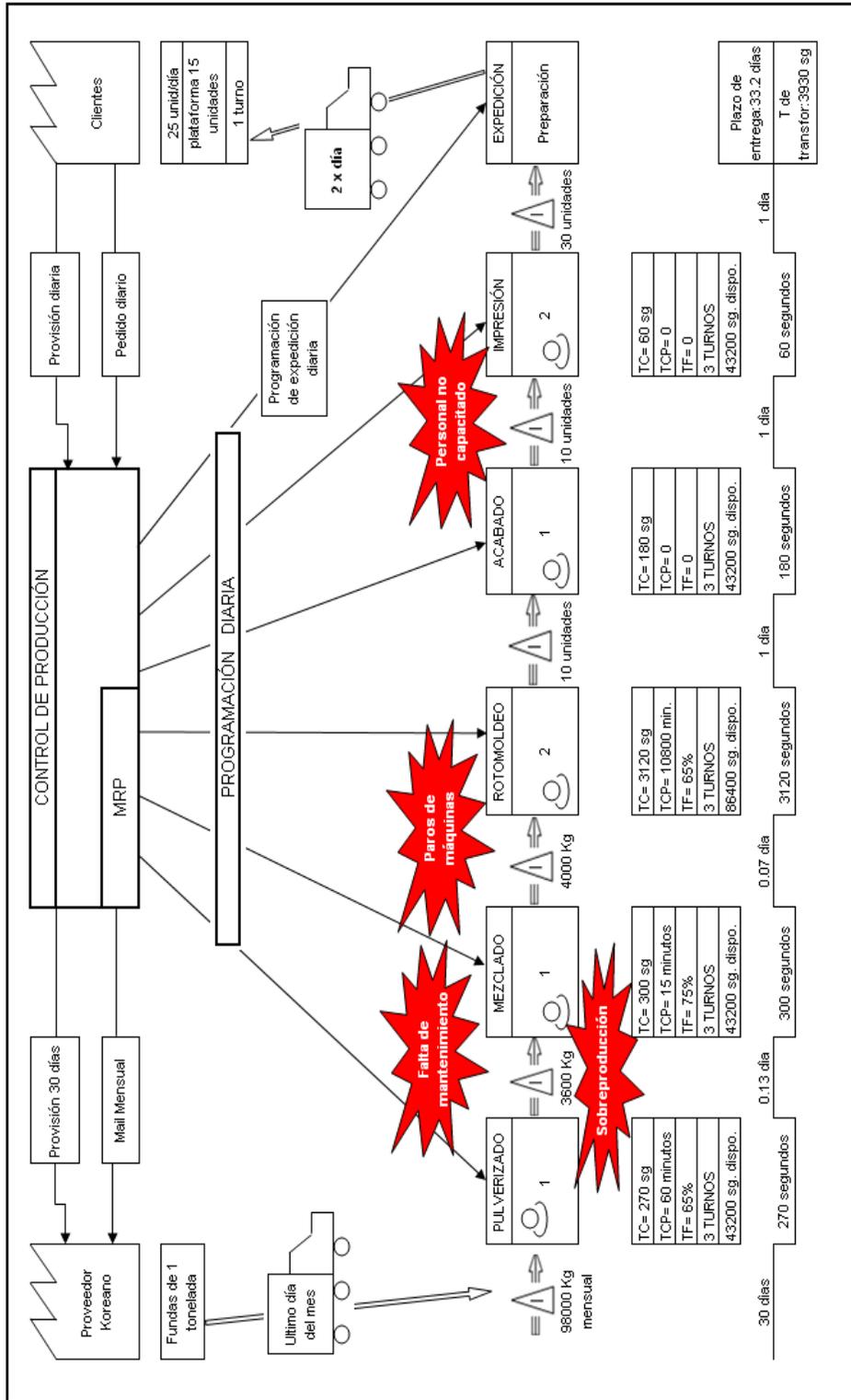


FIGURA 4.4 MAPEO DE LA CADENA DE VALOR ACTUAL

Los tiempos de ciclo de cada una de las etapas del proceso productivo fueron obtenidos del promedio de datos correspondientes a 30 días de producción (ver anexo E). En lo que respecta a la etapa de rotomoldeo se consideran los tiempos programados en las condiciones de máquina (tiempo de horno y tiempo de enfriamiento) y los tiempos empleados por el operador para realizar las actividades de: carga del material compuesto azul y blanco, ajustar y quitar la tapa del molde, desmoldeo del producto.

Para obtener los ritmos de producción del pulverizador y mezcladora (takt time), se realizó la suma de kilogramos producidos y los kilogramos de desperdicio y con estos valores se realizó la conversión matemática de kilogramo/día a minutos por kilogramo utilizando una regla de tres simple. Se debe tener en cuenta que un tanque de 1100 litros tipo botella requiere de 25 kilos de compuesto y el brazo vertical de la máquina rotomoldeadora trabaja con los dos moldes a la vez.

Como se puede observar en el VSM de la figura 4.4 el tiempo de ciclo total de producción es 33.2 días por lote de tanques y el tiempo de ciclo ideal es de 65.5 minutos por tanque. El tiempo de ciclo ideal del proceso en el estado actual puede ser mejorado aumentando productividad en cada una de las etapas del proceso de fabricación y el tiempo de ciclo

total puede ser mejorado eliminando tiempos de espera destinados a almacenamientos de material o producto semiprocesado.

Los desperdicios críticos del proceso en estudio se encuentran principalmente en la existencia de sobreproducción representada por el excesivo almacenamiento de material entre las estaciones de trabajo, esto se lo realiza para evitar escasez de material compuesto cuando ocurren paros de máquinas no programadas.

La figura 4.5 muestra material almacenado en racks y en zonas destinadas para una futura utilización en el área de rotomoldeo.



**FIGURA 4.5 ALMACENAMIENTO DE MATERIAL COMPUESTO**

Otro desperdicio crítico que se puede observar en el VSM es el bajo porcentaje de disponibilidad de las maquinarias, esto es ocasionado por tiempos de arranque de máquina muy largos, el poco mantenimiento preventivo que reciben las máquinas y los paros no programados debido

a fallas eléctrico-mecánicas. Además en la mayor parte del proceso interviene la mano del hombre, esto ocasiona que el proceso productivo dependa en gran parte de los operadores, principalmente en las estaciones de trabajo de acabado manual e impresión de logotipo, y al utilizar personal sin entrenamiento y poca habilidad se origina una disminución en el rendimiento del proceso y tiempos de ciclos elevados. La figura 4.6 muestra las operaciones manuales de acabado e impresión de logotipo a los tanques rotomoldeados.



**FIGURA 4.6 ACABADO MANUAL E IMPRESIÓN DE LOGOTIPO**

La figura 4.7 muestra las operaciones manuales que se realizan en la estación de trabajo de rotomoldeo.



**FIGURA 4.7 CARGAR EL MATERIAL Y ABRIR/CERRAR EL MOLDE**

#### **4.5 Selección de Técnica de Mejora**

Una vez determinados los desperdicios críticos del proceso de producción de tanques rotomoldeados para almacenamiento de agua y sus causas principales, se procede a seleccionar las mejores técnicas de producción esbelta que contribuyen a disminuir o eliminar los desperdicios considerados de alta prioridad.

Para realizar la selección de técnicas de producción esbelta se procedió a mantener una reunión con el supervisor y el superintendente del área de rotomoldeo, se les presentó el análisis de las entrevistas elaboradas a los operadores y se les dio a conocer las principales causas que afectan el proceso.

La finalidad de la reunión fue llegar a un acuerdo para determinar los pesos o ponderaciones que se le otorgarán a las causas de los desperdicios de acuerdo al grado de importancia de cada uno de ellos, en este caso fue de 6 a 1 siendo 6 el de mayor importancia. De la misma manera se elaboró una puntuación que va de 0 (pobre) hasta 3 (muy bueno) para calificar cada técnica esbelta con respecto a la causa que se esté evaluando. Luego se multiplican las puntuaciones por los pesos de las causas de desperdicio según corresponda, se realiza la sumatoria

para cada opción y finalmente se obtienen las dos técnicas que tengan mayor puntaje y se las planteará para la eliminación de los desperdicios.

Con la información obtenida se procede a elaborar la matriz: Causas vs. Técnicas para definir las técnicas esbeltas a utilizar en el proceso. A continuación la tabla 11 muestra la matriz de decisión:

**TABLA 11**  
**MATRIZ CAUSAS VS TÉCNICAS ESBELTAS**

TECNICAS ESBELTAS	CAUSAS DE DESPERDICIOS												
	Máquina no disponible por fallas/Arranque muy largo		Habilidades de operadores no utilizadas		Falta de entrenamiento cruzado		Operadores no participan en decisiones		Producción en grandes cantidades		Movimiento de producto requiere maquinaria		Total
	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	
S.M.E.D (Single Minute Exchange of Dies)	3	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
J.I.T (Just in Time)	3	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
T.P.M (Mantenimiento Productivo Total)	3	18	3	15	3	12	2	6	0	0	0	0	51
Sistema 5'S	1	6	2	10	1	4	1	3	0	0	0	0	23
Sistema PULL	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	0	0	6
Poka Yoke	2	12	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	16
Manufactura Celular	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3
Trabajo en equipo y Entrenamiento cruzado	2	12	3	15	3	12	3	9	0	0	0	0	48

Las técnicas esbeltas con mayor puntuación en base a la tabla 11 son: Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Trabajo en Equipo / Entrenamiento Cruzado. Se debe tomar en cuenta que todas las valoraciones utilizadas en esta matriz son completamente subjetivas y están basadas en los intereses y opiniones del supervisor de producción.

En base a los resultados obtenidos resulta lógico aplicar TPM para mantener las instalaciones y maquinarias involucradas en el proceso de rotomoldeo en buen estado, de esta forma reducir o eliminar los paros de máquinas no programados ocasionados por fallas eléctricas-mecánicas que fueron identificados como desperdicio por el 100% de entrevistados convirtiéndolo así en el mayor desperdicio del proceso.

La otra técnica resultante es trabajo en equipo y entrenamiento cruzado la cual ayudará a eliminar los desperdicios referentes a la capacitación de los operadores el cual también fue identificado con un alto porcentaje por los entrevistados al manifestar que los operadores poseen un entrenamiento inapropiado y poca habilidad para ejercer sus actividades.

Una vez seleccionadas las dos técnicas esbeltas a utilizarse se procede a elaborar el plan de mejoras a ser empleado en el proceso productivo.

#### **4.6 Mantenimiento Total Productivo (TPM)**

La implementación del TPM para las máquinas de producción de los tanques rotomoldeados se basará fundamentalmente en 4 fases las cuales son: Identificación de las condiciones actuales del equipo; Mejorar la vida del equipo; Planear el mantenimiento para mantener las condiciones del equipo y Predecir la vida del equipo.

Como se analizó anteriormente mediante la reunión con el supervisor; y las entrevistas realizadas a los operadores del proceso se determinaron los problemas actuales referentes a las máquinas que se encuentran incluidas en el sistema productivo de los tanques rotomoldeados. Los problemas más comunes que fueron detectados son:

- Falta de conocimientos eléctricos – mecánicos.
- Falta de mantenimiento preventivo.
- No existe personal de mantenimiento designado al área de rotomoldeo
- Mantenimiento correctivo cuando es necesario.
- No existe un plan de mantenimiento anual.
- Sobrecalentamiento en cuchillas de pulverizador y molino.
- Falla en sistema transportador del pulverizador.
- Daño en PLC (control electrónico) del pulverizador.
- Falla en motor de zaranda del pulverizador.
- Falla en motor de mezcladora.
- Daños en banda de mezcladora.
- Falla en motor de ventiladores de enfriamiento de rotomoldeadora.
- Ruptura de cadenas del brazo de rotomoldeadora.
- No existe programación de contrapesos para brazo de máquina.
- Daños en PLC (control electrónico) de rotomoldeadora.
- Ruptura de engranes en brazo de rotomoldeadora.

- Falla en sistema de calentamiento de horno.
- Daños en moldes ocasionan rebabas en producto final.
- Daño en pernos de ajuste de moldes.
- Daños en herramientas para desmoldar el producto.

Para mejorar estos problemas se optó por implementar un mantenimiento autónomo, este mantenimiento es realizado por el operador de la máquina y permite la detección temprana y corrección de problemas, identificar y eliminar factores de deterioro, compartir responsabilidades entre todos los involucrados en el proceso productivo.

Inicialmente, el mantenimiento autónomo tendrá como objetivo la eliminación de las seis grandes pérdidas, en la medida que pueda hacerse desde el propio puesto de trabajo. Para la implementación del mantenimiento autónomo se necesita seguir 3 pasos: Restaurar los equipos; establecer estándares y realizar inspecciones.

Para restaurar los equipos se inició con un análisis de la condición actual de la maquinaria. Se organizó junto con los operadores 3 grupos de trabajo, uno por turno y se elaboró un formato para hacer el análisis mencionado. La figura 4.8 muestra el formato a utilizar para realizar el análisis de la condición actual de los equipos.

<b>ANÁLISIS DE CONDICIÓN ACTUAL DE EQUIPOS</b>	
<b>GRUPO:</b> _____	<b>EQUIPO:</b> _____
<b>FECHA:</b> _____	<b>EVALUADO POR:</b> _____
OBSERVACIONES:	_____ _____ _____
LIMPIEZA:	_____ _____
COMODIDAD DE OPERACIÓN:	_____
SEGURIDAD:	_____

**FIGURA 4.8 FORMATO DE ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL DEL EQUIPO**

A través de estos formatos los grupos definidos analizaron los equipos de la siguiente manera:

- Grupo 1 se encargó del molino y el pulverizador.
- Grupo 2 se encargó de la mezcladora y los moldes.
- Grupo 3 se encargó de la máquina rotomoldeadora y las herramientas.

El Anexo F muestra un ejemplo de los resultados obtenidos.

Luego de este análisis de condiciones actuales de los equipos y maquinarias se procede a elaborar una tabla de clasificación TPM con el fin de clasificar la situación actual inicial. Las calificaciones van dentro de un rango entre 1 y 5, siendo 5 condición excelente y 1 una condición

pobre. A continuación las tablas 12, 13 y 14 muestran la clasificación TPM de los tres grupos de trabajo.

**TABLA 12**  
**TPM. TABLA DE CLASIFICACIÓN GRUPO 1**

TPM TABLA DE CLASIFICACIÓN			
GRUPO 1		EQUIPO: Molino y Pulverizador	
CATEGORÍA	ÍTEM	CARACTERÍSTICA	CALIFICACIÓN
<b>GENERAL</b>	1	Equipo libre de suciedad, polvo y viruta	4
	2	Pernos , tuercas y tornillos bien ajustados	5
	3	Objetos cercanos al equipo son útiles	4
	4	Botones y pantalla de PLC limpio y buenas condiciones	5
<b>ELÉCTRICA</b>	5	Cables eléctricos están revestidos y conexiones ajustadas	3
	6	Switches, paneles y medidores estan limpios, rotulados y operables	3
	7	Todos los sensores están operativos y en buenas condiciones	4
<b>MECÁNICA</b>	8	Motores limpios y en buenas condiciones	3
	9	Engranajes y cadenas en buenas condiciones	2
	10	Pernos, tuercas y tornillos sin fatigas ni dobleces e hilos en buen estado	2
<b>LUBRICACIÓN</b>	11	Grasas y lubricantes en cadenas están en niveles correctos	2
	12	Engranajes de bandas bien lubricadas	4
	13	Rieles de reajuste bien lubricadas	4
<b>LUGAR DE TRABAJO</b>	14	Espacio de trabajo ordenado - herramientas y folletos de trabajo	3
	15	Área de trabajo señalizada	1
	16	Iluminación en buenas condiciones	5
	17	Herramientas de limpieza al alcance del operador	2
	18	Solo el material necesario esta en el lugar de trabajo	1
<b>CONTROL</b>	19	Existe una planificación diaria de limpieza	4
	20	La información del equipo esta actualizada y visible	1

**TABLA 13**  
**TPM. TABLA DE CLASIFICACIÓN GRUPO 2**

TPM TABLA DE CLASIFICACIÓN			
GRUPO 2		EQUIPO: Mezcladora y Moldes	
CATEGORÍA	ÍTEM	CARACTERÍSTICA	CALIFICACIÓN
GENERAL	1	Equipo libre de suciedad, polvo y viruta	3
	2	Pernos , tuercas y tornillos bien ajustados	2
	3	Objetos cercanos al equipo son útiles	4
	4	Superficie interna sin hundimientos y en buenas condiciones	2
ELÉCTRICA	5	Cables eléctricos están revestidos y conexiones ajustadas	4
	6	Switches, paneles y medidores estan limpios, rotulados y operables	3
	7	Todos los sensores están operativos y en buenas condiciones	2
MECÁNICA	8	Motores limpios y en buenas condiciones	4
	9	Engranajes y cadenas en buenas condiciones	4
	10	Pernos, tuercas y tornillos sin fatigas ni dobleces e hilos en buen estado	2
LUBRICACIÓN	11	Grasas y lubricantes en cadenas están en niveles correctos	5
	12	Engranajes de bandas bien lubricadas	5
	13	Juntas y pliegos de moldes bien lubricadas	3
LUGAR DE TRABAJO	14	Espacio de trabajo ordenado - herramientas y folletos de trabajo	4
	15	Área de trabajo señalizada	1
	16	Iluminación en buenas condiciones	3
	17	Herramientas de limpieza al alcance del operador	4
	18	Solo el material necesario esta en el lugar de trabajo	4
CONTROL	19	Existe una planificación diaria de limpieza	5
	20	La información del equipo esta actualizada y visible	3

**TABLA 14**  
**TPM. TABLA DE CLASIFICACIÓN GRUPO 3**

TPM TABLA DE CLASIFICACIÓN			
GRUPO 3		EQUIPO: Rotomoldeadora y Herramientas	
CATEGORÍA	ÍTEM	CARACTERÍSTICA	CALIFICACIÓN
<b>GENERAL</b>	1	Equipo y herramientas libre de suciedad, polvo y viruta	3
	2	Pernos , tuercas y tornillos bien ajustados	5
	3	Objetos cercanos al equipo son útiles	5
	4	Botones y pantalla de PLC limpio y buenas condiciones	5
<b>ELÉCTRICA</b>	5	Cables eléctricos están revestidos y conexiones ajustadas	5
	6	Switches, paneles y medidores estan limpios, rotulados y operables	4
	7	Todos los sensores están operativos y en buenas condiciones	4
<b>MECÁNICA</b>	8	Motores limpios y en buenas condiciones	4
	9	Engranajes y cadenas en buenas condiciones	4
	10	Pernos, tuercas y tornillos sin fatigas ni dobleces e hilos en buen estado	4
<b>LUBRICACIÓN</b>	11	Grasas y lubricantes en cadenas están en niveles correctos	3
	12	Engranajes y cadenas bien lubricadas	2
	13	Herramientas automáticas bien lubricadas	2
<b>LUGAR DE TRABAJO</b>	14	Espacio de trabajo ordenado - herramientas y folletos de trabajo	5
	15	Área de trabajo señalizada	1
	16	Iluminación en buenas condiciones	5
	17	Herramientas de limpieza al alcance del operador	5
	18	Solo el material necesario esta en el lugar de trabajo	3
<b>CONTROL</b>	19	Existe una planificación diaria de limpieza	5
	20	La información del equipo esta actualizada y visible	2

En la figura 4.9 se muestra la calificación alcanzada según las condiciones de los equipos analizados, se especificó cuales ítems tenían una calificación baja (2 y 1), los motivos de la misma y las posibilidades de mejoras.

