

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS



## MEJORA DE PROCESOS PARA ASEGURAR EL ABASTECIMIENTO DE MOLDES DE BOLAS DE ACERO EN UNA FUNDICIÓN LIMEÑA

### TESIS

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO INDUSTRIAL

**TERUYA NISHIHIRA, Rocío Miriam**

Lima – Perú

2011

**Digitalizado por:**

Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse

Dedicatoria

*A Dios, Uno y Trino,*

*Ya que a él es*

*Toda la gloria, la honra y la alabanza.*

*Agradecimiento*

*A Dios ya que sin Él nada soy*

*A mis tres madres:*

*Mamá María, por su intercesión y protección;*

*Mamá Juanita, por darme la vida espiritual, mi mayor tesoro;*

*Mamá Zoila, por todos los cuidados desde que estaba en su vientre;*

*Y a mi gran familia: Nancy, Migue, Rita y mis Hermanos en la Fe;*

*Gracias a todos*

## ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2 Delimitaciones de la investigación.....	2
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Objetivos de la investigación.....	3
1.5 Hipótesis de la investigación.....	4
1.6 Variables de la investigación.....	4
CAPÍTULO II.....	10
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
2.1 Tipo y nivel de la investigación.....	10
2.2 Método y diseño de la investigación.....	11
2.3 Población y muestra de la investigación.....	12
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección.....	12
2.5 Técnicas de análisis y procesamiento de datos.....	13
2.6 Justificación e importancia de la investigación.....	13
2.7 Limitaciones.....	14
CAPÍTULO III.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
3.1 Antecedentes.....	15
3.2 Variable independiente: programa de mejora de procesos.....	16
3.2.1 Enfoque basado en procesos.....	16
3.2.2 Mejora de los procesos.....	17
3.2.3 Procesos a realizar mejoras.....	19
3.2.3.1 Programación y control de la producción.....	19
3.2.3.2 Proceso de tratamiento térmico.....	33
3.2.3.3 Redistribución de las máquinas herramientas del proceso de maquinado.....	38
3.3 Variable dependiente: abastecimiento de moldes de bolas.....	42
3.3.1 Configuración productiva por lotes.....	43
3.3.2 Configuración continua.....	43
3.3.3 Moldes de bolas fundidas.....	44
3.3.3.1 Descripción de los moldes de bolas.....	44
CAPÍTULO IV.....	50
DIAGNÓSTICO INICIAL.....	50

4.1.	Diagnóstico estratégico .....	50
4.1.1.	Descripción de la empresa .....	50
4.1.1.1.	Misión .....	51
4.1.1.2.	Visión.....	51
4.1.1.3.	Objetivos organizacionales .....	52
4.1.2.	Cadena de valor.....	54
4.1.3.	Mapeo de macroprocesos de la organización.....	55
4.1.4.	Análisis foda.....	56
4.1.4.1.	Oportunidades y amenazas .....	56
4.1.4.2.	Fortalezas y debilidades .....	57
4.2.	Diagnostico funcional .....	58
4.2.1.	Productos .....	58
4.2.2.	Clientes .....	62
4.2.3.	Organización de la empresa.....	63
4.2.4.	Procesos .....	64
4.2.4.1.	Proceso de fabricación de bolas de acero para la molienda .....	64
4.2.4.2.	Proceso de fabricación de piezas .....	67
4.3.	Diagnóstico del proceso de fabricación de moldes de bolas .....	73
4.3.1.	El proceso de la fabricación de moldes de bolas .....	82
4.3.2.	Zona de maquinado de moldes de bolas .....	83
4.3.2.1.	Descripción de las máquinas herramientas que comprende el proceso. ....	83
4.3.2.2.	Layout de los talleres de maestranza.....	89
4.3.2.3.	recorrido de los moldes de bolas en el proceso de maquinado.....	94
4.3.3.	Trabajo que soportan los moldes de bolas .....	97
4.4.	Problemática del proceso de fabricación de moldes de bolas para la línea de producción de bolas .....	105
4.4.1.	Descripción de la situación inicial .....	106
4.4.2.	Análisis de causas del problema .....	115
CAPÍTULO V .....		116
MEJORA PROPUESTA.....		116
5.1.	Tratamiento térmico .....	116
5.2.	Programación de la producción.....	120
5.3.	Control de la producción .....	135
5.4.	Zona de acabados .....	138
5.5.	Aumento de inventario de moldes terminados y preparación para la reubicación de equipos .....	140
5.6.	Reubicación de equipos en la zona de maquinado .....	141
CAPÍTULO VI .....		150
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		150
6.1.	Abastecimiento de moldes de bolas a u.p. Bolas .....	150
6.2.	Continuidad del flujo productivo .....	152
6.3.	Tiempos de ciclo en el proceso productivo.....	153
6.4.	Mejora del proceso en la zona de maquinado .....	154