HOJA DE CALIFICACIÓN		
<b>SUMA DEL TOTAL DE ITEMS:</b>	62	<b>GRUPO:</b> 1
<b>PROMEDIO:</b>	3,1	<b>FECHA:</b>
ITEM #	RAZÓN DE LA BAJA CALIFICACIÓN	MEJORA
9	Las cadenas no son las adecuadas (improvisadas)	Colocar cadenas adecuadas
10	Los pernos se encuentran doblados por excesiva carga de trabajo	Cambiar pernos
11	Escasa cantidad de grasa y lubricantes en cadenas	Limpieza y lubricación de cadenas
15	El área del pulverizador y molino no se encuentra señalizada	Pintar y señalizar el área
17	Las herramientas de trabajo se encuentran en oficina del supervisor	Poner herramientas cerca de máquina
18	Existen muchos objetos no útiles para el proceso	Limpiar y reubicar objetos
20	La información de la máquina no esta visible ni actualizada	Colocar información en máquinas

HOJA DE CALIFICACIÓN		
<b>SUMA DEL TOTAL DE ITEMS:</b>	67	<b>GRUPO:</b> 2
<b>PROMEDIO:</b>	3,4	<b>FECHA:</b>
ITEM #	RAZÓN DE LA BAJA CALIFICACIÓN	MEJORA
2	Los pernos del molde no ajustan la tapa adecuadamente	Cambiar pernos
4	Hundimientos y golpes en moldes internamente	Arreglar y pulir superficie
7	Sensores no estan operativos en mezcladora, apagado manual	Arreglar sensores
10	Pernos de mezcladora fatigados y con desgaste	Cambiar pernos
15	El área de la mezcladora no se encuentra señalizada	Pintar y señalizar el área

HOJA DE CALIFICACIÓN		
<b>SUMA DEL TOTAL DE ITEMS:</b>	76	<b>GRUPO:</b> 3
<b>PROMEDIO:</b>	3,8	<b>FECHA:</b>
ITEM #	RAZÓN DE LA BAJA CALIFICACIÓN	MEJORA
12	Engranajes y cadenas se encuentran sucias y mal lubricadas	Limpiar y lubricar cadenas
13	Pistola automática trabada por falta de lubricación	Arreglar y lubricar pistola
15	El área de rotmoldeo no se encuentra señalizada	Pintar y señalizar el área
20	La información de la máquina no está visible ni actualizada	Colocar información en máquinas

**FIGURA 4.9 HOJA DE CALIFICACIÓN**

Se coordinó junto con el personal mecánico y eléctrico de la empresa el arreglo de las fallas detectadas y que influyen de forma significativa en el proceso y funcionamiento óptimo de la maquinaria. Los operadores tomaron parte en las reparaciones hechas y en el taller mecánico - eléctrico se designó a una persona encargada para el área de rotomoldeo y se indicó a los operadores la manera correcta de proceder frente a cada situación presentada.

La formación y entrenamiento de operadores competentes en equipos revoluciona no sólo la gestión del equipo sino todos los demás aspectos de la gestión de los lugares de trabajo. Esto implica invertir esfuerzos, tanto en dinero como en tiempo, en la formación del personal. Sin embargo, presenta excelentes resultados y transforma el modo de gestionar una planta de producción.

El objetivo de esta etapa es incorporar progresivamente las tareas de inspección al mantenimiento realizado por un grupo autónomo, al mismo tiempo que constituyen una depuración sistemática del deterioro del equipo; debe optimizarse todo cuanto afecta el funcionamiento correcto del equipo y además la calidad, fiabilidad y seguridad.

Luego de haber iniciado la implementación de las mejoras, se determinó el porcentaje de desarrollo en que se encuentran las mismas y mediante

el uso de un record de oportunidades se expone la descripción del problema, las acciones a tomar y de una manera porcentual en que nivel estaba cada situación antes y en que nivel quedaron luego de las mejoras aplicadas, manejando porcentajes de 25% al 100%. Siendo 25% un desarrollo pobre y 100% un desarrollo óptimo de la situación.

En la mayor parte de los problemas encontrados se observa que con las mejoras aplicadas la situación mejoró completamente, siendo únicamente los ítems 15 y 20 del grupo 1 los que aún faltan por mejorar el motivo principal del ítem 15 es la delimitación del área, de esto se encarga un contratista de la empresa pero él no se encontraba disponible en el momento, por eso quedo para ser implantado en el futuro y el ítem 20 porque aún falta revisar algunos manuales debido al cambio de razón social de la empresa y cambio de formatos, una vez revisados se colocaran cerca de las máquinas.

Los ítems inconclusos del grupo 2 son el 4 y el 15; en el caso del 4 se hizo referencia a un trabajo engorroso tratado en un taller externo por este motivo quedo para ser implantado en el futuro y el 15 por falta del contratista indicado en el párrafo anterior. Para el grupo 3 el ítem pendiente es la delimitación y señalización del área la cual no se hizo por falta de contratista y quedo para ser implantado en el futuro.

**TABLA 15**  
**RÉCORD DE OPORTUNIDADES DEL EQUIPO**

TPM - RÉCORD DE OPORTUNIDADES DEL EQUIPO					
ITEM #	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	ACCIONES A TOMAR	RESPONSABLE	%COMPLETADO	
				ANTES	DESPUES
9	Las cadenas no son las adecuadas (improvisadas)	Colocar cadenas adecuadas	Grupo 1	50%	100%
10	Los pernos se encuentran doblados por excesiva carga de trabajo	Cambiar pernos	Grupo 1	75%	100%
11	Escasa cantidad de grasa y lubricantes en cadenas	Limpieza y lubricación de cadenas	Grupo 1	75%	100%
15	El área del pulverizador y molino no se encuentra señalizada	Pintar y señalar el área	Grupo 1	25%	50%
17	Las herramientas de trabajo se encuentran en oficina del supervisor	Poner herramientas cerca de máquina	Grupo 1	25%	100%
18	Existen muchos objetos no útiles para el proceso	Limpiar y reubicar objetos	Grupo 1	50%	100%
20	La información de la máquina no está visible ni actualizada	Colocar información en máquinas	Grupo 1	25%	75%
2	Los pernos del molde no ajustan la tapa adecuadamente	Cambiar pernos	Grupo 2	50%	100%
4	Hundimientos y golpes en moldes internamente	Arreglar y pulir superficie	Grupo 2	50%	50%
7	Sensores no están operativos en mezcladora, apagado manual	Arreglar sensores	Grupo 2	50%	100%
10	Pernos de mezcladora fatigados y con desgaste	Cambiar pernos	Grupo 2	75%	100%
15	El área de la mezcladora no se encuentra señalizada	Pintar y señalar el área	Grupo 2	25%	50%
12	Engranajes y cadenas se encuentran sucias y mal lubricadas	Limpiar y lubricar cadenas	Grupo 3	50%	100%
13	Pistola automática trabada por falta de lubricación	Arreglar y lubricar pistola	Grupo 3	50%	100%
15	El área de rotmoldeo no se encuentra señalizada	Pintar y señalar el área	Grupo 3	25%	50%
20	La información de la máquina no está visible ni actualizada	Colocar información en máquinas	Grupo 3	25%	100%

FECHA:

A continuación se presenta las tablas de clasificación 16, 17 y 18 anteriormente elaboradas, en esta ocasión indicando la situación después de haber tomado las acciones para mejorar.

**TABLA 16**  
**TPM. TABLA DE CLASIFICACIÓN MEJORADA GRUPO 1**

TPM TABLA DE CLASIFICACIÓN				
GRUPO 1		EQUIPO: Molino y Pulverizador	CALIFICACIÓN	
CATEGORÍA	ÍTEM	CARACTERÍSTICA	ANTES	DESPUES
GENERAL	1	Equipo libre de suciedad, polvo y viruta	4	5
	2	Pernos , tuercas y tornillos bien ajustados	5	5
	3	Objetos cercanos al equipo son útiles	4	4
	4	Botones y pantalla de PLC limpio y buenas condiciones	5	5
ELÉCTRICA	5	Cables eléctricos están revestidos y conexiones ajustadas	3	4
	6	Switches, paneles y medidores estan limpios, rotulados y operables	3	4
	7	Todos los sensores están operativos y en buenas condiciones	4	4
MECÁNICA	8	Motores limpios y en buenas condiciones	3	5
	9	Engranajes y cadenas en buenas condiciones	2	5
	10	Pernos, tuercas y tornillos sin fatigas ni dobleces e hilos en buen estado	2	5
LUBRICACIÓN	11	Grasas y lubricantes en cadenas están en niveles correctos	2	5
	12	Engranajes de bandas bien lubricadas	4	4
	13	Rieles de reajuste bien lubricadas	4	4
LUGAR DE TRABAJO	14	Espacio de trabajo ordenado - herramientas y folletos de trabajo	3	4
	15	Área de trabajo señalizada	1	3
	16	Iluminación en buenas condiciones	5	5
	17	Herramientas de limpieza al alcance del operador	2	5
	18	Solo el material necesario esta en el lugar de trabajo	1	5
CONTROL	19	Existe una planificación diaria de limpieza	4	5
	20	La información del equipo esta actualizada y visible	1	3

**TABLA 17**  
**TPM. TABLA DE CLASIFICACIÓN MEJORADA GRUPO 2**

TPM TABLA DE CLASIFICACIÓN				
GRUPO 2		EQUIPO: Mezcladora y Moldes	CALIFICACIÓN	
CATEGORÍA	ÍTEM	CARACTERÍSTICA	ANTES	DESPUES
GENERAL	1	Equipo libre de suciedad, polvo y viruta	3	5
	2	Pernos , tuercas y tornillos bien ajustados	2	5
	3	Objetos cercanos al equipo son útiles	4	4
	4	Superficie interna sin hundimientos y en buenas condiciones	2	2
ELÉCTRICA	5	Cables eléctricos están revestidos y conexiones ajustadas	4	5
	6	Switches, paneles y medidores estan limpios, rotulados y operables	3	4
	7	Todos los sensores están operativos y en buenas condiciones	2	5
MECÁNICA	8	Motores limpios y en buenas condiciones	4	5
	9	Engranajes y cadenas en buenas condiciones	4	5
	10	Pernos, tuercas y tornillos sin fatigas ni dobleces e hilos en buen estado	2	5
LUBRICACIÓN	11	Grasas y lubricantes en cadenas están en niveles correctos	5	5
	12	Engranajes de bandas bien lubricadas	5	5
	13	Juntas y plieges de moldes bien lubricadas	3	4
LUGAR DE TRABAJO	14	Espacio de trabajo ordenado - herramientas y folletos de trabajo	4	4
	15	Área de trabajo señalizada	1	3
	16	Iluminación en buenas condiciones	3	4
	17	Herramientas de limpieza al alcance del operador	4	5
	18	Solo el material necesario esta en el lugar de trabajo	4	5
CONTROL	19	Existe una planificación diaria de limpieza	5	5
	20	La información del equipo esta actualizada y visible	3	4

**TABLA 18**  
**TPM. TABLA DE CLASIFICACIÓN MEJORADA GRUPO 3**

TPM TABLA DE CLASIFICACIÓN				
GRUPO 3		EQUIPO: Rotomoldeadora y Herramientas	CALIFICACIÓN	
CATEGORÍA	ÍTEM	CARACTERÍSTICA	ANTES	DESPUES
GENERAL	1	Equipo y herramientas libre de suciedad, polvo y viruta	3	5
	2	Pernos , tuercas y tornillos bien ajustados	5	5
	3	Objetos cercanos al equipo son útiles	5	5
	4	Botones y pantalla de PLC limpio y buenas condiciones	5	5
ELÉCTRICA	5	Cables eléctricos están revestidos y conexiones ajustadas	5	5
	6	Switches, paneles y medidores estan limpios, rotulados y operables	4	4
	7	Todos los sensores están operativos y en buenas condiciones	4	5
MECÁNICA	8	Motores limpios y en buenas condiciones	4	5
	9	Engranés y cadenas en buenas condiciones	4	5
	10	Pernos, tuercas y tornillos sin fatigas ni dobleces e hilos en buen estado	4	5
LUBRICACIÓN	11	Grasas y lubricantes en cadenas están en niveles correctos	3	4
	12	Engranés y cadenas bien lubricadas	2	5
	13	Herramientas automáticas bien lubricadas	2	5
LUGAR DE TRABAJO	14	Espacio de trabajo ordenado - herramientas y folletos de trabajo	5	5
	15	Área de trabajo señalizada	1	3
	16	Iluminación en buenas condiciones	5	5
	17	Herramientas de limpieza al alcance del operador	5	5
	18	Solo el material necesario esta en el lugar de trabajo	3	4
CONTROL	19	Existe una planificación diaria de limpieza	5	5
	20	La información del equipo esta actualizada y visible	2	5

Luego se procedió a determinar la Eficiencia Global del Equipo (OEE). La OEE permite optimizar los procesos de producción y esta relacionada directamente con los costes de operación, informa sobre las pérdidas y

cuellos de botella del proceso y enlaza la toma de decisiones financiera y el rendimiento de las operaciones de planta. Para este cálculo se necesitan datos de disponibilidad, efectividad y calidad. La fórmula que permite determinar este factor es:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Efectividad} * \text{Calidad}$$

El valor de OEE se clasifica como se muestra en la tabla 19 a continuación:

**TABLA 19**  
**CLASIFICACIÓN OEE**

<b>VALOR OEE</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
OEE < 65%	Inaceptable
65% < OEE < 75%	Regular
75% < OEE < 85%	Aceptable
85% < OEE < 95%	Buena
OEE > 95%	Excelencia

Para realizar los cálculos de OEE se tomaron datos de 30 días correspondientes a un mes de producción y se utilizaron las fórmulas que se describen a continuación [12]:

Coficiente de Disponibilidad     $D = TO / TC$

Coficiente de Efectividad         $E = OC \times OP$

Coficiente De Calidad             $C = TOE / TOR$

El cálculo del coeficiente de disponibilidad se encuentra en el anexo G y se obtiene del análisis previo de la relación entre el tiempo operativo (TO) y el tiempo de carga (TC).

*Tiempo disponible (TD)*: Es el tiempo previsto que el equipo se puede utilizar, se obtiene de las horas diarias programadas para producir. Ver anexo G.

*Tiempo de carga (TC)*: Se lo obtiene deduciendo del tiempo disponible, el tiempo planificado para mantenimiento preventivo, mantenimiento productivo, y descansos.

*Tiempo operativo (TO)*: Se lo obtiene deduciendo del tiempo de carga los tiempos de paro por averías y reparaciones, preparaciones y ajustes.

El cálculo del coeficiente de efectividad se encuentra en el anexo H y se obtiene del análisis previo de la relación entre el coeficiente de operatividad del ciclo (OC) y el coeficiente de operatividad de paros (OP).

*Coeficiente de operatividad del ciclo (OC)*: Es una relación entre el tiempo de ciclo (según norma) para producir una unidad de producto y el tiempo ciclo real para su producción:

$OC = \text{Tiempo de ciclo ideal (CI)} / \text{Tiempo de ciclo real (CR)}$

*Coeficiente de operatividad por paros (OP):* Es la relación entre el tiempo real que el equipo esta operativo y el tiempo que el equipo esta teóricamente operativo, considerando paradas cortas y funcionamiento a velocidad inferior a la especificada:

$OP = \text{Tiempo operativo real TOR} / \text{Tiempo operativo TO}$

*Tiempo operativo real (TOR):* Se lo obtiene deduciendo del tiempo operativo las pérdidas de velocidad por paradas cortas y reducciones de velocidad.

El cálculo del coeficiente de calidad se encuentra en el anexo I y se obtiene del análisis previo de la relación entre el tiempo operativo eficiente (TOE) y el tiempo operativo real (TOR)

*Tiempo operativo eficiente (TOE):* Se lo obtiene deduciendo del tiempo operativo real los tiempos relacionados con puesta en marcha; pérdidas en reproceso y despilfarros.

Así pues la eficiencia global del equipo OEE esta expresada por:

$$OEE = D \times E \times C$$

Se realiza un cálculo de OEE para cada una de las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de los tanques de polietileno: pulverizador, mezcladora y rotomoldeadora. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 20 a continuación:

**TABLA 20**

**VALORES OBTENIDOS DE COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DE OEE**

	Pulverizador	Mezcladora	Rotomoldeadora
Coefficiente de Disponibilidad (D)	0,70	0,70	0,80
Coefficiente de Efectividad (E)	0,83	0,90	0,71
Coefficiente de Calidad (C)	0,95	0,95	0,97

**Pulverizador**  $OEE = D * E * C = (0.70) (0.83) (0.95) = 0.55 = 55\%$

**Mezcladora**  $OEE = D * E * C = (0.70) (0.90) (0.95) = 0.59 = 59\%$

**Rotomoldeadora**  $OEE = D * E * C = (0.80) (0.71) (0.97) = 0.55 = 55\%$

Con los valores del OEE obtenidos se puede determinar que las máquinas presentan similitud en sus resultados y tienen valores por debajo del 65% considerado inaceptable por la tabla 19 de clasificación del OEE. Se puede observar que la pérdida de capacidad del pulverizador es de 45%, la de la mezcladora es 41% y la pérdida de capacidad de la rotomoldeadora es 45% por lo tanto se deben buscar medidas para mejorar la eficiencia global de los equipos.

Al analizar las tres variables que conforman el OEE se observa que el coeficiente de calidad es bastante alto (0.95; 0.95; 0.97) y las mayores falencias se hallan en el coeficiente de disponibilidad y en menor medida en el coeficiente de rendimiento, esto es ocasionado principalmente por los paros no programados que se presentan a lo largo del sistema productivo originado por fallas eléctrico-mecánicas. Estas paradas no programadas ocurren en el pulverizador en un 28%, en la mezcladora en un 26% y en la rotomoldeadora en un 20% del total del tiempo programado para trabajar, es decir 340 horas al mes se pierden por estos problemas.

Como una medida de mejora para la disponibilidad y el rendimiento de los equipos se optó por realizar un mantenimiento preventivo. Como primer paso se elaboró una lista de verificación de mantenimiento preventivo diario (checklist) que será realizado todos los días por los operadores de cada máquina (ver anexo J).

Luego se procedió a realizar una evaluación de las causas de las fallas para determinar los daños con mayor incidencia en los paros de máquina no programados, en base al historial de novedades de producción diaria de los últimos 6 meses de producción. Se encontraron las siguientes fallas como causas principales:

*Pulverizador:*

- Falla eléctrica en motor principal.
- Bomba de succión de material dañada.
- Falla eléctrica del alimentador de la zaranda.
- Daño en motor de zaranda.
- Daño en canal de retorno.

*Mezcladora:*

- Daño en banda de transmisión V.
- Daño en motor principal.

*Rotomoldeadora:*

- Falla eléctrica del quemador.
- Daño en motor reductor de los brazos.
- Daño en motor de carro rueda.
- Falla eléctrica en programador digital de condiciones.
- Fuga de aceite del motor reductor de los brazos.
- Daño en sensor de puerta del horno.
- Ruptura de bridas del brazo.
- Daño en rodamiento de eje de transmisión.

En el Anexo K se muestran los diagramas de Pareto de las principales causas de las fallas de los equipos y se puede observar que aquellas causas con mayor frecuencia que ocupan el 80% del total de fallas son: Daño en la bomba de succión del material para el caso del pulverizador, daño en la banda de transmisión en V para el caso de la mezcladora, daño en el motor reductor de los brazos y daño eléctrico en el quemador para el caso de la rotomoldeadora.

A continuación en la tabla 21 se muestran las fallas que conforman el 80% del total de fallas durante el proceso productivo y las medidas a tomar para corregir estos errores. Las fallas de la bomba de succión del material y la banda de transmisión en V son de fácil solución; sin embargo en el caso del motor reductor de los brazos y el quemador de la máquina rotomoldeadora es necesario contratar los servicios de personal especializado en balanceo de moldes y calibración de sensores para eliminar esta fuente de falla.

El balanceo de moldes es una técnica muy utilizada en el proceso de rotomoldeo cuando se montan dos o más moldes en un brazo vertical, consiste en equilibrar la carga en ambos lados del eje y de esta forma evitar la existencia de cambios bruscos de esfuerzos en el motor reductor del brazo, para esto debe existir un inventario de moldes con sus respectivos pesos y una correcta programación de producción.

El trabajo a realizar por los especialistas consistirá en encontrar el equilibrio adecuado con las masas de los moldes que trabajan conjuntamente en base a un histórico de producción, de esta forma agregar o disminuir el peso en los moldes que lo requieran, hasta donde la calidad del producto lo permita.

**TABLA 21**  
**MAYORES CAUSAS DE LAS FALLAS**

**PULVERIZADOR**

DEFECTO	%	SOLUCIÓN
Bomba de succión del material con muchas reparaciones y repuestos adaptados de otras bombas al realizarse mantenimiento correctivo y tiene desgastes excesivos en sus engranes.	76.71%	Realizar el reemplazo por una bomba nueva con garantía de funcionamiento de las mismas características de aquella que se encuentra con fallas en el pulverizador.

**MEZCLADORA**

DEFECTO	%	SOLUCIÓN
Banda de transmisión en V se rompe con facilidad	77.77	Reemplazar las bandas utilizadas actualmente con bandas de mayor resistencia. Preferiblemente elaboradas por un fabricante de mezcladoras de compuesto. (originales)

**ROTOMOLDEADORA**

DEFECTO	%	SOLUCIÓN
Motor reductor de los brazos sufren frecuentemente fugas de aceite ocasionado por desgaste, rupturas de coronas y cadenas ocasionadas por sobreesfuerzo	43.64	Elaborar un sistema eficiente de contrapesos para disminuir los cambios bruscos de esfuerzo en el motor.
El quemador se apaga porque recibe señal errónea del sensor de sobrepresiones y bajas presiones, apertura de puerta de horno, etc.	32.72	Calibrar los sensores de la máquina correctamente y reemplazar aquellos alterados, programar calibraciones periódicas para evitar lecturas erróneas.

Las técnicas de mantenimiento preventivo se basan en el cambio o reemplazo de partes en función de intervalos de tiempo y en la mayoría de veces las piezas son retiradas cuando aún tienen capacidad de seguir funcionando. En la figura 4.10 se muestra un esquema de las partes y componentes de la línea de gas que alimenta el quemador.

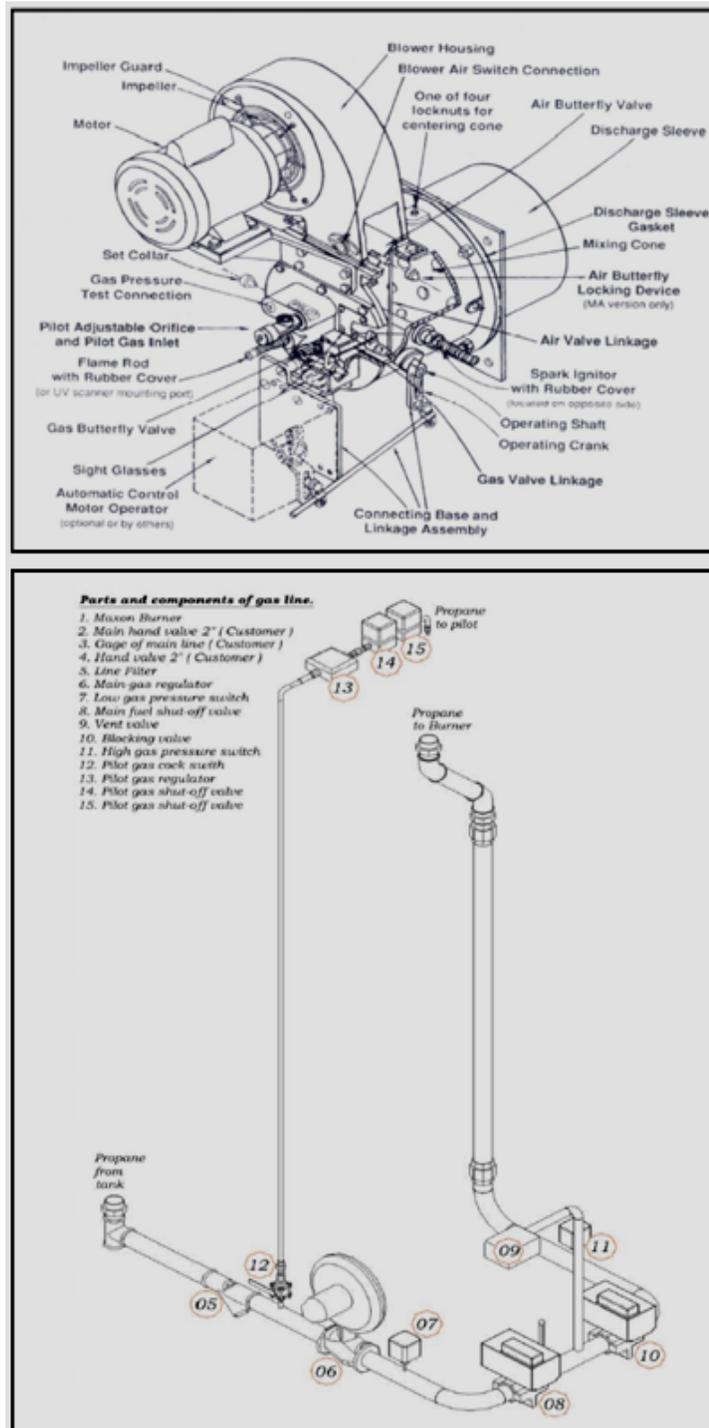


FIGURA 4.10 ESQUEMA DEL QUEMADOR Y LINEA DE GAS

Los operadores de la planta se encargarán del mantenimiento preventivo de los equipos según como sus habilidades lo permitan y deberán ser entrenados y capacitados para realizar sus tareas de forma eficiente. Serán quienes con su experiencia trabajando con el equipo informen sobre las necesidades y cuidados que éste requiere previo a cualquier deterioro, esta información será de gran importancia a la hora de ajustar las frecuencias de las actividades de mantenimiento para cada equipo, las cuales , por otra parte, deben efectuarse fuera de los períodos de producción, para el caso del pulverizador y mezcladora que trabajan 4 horas por turno, se programen las intervenciones de mantenimiento durante las 4 horas que no estén produciendo.

Por su parte, el personal de mantenimiento se ocupará de recopilar esa información, estandarizar esas tareas, documentarlas y, en medida de lo posible, estandarizar y unificar los recambios a utilizar, y tenerlos disponibles en el momento de realizar las tareas previamente planificadas. De no proceder así, se puede encontrar en la situación de haber planificado una actividad de mantenimiento, y por no estar correctamente documentada, no disponer del recambio que se precisa, o bien sin el personal requerido para llevarla a cabo.

Los operadores se encargarán de la limpieza, lubricación, inspección, ajustes y reparaciones menores de los equipos. De existir casos que

requieran un mayor nivel de conocimiento mecánico-eléctrico se requerirá la participación del taller de mantenimiento. En la figura 4.11 se muestra un esquema de la máquina rotomoldeadora con los puntos de lubricación para un eficiente mantenimiento preventivo.

Desarrollar aptitudes de inspección a través de la limpieza requiere una importante experiencia directa por parte de los operarios, a la vez que entrenamiento in situ y formación sobre las condiciones ideales del equipo y de los procesos. De esta forma, será más fácil y rápido detectar variaciones en el equipo o en sus condiciones que impidan alcanzar su estado óptimo o ideal.

Es aconsejable basar el entrenamiento sobre hechos descubiertos por los propios operadores en sus equipos o según vayan planteándose dudas mientras realizan las tareas diarias básicas. Así empezarán a comprender la importancia de la limpieza como medio de mejora y se familiarizarán con tareas de mantenimiento primario, al tiempo que sentirán deseos de hallar soluciones para realizar una limpieza fácil.

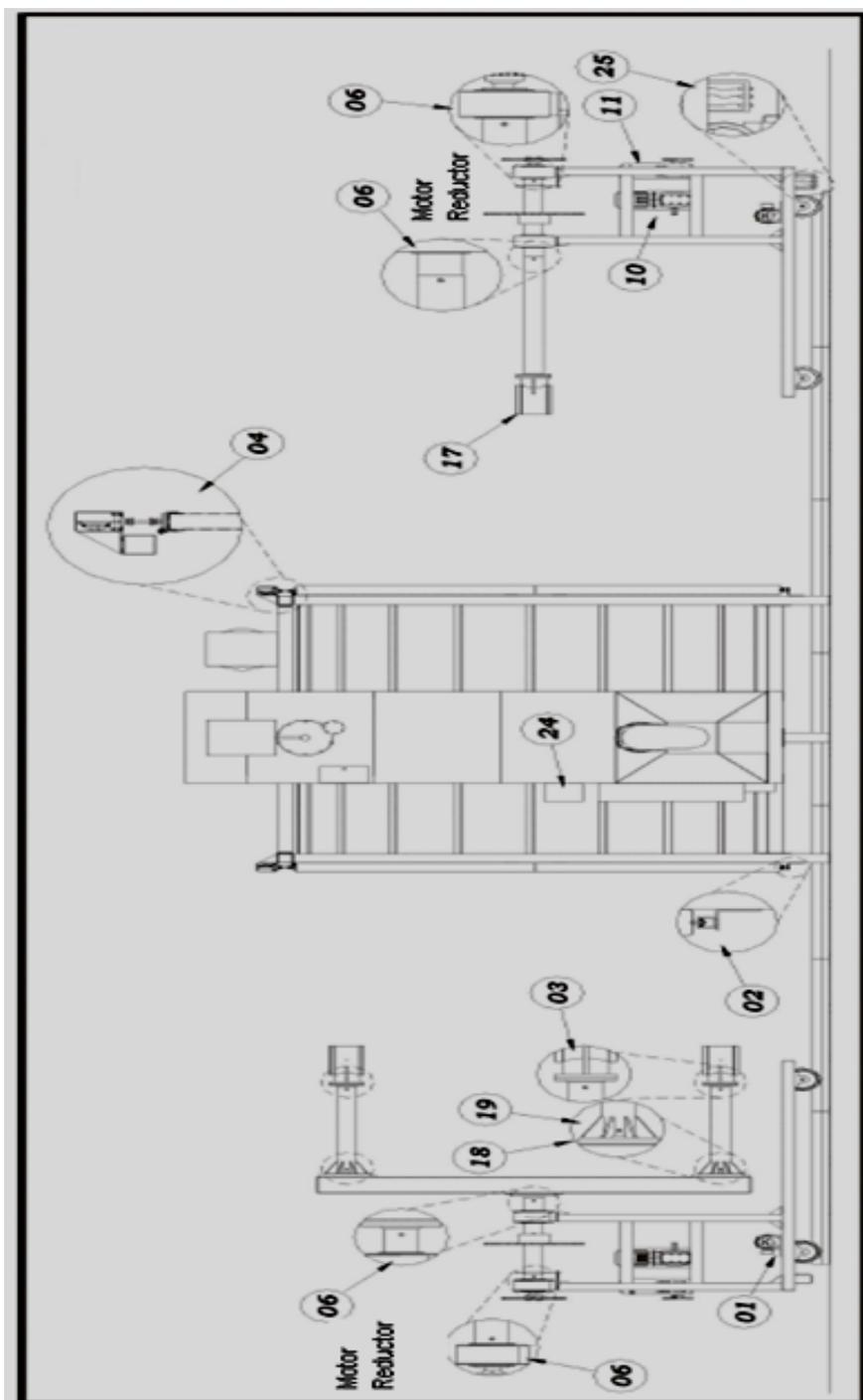


FIGURA 4.11 PUNTOS DE LUBRICACIÓN DE LA ROTOMOLDEADORA

El siguiente paso para la planificación del mantenimiento de los equipos es la realización de una descripción de los equipos, la cual se detalla a continuación:

*Pulverizador:*

*Descripción.-* Sistema pulverizador que se encarga de convertir en un polvo fino la materia prima que generalmente es vendida en pellet mediante la trituración por un molino de discos por abrasión mecánica.

*Procedencia.-* Brasil.

*Mezcladora:*

*Descripción.-* Máquina encargada de combinar el polvo de polietileno y los aditivos para la elaboración del compuesto utilizado en el proceso de rotomoldeo. Tiene una olla de 80 kilogramos de capacidad.

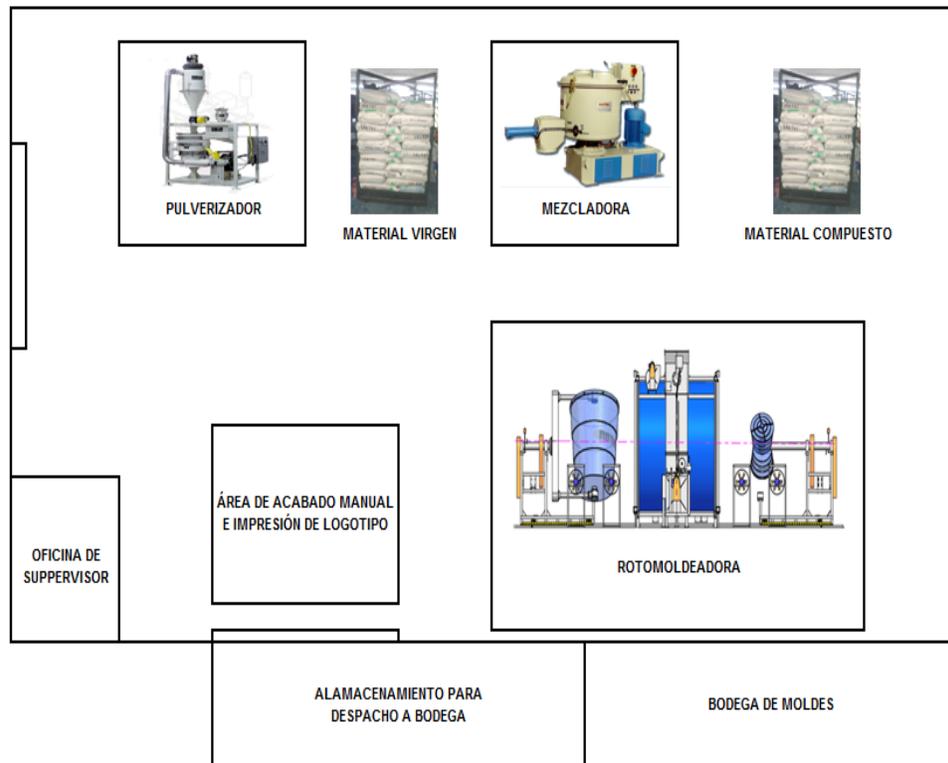
*Procedencia.-* Italia.

*Rotomoldeadora:*

*Descripción.-* Sistema Tipo Shuttle con dos brazos mecánicos de movimientos biaxiales que transportan los moldes hacia la cámara de calentamiento. Utilizado para elaborar tanques de una, dos o tres capas.

*Procedencia.-* Brasil.

La ubicación de las máquinas en la planta se muestra a continuación en la figura 4.12.



**FIGURA 4.12 UBICACIÓN DE LA MAQUINARIA EN LA PLANTA**

*Manuales y Planos:*

- Manual de Uso y Mantenimiento
- Manual de sistema eléctrico
- Planos de sistema eléctrico.

Luego de identificados los datos de los equipos, se procedió a realizar una lista crítica de repuestos necesarios para la máquina. Se ha decidido tener un stock mínimo de los repuestos críticos necesarios (clasificación A) debido al alto costo de los mismos, pero no se puede prescindir de ellos debido a que la máquina quedaría inoperante durante un largo período pues algunos de los repuestos son difíciles de encontrar en el mercado nacional. En el anexo L se muestra la lista elaborada.

De igual manera en conjunto con los operadores y miembros del equipo de mantenimiento se elaboró una estrategia de mantenimiento planeado especificando las actividades a realizar, la frecuencia y el tiempo que tomaría anualmente el mantenimiento planeado. Ver Anexo M.

El objetivo de la implantación de un mantenimiento planeado, es ajustar la frecuencia de las tareas de mantenimiento requeridas por el equipo, y llevarlas a cabo en el momento menos perjudicial para producción y antes de que se transforme en una avería para el equipo.

Se elaboró también un formato que permite llevar con facilidad un historial de los mantenimientos realizados a la máquina, este historial

permite conocer las partes que reciben mantenimiento, la fecha que se llevo a cabo y la persona responsable. Ver Anexo N.

Adicionalmente se elaboró un diagrama de Gantt para tener una planificación mensual de las actividades que se van a realizar y cuando se las realizará. Ver Anexo O.

El siguiente paso es la realización de un mantenimiento predictivo, el cual consiste en la detección y diagnóstico de averías antes de que se produzcan y así poder programar los paros para reparaciones en los momentos oportunos. Con esto se pretende que el tiempo muerto del equipo se minimice y el tiempo de vida de los componentes se maximice.

Algunos de los métodos de trabajo en mantenimiento predictivo que permiten disponer de medidas efectivas para la monitorización de máquinas y equipos son:

- *Análisis de vibraciones*: Resulta de gran interés, puesto que la mayoría de máquinas están sometidas a algún tipo de vibración, y no resulta difícil , en general, establecer una relación medible e interpretable entre el tipo, intensidad y frecuencia de las vibraciones y algún aspecto del estado del equipo. El hecho más significativo y de interés para evaluar el estado de un equipo sometido a una o varias

actividades que dan lugar a vibraciones, es que procesos mecánicos diferentes de una máquina relacionados con aspectos a controlar, como por ejemplo, desequilibrios o fallos de rodamientos, producen energía a diferentes frecuencias. Si esas frecuencias diferentes son separadas una de otra con el análisis espectral, entonces se puede ver el desarrollo del fallo.

- *Análisis de muestras de lubricantes:* La presencia de partículas de arena y polvo puede ser detectada en un lubricante y evitar que cause deterioro a las partes más delicadas del equipo por las que circula el lubricante. Entre los aspectos a controlar en las muestras de lubricantes, están las variaciones de viscosidad, la presencia de productos extraños (contaminantes) y la presencia de partículas precedentes del deterioro de alguna parte de la máquina (por ejemplo polvo o partículas metálicas). Es corriente que este análisis se haga fuera de la planta de producción.
- *Termografía:* Con la utilización de cámaras de imágenes térmicas pueden obtenerse mapas de distribución de temperatura, buscando por ejemplo puntos calientes de conexiones eléctricas perdidas. Actualmente es utilizada para estudiar el estado de las tuberías y recipientes, así como cojinetes y acoplamientos, armarios y cuadros

eléctricos, motores, etc. Además la interpretación de los datos requiere poca formación en comparación con otras técnicas.

- *Análisis de respuestas acústicas:* Con una metodología bastante sencilla pueden analizarse a partir de los sonidos, problemas como defectos en rodamientos, donde un elemento de los mismos puede estar causando un defecto en una pista y crear descargas y picos de energía. Estas técnicas suelen utilizar transductores similares y ubicados en los mismos lugares que el análisis de vibraciones. Así se pueden utilizar estas técnicas de forma combinada al análisis de vibraciones.

Los análisis mencionados deben ser aplicados por una empresa especializada en este tipo de mantenimiento predictivo.

En el mercado ecuatoriano existen empresas como M.P.D.E; PREDICTIVA; e INSERCRUZ S.A.; que se encargan de brindar estos servicios a las empresas que lo soliciten. Se plantea contratar los servicios de INSERCRUZ S.A. para que sean ellos los que se hagan cargo del mantenimiento predictivo de la planta de rotomoldeo y sus maquinarias.

#### **4.7 Trabajo en Equipo y Entrenamiento Cruzado**

La segunda técnica esbelta a utilizar es el trabajo en equipo y entrenamiento cruzado. En la reunión con el supervisor y entrevista a operadores se pudo determinar que el personal cuenta con un escaso conocimiento del proceso, también se observó que los trabajos más elaborados son realizados por trabajadores con una antigüedad mayor a dos años y cuando los trabajadores se ausentan se originaba una pérdida de productividad el utilizar personal de otras áreas para continuar el trabajo del personal ausente. Por razones administrativas es imposible contratar a más operadores. Con esta información inicial, se planteó entrenar al personal que realiza actividades o procesos afines.

Habitualmente el nuevo empleado desconoce aspectos y funciones básicas del puesto, por ello la organización requiere de la inducción y adiestramiento al puesto; así las necesidades de recursos humanos de la organización pueden satisfacerse desarrollando a los empleados, enseñándoles nuevas actividades y conocimientos para garantizar su aportación a la organización y para satisfacer sus legítimas aspiraciones de progreso, a este desarrollo se le llama capacitación.

El entrenamiento cruzado se define como un conjunto de acciones orientadas a impulsar el desarrollo de nuevas habilidades y

procedimientos por medio de la instrucción de personal especializado (instructores). Una de las características que tiene el entrenamiento cruzado es el trabajo en equipo, este coadyuva a integrar grupos de trabajo, de manera que crea una sociedad de igualdad dando libertad al personal de ser proactivos.

Se procederá a elaborar el procedimiento general de entrenamiento cruzado donde se explica la forma en que se implementará el programa. Luego se elabora un programa de capacitación donde se determina el nombre de los cursos que serán impartidos. En este programa se determinó que se dictarán 10 cursos dirigidos al personal del área y finalmente se elabora un cronograma de actividades y capacitación.

Para poder iniciar la capacitación los instructores tienen el conocimiento del personal a capacitar, así como de los temas que enseñarán. Se cita a la gente que recibirá la capacitación en el área de trabajo correspondiente a los temas de entrenamiento. Se les explica y enseña los tipos de herramientas que se utilizarán y para qué sirven cada una de ellas; así mismo los tipos de materiales que se utilizarán en el área de enseñanza.

*Procedimiento general de entrenamiento cruzado*

En la figura 4.13 se muestra el procedimiento general de entrenamiento cruzado con su respectivo formato:

EMPRESA	PROCEDIMIENTO PARA ENTRENAMIENTO CRUZADO DEL PERSONAL	Documento: Código: Área:
<p><b>1. OBJETIVO:</b> Asegurar que todo el personal reciba el entrenamiento necesario para que realice sus tareas con la mayor eficiencia posible, dentro del marco de los objetivos y estrategias de la empresa.</p> <p><b>2. ALCANCE:</b> Este procedimiento aplica a todos los trabajadores de la empresa.</p> <p><b>3. RESPONSABLE:</b> Gerente de Recursos Humanos.</p> <p><b>4. PROCEDIMIENTO:</b></p> <p>a) Todo trabajador que ingrese a laborar en la empresa debe ser capacitado inicialmente antes de empezar a ejercer sus labores, mediante un programa de inducción.</p> <p>b) Los Supervisores en general (coordinadores, supervisores propiamente dichos, superintendentes o jefes, y gerentes) deben detectar las necesidades de capacitación al momento de realizar la evaluación del desempeño del trabajador.</p> <p>c) Los Gerentes de Area o Departamento/Divisiones podrán solicitar una capacitación emergente, no programada para alguno(s) de sus subordinados. Este tipo de necesidades deberá ser incluido en las revisiones de los avances del Plan Anual de Capacitación.</p> <p>d) El departamento de Seguridad Industrial debe mantener un plan de capacitación en base a las necesidades de capacitación identificadas para operadores que se aplica luego de las charlas de toma de conciencia.</p> <p>e) El Coordinador de Capacitación debe elaborar el Plan Anual de Capacitación para los trabajadores, con la información recopilada y para el ámbito que les compete y fechas tentativas de realización.</p> <p>f) El Plan Anual de Capacitación contemplará las mejores alternativas, principalmente, dando preferencia a los cursos que puedan darse con recursos internos "in house" y a los que abarquen al mayor número de colaboradores con un mismo requerimiento, cuidando del presupuesto destinado para ello.</p> <p>g) La eficacia de la capacitación de los cursos para cada trabajador, se determinará mediante el resultado de las evaluaciones de desempeño, es decir se considerará que la capacitación fue eficaz cuando su calificación se encuentre por encima del promedio aceptable (3).</p> <p><b>5. REGISTRO:</b> Toda actividad relacionada con entrenamiento del personal debe ser registrada en sus respectivos formatos.</p> <p><b>6. CONTROL DE CAMBIOS:</b> Se debe registrar todos los cambios o modificaciones realizadas en el documento.</p>		
Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Aprobado por: Fecha:

**FIGURA 4.13 PROCEDIMIENTO PARA ENTRENAMIENTO CRUZADO**

*Programa de capacitación al personal del área de rotomoldeo*

El departamento de recursos humanos deberá ser el encargado de realizar la selección y contratación del experto quien dictará las capacitaciones. La contratación tendrá un tiempo de duración de 30 días laborables, el experto deberá tener conocimiento sobre técnicas de entrenamiento cruzado y trabajo en equipo.

Los temas que se deberán tratar en la capacitación deberán ser acordes a los procesos que realizan los operadores de cada área. Las capacitaciones deben ser dictadas a todo el personal de área de rotomoldeo. En la tabla 22 se muestran los temas a ser tratados en las capacitaciones.

**TABLA 22**

**CAPACITACIÓN PARA EL PERSONAL DE ROTOMOLDEO**

<b>TEMAS</b>	<b>TIPO</b>	<b>DURACION</b>
Trabajo en equipo	Teórico y Práctico	2 horas
Materias primas para rotomoldeo	Teórico y Práctico	2 horas
Proceso de rotomoldeo	Teórico y Práctico	2 horas
Control de calidad	Teórico y Práctico	2 horas
Elementos mecánicos y eléctricos del pulverizador	Teórico y Práctico	2 horas
Elementos mecánicos y eléctricos de la mezcladora	Teórico y Práctico	2 horas
Elementos mecánicos y eléctricos de la rotomoldeadora	Teórico y Práctico	2 horas
Seguridad industrial	Teórico y Práctico	2 horas
Montaje rápido de moldes	Teórico y Práctico	2 horas
Manipulación de materiales	Teórico y Práctico	2 horas

### *Cronograma de actividades y capacitación*

En este punto el departamento de recursos humanos debe definir la lista del personal que participará en la capacitación. La nómina de participantes debe ser comunicada a los jefes y supervisores de cada área de trabajo involucrada, para conocimiento de todo el personal.

Luego de definir la nómina de participantes, el instructor en conjunto con el departamento de recursos humanos debe coordinar el cronograma de capacitación, de acuerdo a los horarios de trabajo de los operadores de cada área, se debe realizar una capacitación para cada grupo. La empresa trabaja las 24 horas en tres turnos de 8 horas.

Además se sugiere que las clases sean teóricas y prácticas. Es imprescindible la presencia de los jefes y supervisor del área, porque ellos serán los responsables de la retroalimentación de los operadores. De igual manera el cronograma debe ser publicado en la cartelera informativa del área de rotomoldeo para conocimiento de todo el personal.

A continuación en la tabla 23 se muestra el cronograma de capacitaciones a realizarse para la implementación de la segunda técnica esbelta.

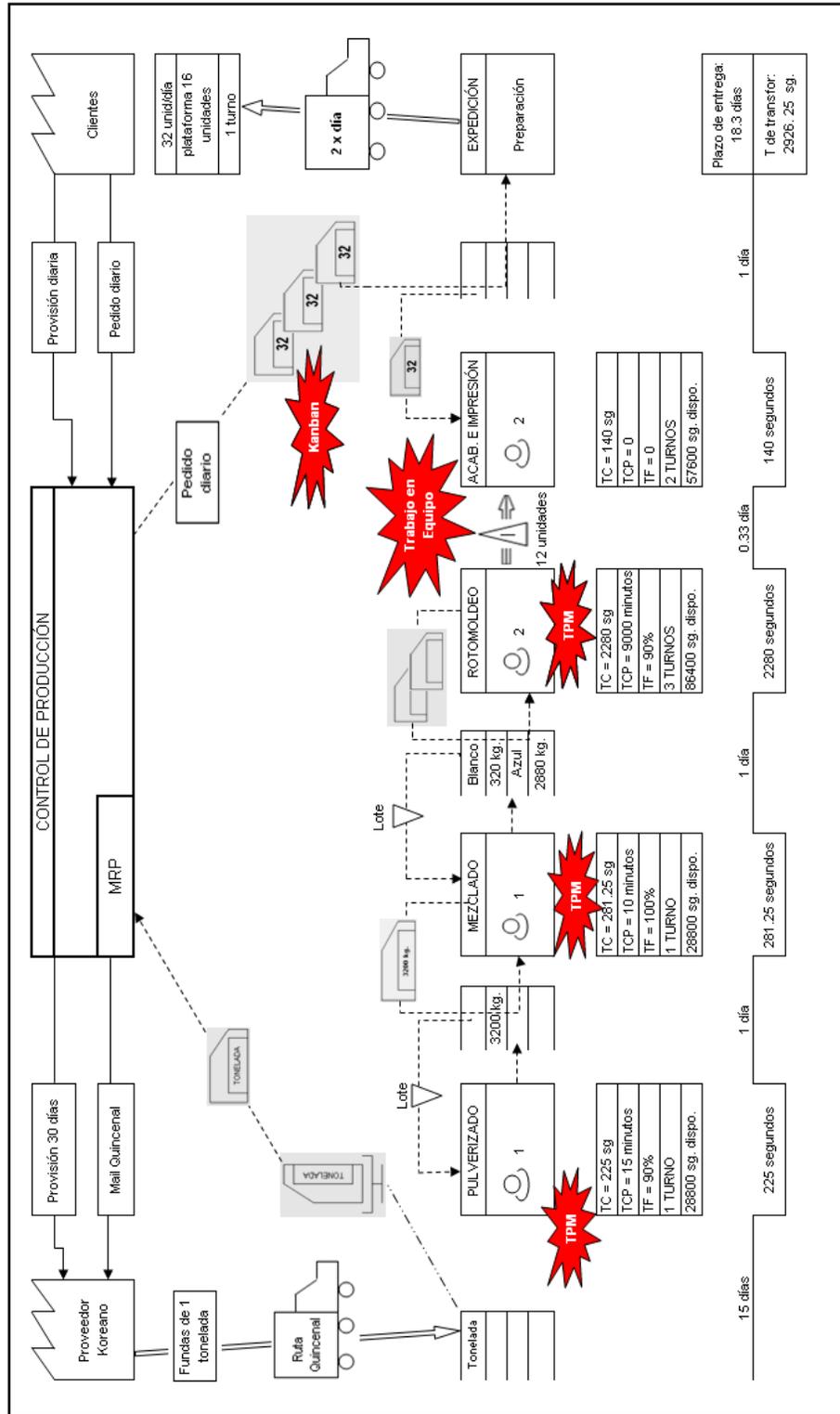


#### **4.8 Mapeo de la Cadena de Valor Mejorada**

En el mapeo de la cadena de valor actual mostrado en la figura 4.4, se pueden observar problemas de sobreproducción, fiabilidad de las máquinas con porcentajes bajos, y elevados tiempos de ciclo. Todos estos problemas serán corregidos en su mayoría con la utilización de las técnicas TPM y Entrenamiento Cruzado. La figura 4.14 muestra el mapeo de la cadena de valor mejorado.

Como se puede observar en la figura 4.14 el MRP se puede seguir usando para entregarle al proveedor previsiones de acuerdo a la capacidad planeada, este nuevo sistema obliga al proveedor a entregar la cantidad de material necesario cada 15 días eliminando un 50% el inventario de la empresa.

Se recomienda realizar algunos cambios en el sistema productivo. Anteriormente el pulverizador, la mezcladora y la rotomoldeadora producían para almacenar (make to stock), ahora se utilizará un sistema de flujo de jalado que parte de la necesidad del cliente mediante tarjetas de kanban de retiro, para esto se deben elaborar supermercados que se encuentran en las estaciones de trabajo con lotes pequeños equivalentes a un día de producción, reduciendo de esta forma significativamente el tiempo de entrega del producto.



**FIGURA 4.14 MAPEO DE LA CADENA DE VALOR MEJORADA**

Se debe recordar que en el VSM actual los operadores que trabajan en el pulverizador y mezcladora laboran 4 horas y luego se trasladan a la estación de acabado manual e impresión de logotipo a laborar las 4 horas restantes del turno, esto genera almacenamiento de material y productos semiprocesados entre estaciones de trabajo. Con la aplicación de TPM en las máquinas pulverizador y mezcladora se espera aumentar la fiabilidad de operación, y esto permite producir solamente lo necesario, por eso se planteó laborar durante las ocho horas corridas del primer turno en el pulverizador y la mezcladora para cumplir con la necesidad de material de un día de producción.

En la primera fase del TPM se realizaron cambios de pernos y limpieza de los moldes esto originó mejoras en el producto final al generarse menos rebabas y a su vez una disminución en el tiempo de ciclo de la estación de trabajo, por este motivo se plantea combinar las estaciones de acabado manual e impresión de logotipo y utilizar únicamente la operación de dos personas, cuando anteriormente se utilizaban tres personas. Al encontrarse sin funcionamiento el pulverizador y la mezcladora en segundo y tercer turno, los dos operadores anteriormente destinados 4 horas a estas máquinas están encargados durante las ocho horas de cada turno a laborar en la estación de acabado manual e impresión de logotipo.

Con la implementación de TPM en el proceso de fabricación de tanques rotomoldeados se espera aumentar el rendimiento de las máquinas mediante el remplazo de partes averiadas, esto a su vez conlleva al aumento de la eficiencia global del equipo. El aumento esperado en los porcentajes de fiabilidad de las máquinas se muestra en la figura 4.14 del mapeo de la cadena de valor mejorada.

La mezcladora debe surtir el supermercado de compuesto azul y blanco, según la tarjeta kanban de retiro lo disponga para la producción de un día. Este material es retirado y utilizado por la rotomoldeadora mediante el mismo mecanismo. En la estación de rotomoldeo se deben realizar cambios en el método de trabajo utilizado por el operador para desmoldar el producto, cargar el material y colocar / quitar la tapa del molde con esto se espera reducir el takt time de la estación de trabajo en un 26.92% del tiempo inicial según se muestra en el VSM mejorado.

La aplicación del Trabajo en Equipo y Entrenamiento Cruzado será de vital importancia para la obtención de las mejoras alcanzadas, y se ve reflejado en la disminución considerable del takt time de cada máquina y del tiempo de ciclo del proceso. Además se deberá adoptar medidas kaizen para eliminar continuamente los desperdicios, reducir los tamaños de lotes y supermercados y ampliar las zonas de flujo continuo.

# CAPÍTULO 5

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Medición de Indicadores

Luego de establecer las mejoras en el proceso de fabricación de tanques rotomoldeados para almacenamiento de agua, se debe medir el impacto que las técnicas esbeltas utilizadas tendrán en el proceso productivo, y así determinar cuales expectativas planteadas inicialmente fueron logradas. En la tabla 24 se muestra el impacto esperado por cada indicador.

La creación y uso de una estrategia de mantenimiento preventivo, el aumento del coeficiente de rendimiento de las máquinas, la reducción del tiempo de ciclo y la estandarización de los métodos de trabajo con el entrenamiento cruzado, significarán grandes beneficios para la empresa.

Con las mejoras planteadas en el proceso productivo se espera obtener una disminución en el tiempo de ciclo total del 44.87%, una disminución en el tiempo de ciclo ideal aproximadamente de 25.54%, y un aumento promedio en la fiabilidad de las máquinas de 25%. Al igual que una reducción considerable de la sobreproducción e inventarios entre estaciones de trabajo.

**TABLA 24**  
**IMPACTO DESPUÉS DE LAS MEJORAS**

<i>Medidas</i>	<i>Actual</i>	<i>Expectativas</i>	<i>Después de las mejoras</i>	<i>Impacto</i>
<b>PRODUCCIÓN</b>				
Pulverizado	3850 kg/día	4560 kg/día	4800 Kg/día	√
Mezclado	3500 kg/día	4830 kg/día	3840 kg/día	X
Producto terminado	26 tanques/día	32 tanques/día	37 tanques/día	√
<b>CALIDAD</b>				
Pulverizado	1.29% desperdicio/día	0.50% desperdicio/día	0.38% desperdicio/día	√
Mezclado	0.71% desperdicio/día	0.25% desperdicio/día	0.10% desperdicio/día	√
Producto terminado	7.69% desperdicio/día	2.94% desperdicio/día	2.70% desperdicio/día	√
<b>TIEMPO DE CICLO DEL PROCESO</b>				
Producto terminado	33.2 días/lote	20 días/lote	18.3 días/lote	√

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 24 se puede determinar que el indicador de producción se podrá lograr parcialmente. En las mejoras planteadas se estableció que el área de pulverizado y mezclado trabajen un turno de 8 horas durante el día, cuando anteriormente laboraban 3 turnos de 4 horas cada uno, equivalente a 12 horas de trabajo por día. Para efectos de comparación, el indicador de producción de pulverizado

y mezclado después de las mejoras es calculado obteniendo el rendimiento de las máquinas en kg/h de sus respectivos tiempos de ciclo mostrados en el VSM de la figura 4.14 y proyectado a 12 horas de trabajo por día, cuyos valores son 4800 kg/día y 3840 kg/día respectivamente según se muestra en la tabla 24.

Mediante la utilización de la técnica TPM se desea aumentar la fiabilidad de las máquinas reduciendo significativamente los paros no programados ocasionados por fallas eléctrico-mecánicas, esto estará reflejado en los indicadores de producción, donde anteriormente se pulverizaba 3850 kg/día y con las mejoras implantadas se pulverizará 4800 kg/día, aumentando un 24.67%. Se fabricaban 26 tanques por día y se fabricará 37 tanques por día aumentando aproximadamente un 42.30% la producción, esto se debe a la eliminación de tiempos muertos y estandarización de trabajo en las operaciones manuales elaboradas por los operadores con la implementación del entrenamiento cruzado. En el área de mezclado se podrá aumentar la producción de 3500 kg/día a 3840 kg/día es decir un 9.71% pero no será suficiente para cumplir con la expectativa de 4830 kg/día planteada inicialmente, esto se puede mejorar disminuyendo el tiempo de ciclo de la mezcla, lo cual deberá probarse en varias etapas hasta donde los requisitos de calidad de la mezcla lo permitan.

En el indicador de calidad se espera disminuir considerablemente el porcentaje de desperdicio con relación a la producción diaria, cumpliendo con la totalidad de expectativas planteadas antes de las mejoras, esto será obtenido por medio de las capacitaciones dictadas a los operadores sobre el trabajo en equipo, control de calidad y manipulación de materiales. Además con la técnica TPM, al desarrollar en los trabajadores el mantenimiento autónomo e inspección diaria o checklist, y la estrategia de mantenimiento planificado se detectará a tiempo daños en los discos del pulverizador y las cuchillas de la mezcladora, garantizando de esta forma que la partícula del material sea del tamaño adecuado y el compuesto sea homogéneo en color y forma, para así obtener un producto final de calidad.

En el tercer indicador, con las mejoras planteadas se espera disminuir el tiempo de ciclo del proceso de 33.2 días/lote a 18.3 días/lote, es decir un 44.87% del tiempo inicial, cumpliendo de esta forma con la expectativa planteada de 20 días/lote. Adicionalmente con la ayuda del TPM se disminuirá el tiempo de ciclo ideal de 65.5 minutos/tanque a 48.77 minutos/tanque. Existe la posibilidad de realizar un estudio de tiempos y movimientos de las operaciones manuales elaboradas por los trabajadores de la planta en el área de rotomoldeo y acabado manual, e identificar las actividades que no agregan valor para luego eliminar las que sean posibles.

## 5.2 Análisis Costo – Beneficio

Luego de detallar cada una de las técnicas de mejora, se realiza el análisis de costo-beneficio para determinar la viabilidad de las alternativas planteadas y el tiempo en que se recuperará la inversión. El objetivo fundamental de este análisis es proporcionar una medida de rentabilidad mediante la comparación de los costos incurridos con los beneficios esperados en la realización del presente trabajo. En las siguientes tablas se muestran los beneficios y ahorros esperados y además los costos a incurrirse en cada técnica propuesta.

**TABLA 25**  
**COSTO HORA - HOMBRE**

<b>COSTO HORA - HOMBRE</b>	<b>OPERADOR</b>	<b>SUPERVISOR</b>	<b>SUPERINTENDENTE</b>
Sueldo / mes	292,00	650,00	2100,00
Días laborables	30	30	30
Horas / día	8	8	8
Sueldo / día	9,73	21,67	70,00
Sueldo / hora	1,22	2,71	8,75
Hora sobretiempo (pasado de las 8 horas)	1,83	.....	.....
Hora sobretiempo (sábados y domingos)	2,43	.....	.....

Las mejoras esperadas correspondientes a la aplicación de TPM son: eliminación de paros no programados y aumento de productividad en las estaciones de pulverizado; mezclado y rotomoldeo, lo cual se ve reflejado en la disminución de horas trabajadas para el cumplimiento de

las metas de producción. En el capítulo 4 se determinó que 340 horas al mes se pierden por paradas no programadas. (Ver anexo G).

**TABLA 26**  
**AHORRO MENSUAL (PAROS NO PROGRAMADOS ELIMINADOS)**

ÁREA	TARIFA HORA DE PRODUCCIÓN (\$)	HORAS DE AHORRO MENSUAL	AHORRO MENSUAL TOTAL (\$)
Pulverizado	13,73	102	1400,46
Mezclado	8,77	92	806,84
Rotomoldeo	38,11	146	5564,06
<b>TOTAL</b>	<b>60,61</b>	<b>340</b>	<b>7771,36</b>

La empresa labora los 30 días del mes esto involucra trabajar 64 horas de sobretiempo (sábados y domingos), por lo tanto el ahorro total mensual por reducción de personal es la suma del sueldo básico y el sueldo pagado por sobretiempo tal como se muestra en la tabla 27.

**TABLA 27**  
**AHORRO MENSUAL POR REDUCCIÓN DE PERSONAL**

SUELDO MENSUAL DE OPERADOR (\$)	# OPERADORES	# HORAS SOBRETUempo (Sábado y Domingo)	COSTO DE SOBRETUempo X HORA (Sábado y Domingo)	AHORRO MENSUAL TOTAL (\$)
292,00	3	192	2,43	1343,2

**TABLA 28**  
**AHORRO MENSUAL POR AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD**

ÁREA	TARIFA HORA DE PRODUCCIÓN (\$)	HORAS DE AHORRO MENSUAL	AHORRO MENSUAL TOTAL (\$)
Pulverizado	13,73	88,83	1219,64
Mezclado	8,77	34,97	306,69
Rotomoldeo	38,11	304,61	11608,69
<b>TOTAL</b>	<b>60,61</b>	<b>428,41</b>	<b>13135,01</b>

Para calcular el ahorro mensual por disminución de desperdicios, se obtiene la diferencia entre los porcentajes de desperdicios actual y después de las mejoras de la tabla 24 y se lo convierte en kilogramos tomando como referencia el indicador de producción. Se debe considerar que al disminuir el porcentaje de desperdicio por defectos de calidad existe ahorro en el tiempo de producción y/o reproceso y se calcula multiplicando la cantidad de horas ahorradas y la tarifa de producción por hora. Estos cálculos se muestran en la tabla 29.

**TABLA 29**  
**AHORRO MENSUAL POR DISMINUCIÓN DE DESPERDICIOS**

ÁREA	TARIFA HORA DE PRODUCCIÓN (\$)	COSTO DEL KILO DE MATERIAL (\$)	AHORRO MENSUAL # KILOS	AHORRO MENSUAL DE HORAS DE PRODUCCIÓN	AHORRO MENSUAL TOTAL (\$)
Pulverizado	13,73	1,73	1310,40	3,28	2312,03
Mezclado	8,77	1,77	702,72	2,20	1263,07
Rotomoldeo	38,11	2,39	796,15	25,88	2889,09
<b>TOTAL</b>	<b>60,61</b>			<b>31,36</b>	<b>6464,19</b>

**TABLA 30**  
**AHORRO MENSUAL TOTAL ESPERADO**

CARACTERÍSTICA	AHORRO MENSUAL TOTAL (\$)
Eliminación de paros no programados	7771,36
Reducción de personal	1343,20
Aumento de productividad	13135,01
Disminución de desperdicios	6464,19

**TOTAL      \$ 28.713,76**

**TABLA 31**  
**COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE TPM**

COSTOS		VALOR
Reparación durante la Restauración de equipos	Utilización de Horas - Hombre	87,60
	Materiales y repuestos utilizados	650,00
Calibración de Contrapesos de Moldes	Costo de Operación	5500,00
	Paro programado para Operación	2743,92
Calibración de Sensores del Quemador de la Rotomoldeadora	Costo de Operación	1800,00
	Paro programado para Operación	457,32
Compra de Repuestos Inventariables (ver anexo L)		46755,00
Paro programado por Mantenimiento Preventivo		7653,66
Mantenimiento Predictivo INSERCRUZ S.A.	Costo de Operación	2400,00
<b>TOTAL</b>		<b>68047,50</b>

Para el cálculo de los costos en la implementación de la técnica de trabajo en equipo y entrenamiento cruzado se debe considerar que la empresa dicta las capacitaciones luego de las 8 horas de trabajo por lo tanto deben ser consideradas como horas de sobretiempo.

**TABLA 32**  
**COSTO DE PERSONAL A CAPACITARSE CON ENTRENAMIENTO CRUZADO**

DESCRIPCIÓN DE PERSONAL A CAPACITARSE	# PERSONAS A CAPACITARSE	# HORAS POR PERSONA	SUELDO/HORA	TOTAL (\$)
Operadores	21	20	1,83	768,60
Supervisor	1	20	2,71	54,20
Superintendente	1	20	8,75	175,00
<b>TOTAL</b>				<b>997,80</b>

**TABLA 33**  
**COSTO DE FACILITADOR**

<b>COSTO DEL FACILITADOR</b>	<b># HORAS DE CAPACITACIÓN</b>	<b>COSTO POR HORA DE CAPACITACIÓN (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
	60	45	2700

**TABLA 34**  
**COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICA ENTRENAMIENTO CRUZADO**

<b>CONCEPTO ASOCIADO AL RUBRO</b>	<b>COSTO (\$)</b>
Capacitación del personal	997,80
Facilitador	2700,00
Papelería	60,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3.757,80</b>

**TABLA 35**  
**COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MEJORAS PROPUESTAS**

<b>TÉCNICA PROPUESTA</b>	<b>COSTO</b>
TPM	68047,50
Entrenamiento Cruzado	3757,80
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 71.805,30</b>

Mediante estos valores se procedió a elaborar el flujo de caja para determinar si la implementación de las metodologías propuestas es rentable para la empresa. En el anexo P se observa el flujo de caja a un

año con sus respectivos ingresos y egresos, así como los resultados del VAN y TIR obtenidos (tabla 36).

La proyección del flujo de caja constituye uno de los elementos más importantes de este estudio porque en base a sus resultados se evalúa la rentabilidad del estudio a través de dos indicadores básicos: la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN).

**TABLA 36**  
**EVALUACIÓN FINANCIERA**

VAN	59059,81
TIR	17%
TMAR	12%

Con los resultados obtenidos se determinó que el monto de inversión requerido para la implementación de las dos técnicas esbeltas es \$ 71805.30, el mismo que se espera recuperar aproximadamente en cuatro meses. Siendo el TIR mayor a la tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) y el valor actual neto mayor a 0, se concluye que la implementación de ambas metodologías será rentable.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Se realizó la descripción de la situación actual donde se desarrolla el proceso de fabricación de tanques rotomoldeados mediante los diagramas de flujo de las áreas de mezclas y horno.

Mediante la aplicación de la metodología de producción esbelta, entrevistas con el supervisor del área y mapeo de la cadena de valor del proceso, se lograron identificar los principales problemas que afectan el sistema de producción de tanques rotomoldeados.

Se identificaron los tipos de desperdicios presentes en la línea de producción mediante la elaboración de instrumentos de entrevistas a los

trabajadores involucrados en el proceso, priorizando aquellos que representaban mayor problema, de acuerdo a la metodología de producción esbelta.

Se establecieron propuestas de mejoras mediante la selección de técnicas de producción esbelta para eliminar los desperdicios encontrados en el proceso

Se elaboró un plan de mejoras y mediante el desarrollo de los mismos se espera generar grandes beneficios para la empresa, a través de TPM reducir considerablemente los paros no programados ocasionados por fallas eléctrico-mecánicas estableciendo una estrategia de mantenimiento preventivo y con el trabajo en equipo y entrenamiento cruzado aumentar la productividad de la planta mediante la participación de los trabajadores en el proceso.

Se establecieron indicadores y se determinaron las propuestas de mejoras en el área de pulverizado, mezclado y rotomoldeo, de los cuales se espera mejorar: el indicador de producción, el indicador de calidad y el indicador de tiempo de ciclo del proceso.

Mediante el análisis costo – beneficio y a través de la elaboración de un flujo de caja se observan los ahorros generados mensualmente por las mejoras propuestas y los resultados del VAN y el TIR muestran que la

implementación de TPM y Entrenamiento Cruzado son justificables y reportan altos beneficios y ahorros para la empresa.

Finalmente, se logró plantear mejoras para disminuir el desperdicio y aumentar la productividad en el proceso de fabricación de tanques rotomoldeados mediante la utilización de técnicas de producción esbelta.

## **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda promover motivación permanente mediante charlas e interacción personal entre miembros de la empresa, con la finalidad que el entusiasmo de los trabajadores no decaiga.

Se sugiere complementar las técnicas propuestas en el proceso con un estudio de tiempos y movimientos para optimizar las actividades realizadas por los operadores, principalmente en las estaciones de trabajo de rotomoldeo y acabado manual e impresión de logotipo.

Se deberá mejorar la comunicación interna entre los departamentos de mantenimiento y producción, con el fin de lograr un compromiso de ejecución de los mantenimientos en las fechas programados, de esta forma no perder la planificación ni extender los períodos de realización para no afectar el proceso productivo.

El supervisor de producción debe dar todo el soporte necesario para que el mantenimiento autónomo y preventivo se convierta en una cultura para todo el personal y debe participar de todas las actividades propuestas principalmente en aquellas donde se evidencie los beneficios del TPM.

Finalmente, se recomienda continuar aplicando la metodología de producción esbelta para la eliminación de desperdicios, es importante que se planteen metas ambiciosas con la finalidad de desarrollar una cultura de mejora continua.

# **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**DATOS DE PRODUCCIÓN**  
**FEBRERO 2012**

# DÍA	I TURNO			II TURNO			III TURNO		
	PULVERIZADO (KG)	MEZCLADO (KG)	TANQUES PRODUCIDOS	PULVERIZADO (KG)	MEZCLADO (KG)	TANQUES PRODUCIDOS	PULVERIZADO (KG)	MEZCLADO (KG)	TANQUES PRODUCIDOS
1	1330	1200	8	1330	1200	10	1200	1115	10
2	1500	1210	10	1500	1100	9	1000	500	9
3	1250	800	10	1500	1200	10	1500	1200	10
4	1330	1320	6	1330	1200	8	1330	1200	8
5	1330	0	8	1330	0	8	1330	1100	10
6	1330	1300	8	1330	1200	8	1330	1200	8
7	1330	1200	8	1330	1200	8	1330	1200	8
8	1330	1200	9	1330	1200	8	1330	1115	7
9	1330	1200	9	1330	1110	10	1330	1115	10
10	1330	1200	8	1330	1200	12	1330	1115	10
11	1500	1200	8	1200	1200	10	1200	1115	12
12	0	1200	10	1330	1200	10	1330	1115	10
13	1450	1226	8	1330	1200	8	0	1200	12
14	0	1400	9	1420	1200	11	1500	1200	12
15	1400	1400	10	1200	1200	10	1330	1115	10
16	1330	1400	11	1300	1350	10	1330	1115	10
17	1100	1200	12	1450	1200	10	1330	1115	10
18	1330	1200	10	1330	1200	12	1330	1115	10
19	1250	1200	10	1450	1200	10	1250	1200	10
20	1400	1200	8	780	1200	0	1500	1200	0
21	1220	1200	0	1330	1200	10	1220	1320	10
22	1500	1200	10	1500	1200	10	1500	1115	10
23	1500	1200	8	1500	1100	8	1150	1115	8
24	1150	1220	10	500	1200	9	1550	1320	8
25	1500	1320	10	1500	1200	10	1500	1115	0
26	1225	1400	0	1330	1200	10	1400	1450	8
27	1330	1150	10	1250	1200	9	1400	1115	9
28	900	1200	12	1330	1350	10	1330	1115	8
29	1400	1200	10	1330	1200	8	1330	1500	8
30	1400	1200	0	1400	1200	0	1330	1115	10

PROMEDIO POR TURNO:

1243	1185	8	1313	1160	9	1294	1154	9
------	------	---	------	------	---	------	------	---

PROMEDIO POR DÍA:

PULVERIZADO	3850
-------------	------

MEZCLADO	3500
----------	------

TANQUES	26
---------	----

**ANEXO B**  
**DATOS DE DESPERDICIOS (SCRAP)**  
**FEBRERO 2012**

# DÍA	I TURNO			II TURNO			III TURNO		
	PULVERIZADO (KG)	MEZCLADO (KG)	TANQUES	PULVERIZADO (KG)	MEZCLADO (KG)	TANQUES	PULVERIZADO (KG)	MEZCLADO (KG)	TANQUES
1	10	0	2	10	25	0	30	5	0
2	0	0	0	0	5	1	50	25	1
3	35	25	0	0	0	0	0	0	0
4	15	0	4	15	0	2	15	0	2
5	15	0	2	15	18	2	15	10	0
6	10	25	0	25	0	0	25	0	0
7	10	0	2	10	35	0	10	0	0
8	15	0	1	20	15	2	25	5	2
9	20	0	1	20	5	0	20	5	0
10	20	25	2	20	0	0	20	0	0
11	0	0	2	25	15	0	25	5	0
12	0	15	0	15	0	0	15	5	0
13	0	0	2	20	19	1	0	0	0
14	0	20	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	25	0	0	20	10	0
16	25	0	0	25	0	0	25	10	0
17	40	0	0	0	25	0	10	10	0
18	15	15	0	15	0	0	15	15	0
19	60	25	0	0	15	0	25	0	0
20	0	0	2	50	15	0	0	0	0
21	40	10	0	15	0	1	25	0	1
22	0	15	0	0	0	0	0	15	0
23	0	0	2	0	20	2	45	15	2
24	45	0	0	50	20	1	0	0	2
25	0	20	0	0	10	0	0	10	0
26	40	0	0	20	25	0	0	0	2
27	15	15	0	15	0	1	0	15	1
28	60	20	0	20	10	0	50	10	2
29	0	30	0	15	15	2	15	0	2
30	25	0	0	25	0	0	25	15	0

PROMEDIO POR TURNO:

17	9	1	16	10	0	17	6	1
----	---	---	----	----	---	----	---	---

PROMEDIO POR DÍA:

PULVERIZADO	50
-------------	----

MEZCLADO	25
----------	----

TANQUES	2
---------	---

**ANEXO C**  
**CUESTIONARIO DE PREGUNTAS PARA LA REUNIÓN CON EL  
SUPERVISOR DE PRODUCCIÓN**

- ¿Cómo es el proceso de producción?
- ¿Quién toma la decisión en el proceso de producción?
- ¿Existe buen flujo de información entre el supervisor y los trabajadores?
- ¿Están siendo utilizados correctamente los trabajadores en la planta?
- ¿Cuándo existe ausencia de un trabajador que acción se toma?
- ¿Qué tan bien está balanceada la línea de producción?
- ¿Existen productos defectuosos?
- ¿Cómo se realiza el almacenamiento de la materia prima y el producto terminado?
- ¿Tiene suficiente espacio para el inventario de materia prima y producto terminado?
- ¿Cree que el tiempo de puesta a punto de la máquina es un problema?
- ¿Las paradas no programadas de máquina son un problema?
- ¿Todo el personal usa las mismas políticas de producción?



## ANEXO D

### INSTRUMENTO DE ENTREVISTA

Fecha: 21/02/2012  
 Área: Rotomoldeo

#### INSTRUMENTO DE ENTREVISTA

##### PROCESO

- 1 ¿Está bien distribuida la carga de trabajo entre los operadores?  

Pobre	Mediano	Bueno
-------	---------	-------

Operadores antiguos trabajan menos

---

- 2 ¿Siempre logran producir la cantidad de productos propuestos en el día?  

Nunca	A veces	Siempre
-------	---------	---------

El indicador Kg/h aparece en rojo todos los días

---

- 3 ¿Están las partes esperando a ser procesadas entre las estaciones de trabajo?  

Nunca	A veces	Siempre
-------	---------	---------

---

- 4 ¿Hay productos defectuosos en el proceso?  

Nunca	A veces	Siempre
-------	---------	---------

---

- 5 ¿Por lo general espera mucho tiempo el producto en la línea por falta de materia prima?  

Nunca	A veces	Siempre
-------	---------	---------

---

- 6 ¿Existe a menudo productos defectuosos debido a fallas en las máquinas?  

Nunca	A veces	Siempre
-------	---------	---------

---

- 7 ¿Existe contaminación del material al transportarlo del pulverizador a la mezcladora?  

Nunca	A veces	Siempre
-------	---------	---------

---

- 8 ¿Son los productos terminados y el compuesto producidos en grandes cantidades antes de ser requeridos por el próximo proceso?  

Nunca	A veces	Siempre
-------	---------	---------

Para garantizar material en caso de dañarse el pulverizador

---

- 9 ¿Cómo son transportados los productos terminados hacia la bodega, por los operadores o utilizan algún tipo de transporte? Y ¿Por qué?  
Sí, por el peso del rack donde se almacenan los tanques se requiere montacargas

---

- 10 ¿Qué tan lejos está la bodega de producto terminado?  

Muy lejos	Mas o menos lejos	Suficiente cerca
-----------	-------------------	------------------



**ANEXO E**  
**DATOS DE TIEMPO DE CICLO**  
**FEBRERO 2012**

# DÍA	I TURNO		II TURNO		III TURNO	
	PULVERIZADO (KG)	MEZCLADO (KG)	PULVERIZADO (KG)	MEZCLADO (KG)	PULVERIZADO (KG)	MEZCLADO (KG)
1	1340	1200	1340	1225	1230	1120
2	1500	1210	1500	1105	1050	525
3	1285	825	1500	1200	1500	1200
4	1345	1320	1345	1200	1345	1200
5	1345	1300	1345	1218	1345	1110
6	1340	1225	1355	1200	1355	1200
7	1340	1200	1340	1235	1340	1200
8	1345	1200	1350	1125	1355	1120
9	1350	1200	1350	1205	1350	1120
10	1520	1225	1220	1200	1350	1115
11	1450	1226	1355	1215	1225	1120
12	1400	1415	1345	1200	1345	1120
13	1330	1400	1440	1219	1500	1200
14	1100	1220	1200	1200	1330	1115
15	1330	1200	1325	1350	1350	1125
16	1355	1400	1225	1200	1355	1125
17	1140	1200	1300	1375	1340	1125
18	1345	1215	1465	1200	1345	1130
19	1310	1225	1330	1215	1275	1200
20	1400	1200	1500	1215	1500	1200
21	1260	1210	795	1200	1245	1320
22	1500	1215	1330	1200	1500	1130
23	1500	1200	1500	1220	1195	1130
24	1195	1220	1550	1120	1550	1320
25	1500	1340	500	1210	1500	1125
26	1265	1400	1520	1225	1400	1450
27	1345	1165	1345	1200	1400	1130
28	960	1220	1270	1210	1380	1125
29	1400	1230	1345	1345	1345	1500
30	1425	1200	1355	1200	1355	1130

PROMEDIO POR TURNO:

1341	1234	1321	1214	1355	1158
------	------	------	------	------	------

PROMEDIO POR DÍA:

PULVERIZADO	4017
-------------	------

MEZCLADO	3606
----------	------

TAKT TIME POR CADA 50 KG:

PULVERIZADO	9 minutos
-------------	-----------

MEZCLADO	10 minutos
----------	------------

**ANEXO E**  
**DATOS DE TIEMPO DE CICLO**  
**FEBRERO 2012**

# DÍA	TIEMPO DE ACTIVIDADES DE ROTOMOLDEO EN MINUTOS								
	TIEMPO DE HORNO	TIEMPO DE ENFRIAMIENTO	CARGA DE MATERIAL	COLOCAR TAPA DE MOLDE	QUITAR TAPA DE MOLDE	DESMOLDEO DE TANQUE	DESMOLDEO DE TAPA DE TANQUE	ACABADO MANUAL	IMPRESIÓN LOGOTIPO
1	18	18	5	22	16	5	14	5	2
2	18	18	12	25	20	5	6	8	1
3	18	18	10	17	12	9	9	4	2
4	18	18	9	21	10	6	8	5	2
5	18	18	6	14	10	8	12	9	1
6	18	18	12	25	18	15	10	5	1
7	18	18	12	19	19	19	9	8	1
8	18	18	17	22	25	8	9	5	2
9	18	18	22	23	10	8	11	7	2
10	18	18	10	20	16	8	10	7	3
11	18	18	7	18	13	14	6	8	2
12	18	18	7	30	18	5	4	5	2
13	18	18	7	15	10	5	7	8	2
14	18	18	7	33	23	15	10	5	2
15	18	18	9	28	24	8	14	7	2
16	18	18	11	23	17	8	9	3	4
17	18	18	10	25	14	10	9	4	1
18	18	18	8	35	18	7	9	8	1
19	18	18	9	23	22	7	6	8	1
20	18	18	11	21	20	9	8	4	2
21	18	18	10	20	33	7	8	3	2
22	18	18	17	19	22	7	10	2	2
23	18	18	12	25	15	12	9	2	2
24	18	18	19	25	10	12	7	2	3
25	18	18	11	25	9	10	7	5	2
26	18	18	16	22	9	8	9	9	3
27	18	18	11	21	10	9	15	9	2
28	18	18	10	28	12	10	10	10	3
29	18	18	12	25	15	8	7	8	2
30	18	18	11	21	10	8	8	7	3

PROMEDIO DE DATOS OBTENIDOS:

18	18	11	23	16	9	9	6	2
----	----	----	----	----	---	---	---	---

TIEMPO DE CICLO DE UNA ROTACIÓN ( 2 TANQUES CON 2 TAPAS) + TAKT TIME (PULVERIZADOR-MEZCLADORA): 112 MINUTOS + 19 MINUTOS = 131 MINUTOS

TIEMPO DE CICLO DEL PROCESO (TANQUE CON TAPA): 65.5 MINUTOS

**ANEXO F**  
**ANÁLISIS DE CONDICION ACTUAL DEL EQUIPO**

ANÁLISIS DE CONDICIÓN ACTUAL DE EQUIPOS	
GRUPO: <u>1</u>	EQUIPO: <u>PULVERIZADOR</u>
FECHA: <u>12/03/2012</u>	EVALUADO POR: <u>EQUIPO TPM</u>
OBSERVACIONES:	<u>Falta lubricación en sistema de cadenas.</u> <u>Discos de pulverizado desgastados</u> <u>Pernos se encuentran doblados y fatigados</u>
LIMPIEZA:	<u>Mallas de tamizador sucias</u> <u>Motores y bomba de succión sucias</u>
COMODIDAD DE OPERACIÓN:	<u>Buena</u>
SEGURIDAD:	<u>Buena</u>

ANÁLISIS DE CONDICIÓN ACTUAL DE EQUIPOS	
GRUPO: <u>2</u>	EQUIPO: <u>MEZCLADORA</u>
FECHA: <u>12/03/2012</u>	EVALUADO POR: <u>EQUIPO TPM</u>
OBSERVACIONES:	<u>Cables eléctricos sin revestimiento</u> <u>Seguridad de tapa dañada</u> <u>Cuchillas de olla dobladas</u>
LIMPIEZA:	<u>Motor lleno de polvo de polietileno</u> <u>dispositivos eléctricos lleno de polvo</u>
COMODIDAD DE OPERACIÓN:	<u>Buena</u>
SEGURIDAD:	<u>Buena</u>

ANÁLISIS DE CONDICIÓN ACTUAL DE EQUIPOS	
GRUPO: <u>3</u>	EQUIPO: <u>ROTOMOLDEADORA</u>
FECHA: <u>12/03/2012</u>	EVALUADO POR: <u>EQUIPO TPM</u>
OBSERVACIONES:	<u>Sistema de cadenas sin lubricación</u> <u>Goteo de aceite del motor reductor</u> <u>Pernos doblados con hilos desgastados</u>
LIMPIEZA:	<u>Sistema de carro del brazo con polvo</u> <u>Bridas de brazos con material plastificado</u>
COMODIDAD DE OPERACIÓN:	<u>Regular</u>
SEGURIDAD:	<u>Buena</u>

## ANEXO G

### DATOS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE DISPONIBILIDAD

<b>DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO</b>				
<b>PULVERIZADOR</b>				
<b># DIA</b>	<b>Tiempo disponible (TD) (Horas)</b>	<b>Tiempo de carga (TC) (Horas)</b>	<b>Tiempo operativo (TO) (Horas)</b>	<b>Coefficiente de disponibilidad (D)</b>
1	12	12	10	0,8
2	12	12	8	0,7
3	12	12	8	0,7
4	12	12	8	0,7
5	12	12	6	0,5
6	12	12	8	0,7
7	12	12	11	0,9
8	12	12	9	0,8
9	12	12	8	0,7
10	12	12	8	0,7
11	12	12	8	0,7
12	12	12	9	0,8
13	12	12	11	0,9
14	12	12	8	0,7
15	12	12	6	0,5
16	12	12	11	0,9
17	12	12	12	1,0
18	12	12	8	0,7
19	12	12	7	0,6
20	12	12	8	0,7
21	12	12	8	0,7
22	12	12	7	0,6
23	12	12	8	0,7
24	12	12	8	0,7
25	12	12	12	1,0
26	12	12	8	0,7
27	12	12	8	0,7
28	12	12	10	0,8
29	12	12	12	1,0
30	12	12	5	0,4

PROMEDIO	0,7
----------	-----

## ANEXO G

### DATOS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE DISPONIBILIDAD

DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				
MEZCLADORA				
# DIA	Tiempo disponible (TD) (Horas)	Tiempo de carga (TC) (Horas)	Tiempo operativo (TO) (Horas)	Coefficiente de disponibilidad (D)
1	12	12	8	0,7
2	12	12	6	0,5
3	12	12	10	0,8
4	12	12	10	0,8
5	12	12	12	1,0
6	12	12	8	0,7
7	12	12	10	0,8
8	12	12	6	0,5
9	12	12	11	0,9
10	12	12	12	1,0
11	12	12	10	0,8
12	12	12	12	1,0
13	12	12	12	1,0
14	12	12	12	1,0
15	12	12	12	1,0
16	12	12	0	0,0
17	12	12	0	0,0
18	12	12	0	0,0
19	12	12	10	0,8
20	12	12	12	1,0
21	12	12	12	1,0
22	12	12	12	1,0
23	12	12	8	0,7
24	12	12	9	0,8
25	12	12	12	1,0
26	12	12	9	0,8
27	12	12	8	0,7
28	12	12	9	0,8
29	12	12	12	1,0
30	12	12	4	0,3

PROMEDIO

0,7

## ANEXO G

### DATOS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE DISPONIBILIDAD

DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO				
ROTOMOLDEADORA				
# DIA	Tiempo disponible (TD) (Horas)	Tiempo de carga (TC) (Horas)	Tiempo operativo (TO) (Horas)	Coefficiente de disponibilidad (D)
1	24	24	20	0,8
2	24	24	12	0,5
3	24	24	18	0,8
4	24	24	14	0,6
5	24	24	22	0,9
6	24	24	24	1,0
7	24	24	20	0,8
8	24	24	23	1,0
9	24	24	22	0,9
10	24	24	16	0,7
11	24	24	10	0,4
12	24	24	12	0,5
13	24	24	18	0,8
14	24	24	23	1,0
15	24	24	24	1,0
16	24	24	22	0,9
17	24	24	18	0,8
18	24	24	16	0,7
19	24	24	19	0,8
20	24	24	20	0,8
21	24	24	24	1,0
22	24	24	18	0,8
23	24	24	20	0,8
24	24	24	19	0,8
25	24	24	22	0,9
26	24	24	20	0,8
27	24	24	22	0,9
28	24	24	18	0,8
29	24	24	20	0,8
30	24	24	18	0,8

PROMEDIO	0,8
----------	-----

**ANEXO H**  
**DATOS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE EFECTIVIDAD**

<b>EFFECTIVIDAD DEL EQUIPO</b>							
<b>PULVERIZADOR</b>							
<b># DIA</b>	<b>Tiempo operativo (TO) (Horas)</b>	<b>Tiempo operativo real (TOR) (Horas)</b>	<b>Tiempo de ciclo ideal (CI) (Horas)</b>	<b>Tiempo de ciclo real (CR) (Horas)</b>	<b>Coefficiente de operatividad por paros (OP)</b>	<b>Coefficiente de operatividad del ciclo (OC)</b>	<b>Efectividad (E)</b>
1	10	10	0,0025	0,0031	1,0	0,8	0,8
2	8	8	0,0025	0,0030	1,0	0,8	0,8
3	8	8	0,0025	0,0028	1,0	0,9	0,9
4	8	8	0,0025	0,0030	1,0	0,8	0,8
5	6	6	0,0025	0,0030	1,0	0,8	0,8
6	8	8	0,0025	0,0030	1,0	0,8	0,8
7	11	10	0,0025	0,0030	0,9	0,8	0,8
8	9	9	0,0025	0,0030	1,0	0,8	0,8
9	8	8	0,0025	0,0030	1,0	0,8	0,8
10	8	8	0,0025	0,0029	1,0	0,9	0,9
11	8	8	0,0025	0,0028	1,0	0,9	0,9
12	9	9	0,0025	0,0033	1,0	0,8	0,8
13	11	11	0,0025	0,0030	1,0	0,8	0,8
14	8	8	0,0025	0,0030	1,0	0,8	0,8
15	6	6	0,0025	0,0032	1,0	0,8	0,8
16	11	11	0,0025	0,0029	1,0	0,9	0,9
17	12	11	0,0025	0,0031	0,9	0,8	0,7
18	8	8	0,0025	0,0027	1,0	0,9	0,9
19	7	7	0,0025	0,0036	1,0	0,7	0,7
20	8	8	0,0025	0,0028	1,0	0,9	0,9
21	8	8	0,0025	0,0029	1,0	0,9	0,9
22	7	7	0,0025	0,0028	1,0	0,9	0,9
23	8	8	0,0025	0,0034	1,0	0,7	0,7
24	8	8	0,0025	0,0029	1,0	0,9	0,9
25	12	12	0,0025	0,0029	1,0	0,9	0,9
26	8	8	0,0025	0,0033	1,0	0,8	0,8
27	8	8	0,0025	0,0029	1,0	0,9	0,9
28	10	10	0,0025	0,0029	1,0	0,9	0,9
29	12	12	0,0025	0,0029	1,0	0,9	0,9
30	5	5	0,0025	0,0029	1,0	0,9	0,9

PROMEDIO	0,83
----------	------

**ANEXO H**  
**DATOS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE EFECTIVIDAD**

<b>EFFECTIVIDAD DEL EQUIPO</b>							
<b>MEZCLADORA</b>							
<b># DIA</b>	<b>Tiempo operativo (TO) (Horas)</b>	<b>Tiempo operativo real (TOR) (Horas)</b>	<b>Tiempo de ciclo ideal (CI) (Horas)</b>	<b>Tiempo de ciclo real (CR) (Horas)</b>	<b>Coefficiente de operatividad por paros (OP)</b>	<b>Coefficiente de operatividad del ciclo (OC)</b>	<b>Efectividad (E)</b>
1	8	8	0,0030	0,0034	1,0	0,9	0,9
2	6	6	0,0030	0,0042	1,0	0,7	0,7
3	10	10	0,0030	0,0037	1,0	0,8	0,8
4	10	10	0,0030	0,0032	1,0	0,9	0,9
5	12	12	0,0030	0,0033	1,0	0,9	0,9
6	8	8	0,0030	0,0033	1,0	0,9	0,9
7	10	10	0,0030	0,0033	1,0	0,9	0,9
8	6	6	0,0030	0,0035	1,0	0,9	0,9
9	11	11	0,0030	0,0034	1,0	0,9	0,9
10	12	12	0,0030	0,0034	1,0	0,9	0,9
11	10	10	0,0030	0,0034	1,0	0,9	0,9
12	12	12	0,0030	0,0032	1,0	0,9	0,9
13	12	12	0,0030	0,0031	1,0	1,0	1,0
14	12	12	0,0030	0,0033	1,0	0,9	0,9
15	12	12	0,0030	0,0032	1,0	0,9	0,9
16	12	12	0,0030	0,0032	1,0	0,9	0,9
17	12	11	0,0030	0,0034	0,9	0,9	0,8
18	12	11	0,0030	0,0033	0,9	0,9	0,8
19	10	10	0,0030	0,0033	1,0	0,9	0,9
20	12	12	0,0030	0,0032	1,0	0,9	0,9
21	12	12	0,0030	0,0034	1,0	0,9	0,9
22	12	12	0,0030	0,0034	1,0	0,9	0,9
23	8	8	0,0030	0,0033	1,0	0,9	0,9
24	9	9	0,0030	0,0033	1,0	0,9	0,9
25	12	12	0,0030	0,0029	1,0	1,0	1,0
26	9	9	0,0030	0,0034	1,0	0,9	0,9
27	8	8	0,0030	0,0034	1,0	0,9	0,9
28	9	9	0,0030	0,0034	1,0	0,9	0,9
29	12	12	0,0030	0,0029	1,0	1,0	1,0
30	4	4	0,0030	0,0034	1,0	0,9	0,9

<b>PROMEDIO</b>	<b>0,90</b>
-----------------	-------------

**ANEXO H**  
**DATOS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE EFECTIVIDAD**

<b>EFFECTIVIDAD DEL EQUIPO</b>							
<b>ROTOMOLDEADORA</b>							
# DIA	Tiempo operativo (TO) (Horas)	Tiempo operativo real (TOR) (Horas)	Tiempo de ciclo ideal (CI) (Horas)	Tiempo de ciclo real (CR) (Horas)	Coeficiente de operatividad por paros (OP)	Coeficiente de operatividad del ciclo (OC)	Efectividad (E)
1	20	20	0,61	0,82	1,00	0,74	0,74
2	12	12	0,61	0,87	1,00	0,70	0,70
3	18	18	0,61	0,78	1,00	0,78	0,78
4	14	14	0,61	0,75	1,00	0,81	0,81
5	22	21	0,61	0,72	0,95	0,85	0,81
6	24	23	0,61	0,97	0,96	0,63	0,60
7	20	20	0,61	0,92	1,00	0,66	0,66
8	23	23	0,61	0,83	1,00	0,73	0,73
9	22	22	0,61	0,78	1,00	0,78	0,78
10	16	16	0,61	0,83	1,00	0,73	0,73
11	10	10	0,61	0,78	1,00	0,78	0,78
12	12	12	0,61	0,83	1,00	0,73	0,73
13	18	17,5	0,61	0,67	0,97	0,91	0,89
14	23	23	0,61	1,03	1,00	0,59	0,59
15	24	24	0,61	0,99	1,00	0,62	0,62
16	22	22	0,61	0,87	1,00	0,70	0,70
17	18	18	0,61	0,94	1,00	0,65	0,65
18	16	16	0,61	0,86	1,00	0,71	0,71
19	19	19	0,61	0,88	1,00	0,69	0,69
20	20	20	0,61	0,95	1,00	0,64	0,64
21	24	24	0,61	0,93	1,00	0,66	0,66
22	18	18	0,61	0,91	1,00	0,67	0,67
23	20	20	0,61	0,91	1,00	0,67	0,67
24	19	19	0,61	0,82	1,00	0,74	0,74
25	22	22	0,61	0,83	1,00	0,73	0,73
26	20	20	0,61	0,85	1,00	0,72	0,72
27	22	22	0,61	0,88	1,00	0,69	0,69
28	18	18	0,61	0,86	1,00	0,71	0,71
29	20	20	0,61	0,78	1,00	0,78	0,78
30	18	18	0,61	0,93	1,00	0,66	0,66

PROMEDIO	0,71
----------	------

**ANEXO I**  
**DATOS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE CALIDAD**

<b>CALIDAD DEL EQUIPO</b>			
<b>PULVERIZADOR</b>			
<b># DIA</b>	<b>Tiempo operativo efectivo (TOE) (Horas)</b>	<b>Tiempo operativo real (TOR) (Horas)</b>	<b>Calidad (C)</b>
1	9,5	10	1,0
2	7	8	0,9
3	8	8	1,0
4	8	8	1,0
5	5	6	0,8
6	8	8	1,0
7	9	10	0,9
8	8	9	0,9
9	8	8	1,0
10	8	8	1,0
11	8	8	1,0
12	8	9	0,9
13	10	11	0,9
14	8	8	1,0
15	6	6	1,0
16	11	11	1,0
17	11	11	1,0
18	6	8	0,8
19	7	7	1,0
20	7	8	0,9
21	7	8	0,9
22	6	7	0,9
23	8	8	1,0
24	8	8	1,0
25	11	12	0,9
26	8	8	1,0
27	8	8	1,0
28	10	10	1,0
29	11	12	0,9
30	5	5	1,0

0,95
------

**ANEXO I**  
**DATOS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE CALIDAD**

<b>CALIDAD DEL EQUIPO</b>			
<b>MEZCLADORA</b>			
<b># DIA</b>	<b>Tiempo operativo efectivo (TOE) (Horas)</b>	<b>Tiempo operativo real (TOR) (Horas)</b>	<b>Calidad (C)</b>
1	8	8	1,0
2	6	6	1,0
3	9	10	0,9
4	9	10	0,9
5	11,5	12	1,0
6	7	8	0,9
7	9	10	0,9
8	6	6	1,0
9	11	11	1,0
10	11,5	12	1,0
11	8	10	0,8
12	11	12	0,9
13	11	12	0,9
14	10	12	0,8
15	12	12	1,0
16	12	12	1,0
17	9	11	0,8
18	11	11	1,0
19	10	10	1,0
20	12	12	1,0
21	10	12	0,8
22	11	12	0,9
23	8	8	1,0
24	9	9	1,0
25	12	12	1,0
26	9	9	1,0
27	8	8	1,0
28	9	9	1,0
29	11	12	0,9
30	4	4	1,0

0,95
------

**ANEXO I**  
**DATOS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE CALIDAD**

<b>CALIDAD DEL EQUIPO</b>			
<b>ROTOMOLDEADORA</b>			
<b># DIA</b>	<b>Tiempo operativo efectivo (TOE) (Horas)</b>	<b>Tiempo operativo real (TOR) (Horas)</b>	<b>Calidad (C)</b>
1	18,8	20	0,94
2	10,8	12	0,90
3	17	18	0,94
4	13,8	14	0,99
5	20,4	21	0,97
6	23	23	1,00
7	20	20	1,00
8	23	23	1,00
9	21	22	0,95
10	14,8	16	0,93
11	10	10	1,00
12	12	12	1,00
13	17	17,5	0,97
14	23	23	1,00
15	22,8	24	0,95
16	20,8	22	0,95
17	18	18	1,00
18	16	16	1,00
19	19	19	1,00
20	18,8	20	0,94
21	22,8	24	0,95
22	18	18	1,00
23	20	20	1,00
24	19	19	1,00
25	20,8	22	0,95
26	18	20	0,90
27	20,8	22	0,95
28	18	18	1,00
29	18,8	20	0,94
30	16	18	0,89

0,97
------

## ANEXO J

### LISTA DE VERIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

#### PULVERIZADOR MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- Revisión de llave de agua y aire  
(Si están cerradas, abrirlas)
- Revisión de lubricación de cadenas y discos  
(Si es necesario lubricar con grasa)
- Revisión de la temperatura dentro del pulverizador (62-67)°C  
(Si está fuera de rango comunicar al supervisor)
- Revisión del amperaje dentro del pulverizador (70-80)  
(Si está fuera de rango comunicar al supervisor)
- Revisión del voltaje dentro del pulverizador (80-85)  
(Si está fuera de rango comunicar al supervisor)
- Revisión de la temperatura de la bomba de succión (max 65)°C  
(Si está fuera de rango comunicar al supervisor)
- Revisión del panel general del pulverizador  
(Si algún foco esta en rojo comunicar al supervisor)



\_\_\_\_\_  
Responsable

**ANEXO J**  
**LISTA DE VERIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

**MEZCLADORA**  
**MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Revisión de llave de aire  
(Si está cerrada, abrirla)



Revisión de banda de transmisión en V  
(Si está deteriorada comunicar al supervisor)



Revisión de la olla mezcladora y las cuchillas  
(Si tiene materiales extraños, retirarlos)

Revisión de lubricación de bisagra de tapa de olla  
(Si es necesario lubricar con grasa)

\_\_\_\_\_  
Responsable

## ANEXO J

### LISTA DE VERIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

#### ROTOMOLDEADORA MANTENIMIENTO PREVENTIVO

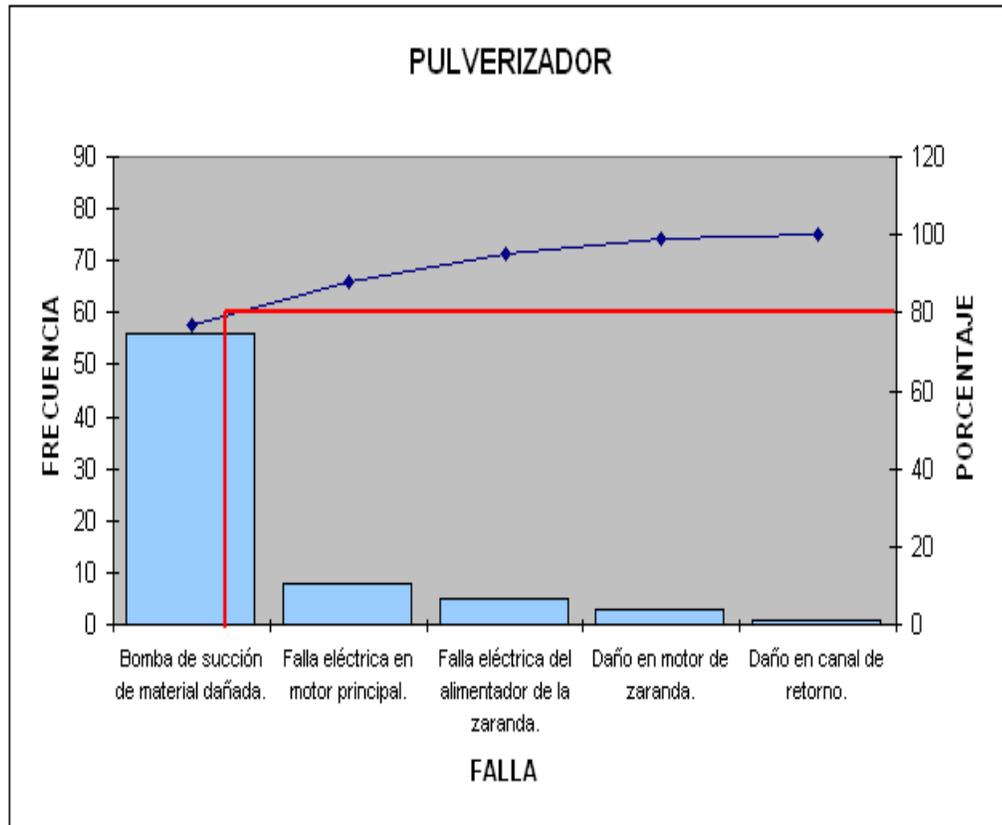
- Revisión de llave de agua, aire y gas  
(Si están cerradas, abrirlas)
- Revisión de presión en bombona de gas (15 psi)  
(Si no marca esta presión comunicar al supervisor)
- Revisión de pernos en brida de los brazos  
(Si están doblados comunicar al supervisor)
- Revisión de lubricación de cadenas de carro transportador  
(Si es necesario lubricar con grasa)
- Revisión de los sensores de puertas y quemador  
(Si está en mal estado comunicar al supervisor)
- Revisión de válvulas de los quemadores  
(Si están sucias de material, limpiar)



---

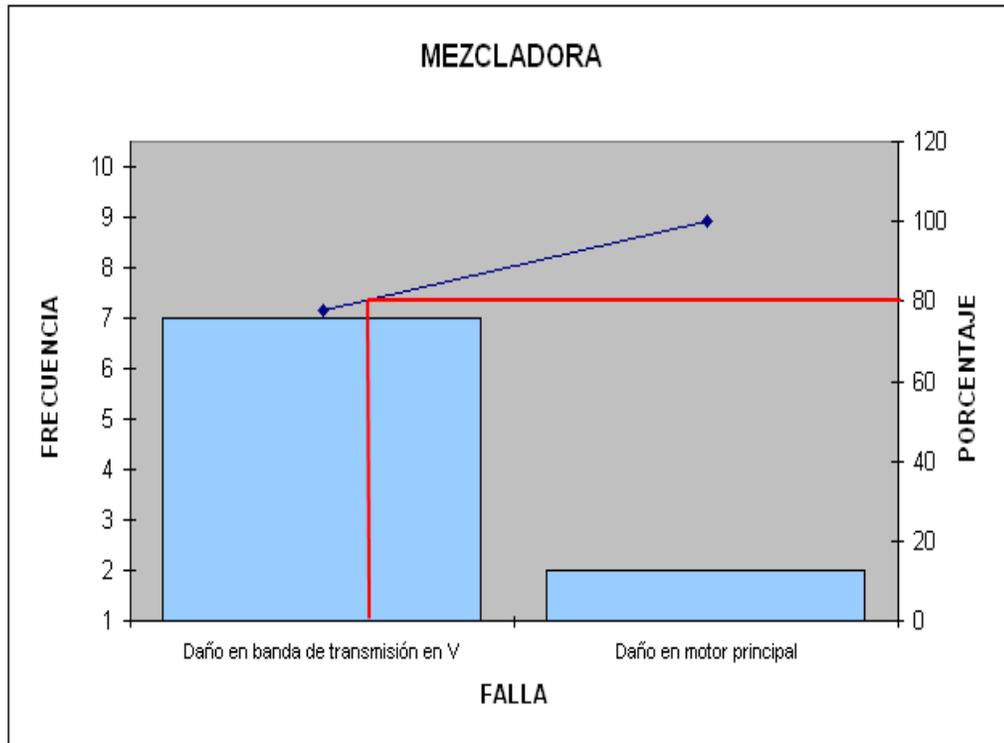
Responsable

**ANEXO K**  
**ANÁLISIS DE CAUSAS DE LAS FALLAS**



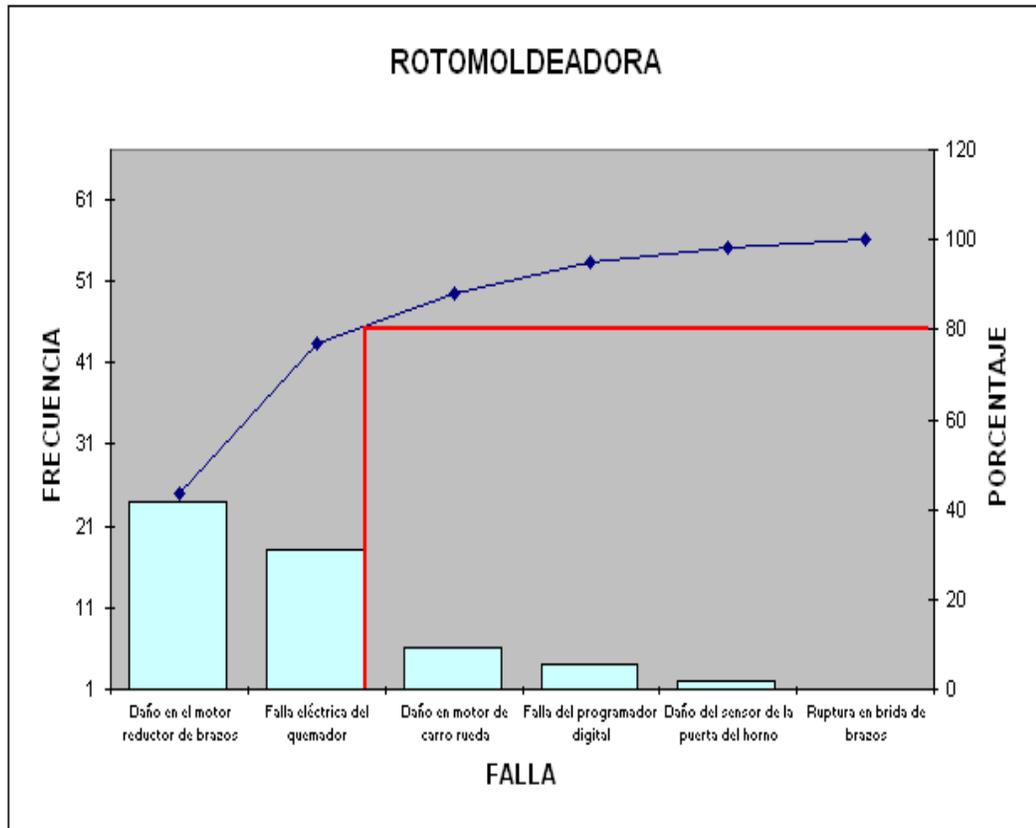
FALLAS	FRECUENCIA
Bomba de succión de material dañada.	56
Falla eléctrica en motor principal.	8
Falla eléctrica del alimentador de la zaranda.	5
Daño en motor de zaranda.	3
Daño en canal de retorno.	1

**ANEXO K**  
**ANÁLISIS DE CAUSAS DE LAS FALLAS**



FALLAS	FRECUENCIA
Daño en banda de transmisión en V	7
Daño en motor principal	2

**ANEXO K**  
**ANÁLISIS DE CAUSAS DE LAS FALLAS**



FALLAS	FRECUENCIA
Daño en el motor reductor de brazos	24
Falla eléctrica del quemador	18
Daño en motor de carro rueda	6
Falla del programador digital	4
Daño del sensor de la puerta del horno	2
Ruptura en brida de brazos	1

**ANEXO L**  
**LISTA CRÍTICA DE REPUESTOS**

MÁQUINA	NOMBRE DE LA PARTE	STOCK MÍNIMO	MARCA	TIEMPO DE ENTREGA	PROVEEDOR	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	CLASIFICACIÓN
Pulverizador	Cuch Plato AG213-P17 PN	2	Wedco	4 semanas	Brasil		0,00	B
Pulverizador	Filtro Saco PN PUL 1850	3	Wedco	4 semanas	Brasil		0,00	B
Pulverizador	Manga Nylon 5 x 12 PN PUL	4	Wedco	4 semanas	Brasil		0,00	B
Pulverizador	Termoc Tipo J PN PUL	1	Wedco	4 semanas	Brasil	1.300,00	1.300,00	A
Pulverizador	Tornillo 1/2-13X1.25 HHCS	1	Wedco	4 semanas	Brasil	3.473,00	3.473,00	A
Pulverizador	Tornillo 5/16-24X0.75 LG SHCS	6	Wedco	4 semanas	Brasil	567,00	3.402,00	A
Rotomoldeadora	Indicador carga porc Amp PN 11951	3	Rotoline	4 semanas	Brasil		0,00	B
Rotomoldeadora	Interr Baj Pre Gas cod 334	2	Rotoline	4 semanas	Brasil	4.200,00	8.400,00	A
Rotomoldeadora	Interr Pre Aire Azul JD 2 cod 572	2	Rotoline	4 semanas	Brasil		0,00	B
Rotomoldeadora	Tranductor Corrie PCB-103 10522	2	Rotoline	4 semanas	Brasil	3.200,00	6.400,00	A
Rotomoldeadora	Transf corrien 1000-5A PN 4325	1	Rotoline	4 semanas	Brasil	1.100,00	1.100,00	A
Rotomoldeadora	Ssor Electrodo de flama PN S3514	4	Rotoline	4 semanas	Brasil	5.670,00	22.680,00	A
Rotomoldeadora	Anillos Nlos 20328BD110310	1	Rotoline	4 semanas	Brasil		0,00	C
Rotomoldeadora	Brida refuerzo rueda conica	1	Rotoline	4 semanas	Brasil		0,00	C
Rotomoldeadora	Chaveta cuna	33	Polivinil	4 semanas	Brasil		0,00	C
Rotomoldeadora	Fresa FI 190X6X60 Rotomoldeo	1	Polivinil	4 semanas	Brasil		0,00	B
Rotomoldeadora	Fuente ET AL/RS 28/24/6a 3264	1	Polivinil	4 semanas	Brasil		0,00	B
Rotomoldeadora	Pifon conico Z16 M5	5	Polivinil	4 semanas	Brasil		0,00	B
Rotomoldeadora	Rueda dentada Z48 M5	3	Rotoline	4 semanas	Brasil		0,00	B
							\$ 46.755,00	

**ANEXO M**  
**ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PLANEADO**

N°	MANTENIMIENTO PLANEADO					
	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	TIEMPO DE PARO	HORAS ANUALES	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
<b>PULVERIZADOR:</b>						
1	Control de llaves de entrada de agua y aire	Diario	N/A	N/A	Comprobar el estado de llaves y la funcionabilidad de las mismas.	Operador
2	Limpieza y lubricación de cadenas	Semanal	30 minutos	24 horas	Comprobar el estado de las cadenas y su lubricación.	Mecánico
3	Cambio de discos de abrasión mecánica	Cada vez que sea necesario	30 minutos	N/A	Quitar discos deteriorados, limpiar y eliminar residuos, luego colocar nuevos discos.	Mecánico
4	Limpieza de bomba de succión	Quincenal	30 minutos	12 horas	Eliminar residuos de polvos y suciedad con aceites y grasas. Lubricar manualmente.	Operador / Mecánico
<b>MEZCLADORA:</b>						
1	Banda de transmisión en V	Diario	N/A	N/A	Comprobar el correcto funcionamiento y buen estado de la banda	Operador
2	Cuchillas de olla de mezclas	Diario	N/A	N/A	Comprobar el correcto funcionamiento y buen estado de las cuchillas	Operador
3	Control de llaves de entrada de agua y aire	Diario	N/A	N/A	Comprobar el estado de llaves y la funcionabilidad de las mismas.	Operador
4	Lubricación de bisagra de olla	Semanal	10 minutos	8 horas	Limpiar la grasa y residuos de polvos . Lubricar manualmente	Operador / Mecánico
5	Sistema eléctrico temporizador	Mensual	30 minutos	6 horas	Realizar la verificación y calibración del sistema temporizador de la máquina	Eléctrico
<b>ROTOMOLDEADORA:</b>						
1	Limpieza y lubricación de cadenas	Semanal	60 minutos	48 horas	Comprobar el estado de las cadenas y su lubricación.	Operador / Mecánico
2	Limpieza y lubricación en engranes de motor reductor	Trimestral	120 minutos	8 horas	Comprobar el estado de los engranes del motor y su lubricación.	Mecánico
3	Limpieza de los sensores ópticos	Diario	N/A	N/A	Retirar con un paño la suciedad y polvo de los sensores ópticos.	Operador / Eléctrico
4	Limpieza de los filtros de gas	Trimestral	30 minutos	2 horas	Realizar limpieza con aire comprimido y reemplazar de ser el caso.	Operador
5	Control del sistema digital de condiciones de máquina	Semestral	120 minutos	8 horas	Realizar la verificación y calibración del sistema digital de condiciones	Personal Contratado
6	Control del quemador	Semestral	1440 minutos	48 horas	Comprobar el funcionamiento correcto a través de personal calificado.	Personal Contratado
7	Control de ventiladores	Diario	N/A	N/A	Controlar el funcionamiento de los ventiladores	Operador





## ANEXO P FLUJO DE CAJA

	Inicial	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
<b>A. Inversión Inicial</b>													
Implementación Entrenamiento Cruzado	3757,8												
Reparación durante la Restauración de equipos	737,60												
Compra de repuestos inventariables	46755,00												
<b>B. Ingresos x Ahorro</b>													
Paras no programadas eliminadas		7771,36	7771,36	7771,36	7771,36	7771,36	7771,36	7771,36	7771,36	7771,36	7771,36	7771,36	7771,36
Reducción de personal		1343,20	1343,20	1343,20	1343,20	1343,20	1343,20	1343,20	1343,20	1343,20	1343,20	1343,20	1343,20
Aumento de productividad		13135,01	13135,01	13135,01	13135,01	13135,01	13135,01	13135,01	13135,01	13135,01	13135,01	13135,01	13135,01
Disminución de desperdicios		6464,19	6464,19	6464,19	6464,19	6464,19	6464,19	6464,19	6464,19	6464,19	6464,19	6464,19	6464,19
<b>C. Egresos</b>													
Calibración de contrapesos de moldes		8243,92					8243,92						8243,92
Calibración de sensores del quemador. Rotomoldeadora		2257,32					2257,32						2257,32
Tiempo sin producir por MP		7653,66	7653,66	7653,66	7653,66	7653,66	7653,66	7653,66	7653,66	7653,66	7653,66	7653,66	7653,66
Mantenimiento predictivo		2400					2400						2400
<b>D. Flujo de fondos operativos durante el proyecto (B-C)</b>		8158,86	21060,1	21060,1	21060,1	21060,1	8158,86	21060,1	21060,1	21060,1	21060,1	21060,1	8158,86
<b>E. Egresos no Operacionales</b>													
Aportes al capital		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>F. Egresos no Operacionales</b>													
Pago de utilidades a empleados (15%)		1223,83	3159,02	3159,02	3159,02	3159,02	1223,83	3159,02	3159,02	3159,02	3159,02	3159,02	1223,83
Pago de impuesto a la renta (25%)		2039,72	5265,03	5265,03	5265,03	5265,03	2039,72	5265,03	5265,03	5265,03	5265,03	5265,03	2039,72
Inversiones		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de egresos no operacionales		3263,54	8424,04	8424,04	8424,04	8424,04	3263,54	8424,04	8424,04	8424,04	8424,04	8424,04	3263,54
<b>G. Flujo de Fondos no operativos durante el proyecto (E-F)</b>		-3263,54	-8424,04	-8424,04	-8424,04	-8424,04	-3263,54	-8424,04	-8424,04	-8424,04	-8424,04	-8424,04	-3263,54
<b>H. Flujo Neto Generado (D+G)</b>	-51250,4	4895,32	12636,06	12636,06	12636,06	12636,06	4895,32	12636,06	12636,06	12636,06	12636,06	12636,06	4895,32
Flujo acumulado	51250,4	-46355,08	-33719,02	-21082,96	-8446,90	4189,16	9084,47	21720,53	34356,59	46992,65	59628,71	72264,77	77160,09
Flujo descontado	51250,4	4780,58	12057,31	11787,37	11529,25	11282,20	4279,12	10818,54	10600,72	10391,50	10190,37	9996,88	3800,71

VAN	\$ 59.059	
TIR	17%	
TMAR	12%	2,4%

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] \_\_\_\_\_, "Herramientas para la mejora continua (Kaizen)", [www.grupokaizen](http://www.grupokaizen.com), Febrero 2012
- [2] \_\_\_\_\_, "Diagrama de Pareto", [www.eumed.net/libros.htm](http://www.eumed.net/libros.htm), Febrero 2012.
- [3] \_\_\_\_\_, "Diagrama de Pareto", [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), Febrero 2012.
- [4] KRICK V. "Ingeniería de Métodos", Editorial Limusa, Noriega Editores, 1956.
- [5] VASQUEZ A. "Diagrama de Flujo", Q Grupo Asesor S.A., [qgrupoasesor.com](http://qgrupoasesor.com), Febrero 2012.
- [6] \_\_\_\_\_, "Que es manufactura esbelta", [www.monografias.com](http://www.monografias.com), Febrero 2012.

- [7] BARCIA K. "Modelos para mejorar sistemas de Producción Industriales", 2003.
- [8] BARCIA K. "Introducción a la Manufactura Esbelta", Apuntes de clases de Producción Esbelta. ESPOL, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, 2003.
- [9] BARCIA K. "Mapeo de la Cadena de Valores", Apuntes de clases de Producción Esbelta. ESPOL, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, 2003.
- [10] MORENO A. "Manual de Mapeo de Cadena de Valor ", Octubre 2005.
- [11] \_\_\_\_\_, "Mantenimiento Total Productivo, [www.monografias.com](http://www.monografias.com), Febrero 2012.
- [12] CUATRECASAS LLUÍS. "TPM en un entorno Lean Management", Editorial PROFIT, 2010.