CAPÍTULO VII .....	157
ANÁLISIS ECONÓMICO .....	157
7.1. Costos del proyecto .....	157
7.2. Beneficios del proyecto .....	159
7.2.1. Beneficios de la mejora en el proceso de tratamiento térmico .....	159
7.2.2. Beneficios de la mejora en el proceso de maquinado.....	162
7.3. Análisis costo beneficio.....	167
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	170
GLOSARIO.....	173
BIBLIOGRAFÍA.....	179
ANEXOS .....	184

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1:	Diagrama Hierro – Carbono.....	34
Figura N° 2:	Red Cúbica Centrada en la Cara (FCC) .....	35
Figura N° 3:	Red Cúbica Centrada en el Cuerpo (BCC) .....	36
Figura N° 4:	Diagrama Hierro Carbono Cementita.....	37
Figura N° 5:	Moldes de Bolas de 2 ½” .....	45
Figura N° 6:	Cara Superior del Molde de Bolas de 2 ½” .....	46
Figura N° 7:	Cara Inferior del Molde de Bolas de 2 ½”.....	47
Figura N° 8:	Aleta con código inscrito.....	47
Figura N° 9:	Croquis de Molde de Bolas de 2 ½”.....	48
Figura N° 10:	Cadena de Valor.....	54
Figura N° 11:	Mapeo de Macroprocesos.....	55
Figura N° 12:	Organigrama Funcional .....	63
Figura N° 13:	DOP de la Fabricación de Bolas de Acero para la molienda.....	64
Figura N° 14:	DOP de la fabricación de piezas.....	67
Figura N° 15:	Modelo de Moldes de Bolas.....	69
Figura N° 16:	Molde de Arena de Moldes de Bolas .....	70
Figura N° 17:	Preparación del Molde de Arena.....	76
Figura N° 18:	Vaciado de la pieza.....	77
Figura N° 19:	Acabado Primario .....	77
Figura N° 20:	Preparación de cama de Tratamiento térmico.....	78
Figura N° 21:	Cama en espera de Tratamiento Térmico.....	78
Figura N° 22:	Horno de Tratamiento Térmico .....	79
Figura N° 23:	Granalladora Whelabrator.....	79
Figura N° 24:	Esmeriles colgantes.....	80
Figura N° 25:	Trabajo de Limpieza en Banco.....	80
Figura N° 26:	Taller de Mecanizado N° 2.....	81
Figura N° 27:	Diagrama de Procesos de la Fabricación de Moldes de Bolas.....	82
Figura N° 28:	Croquis del Centro de Mecanizado DECKEL MAHO .....	84
Figura N° 29:	Esquema del Taladro Múltiple HECKER.....	86
Figura N° 30:	Esquema del Cepillo de Mesa .....	88
Figura N° 31:	Layout del Taller de Mecanizado 1 y 2.....	89
Figura N° 32:	Taller de Mecanizado N°2.....	92
Figura N° 33:	Recorrido de los moldes de bolas en el Taller N° 2.....	95
Figura N° 34:	Recorrido de los moldes de bolas entre los talleres de maestranza.....	96
Figura N° 35:	Tornamesa de Fundición .....	97
Figura N° 36:	Chorro continuo de acero líquido.....	98
Figura N° 37:	Tramo del baño de enfriamiento .....	99

Figura N° 38: Baño de Enfriamiento .....	99
Figura N° 39: Salida del Baño de enfriamiento .....	100
Figura N° 40: Desmoldeo de los racimos de Bolas .....	100
Figura N° 41: Moldes de bolas listo para colocarles las almas.....	101
Figura N° 42: Moldes de Bolas con sus respectivas almas.....	101
Figura N° 43: Moldes de Bolas junto con almas en la tornamesa .....	102
Figura N° 44: Racimos de bolas recién desmoldeados.....	102
Figura N° 45: Diagrama Ishikawa: Desabastecimiento de moldes de Bolas .....	115
Figura N° 46: Nuevo Mapa de Procesos de la Fabricación de Moldes de Bolas..	131
Figura N° 47: Granalladora tipo Tumblast.....	139
Figura N° 48: Reubicación de Equipos en el Taller de Maquinado N°2.....	144
Figura N° 49: Ubicación de Grúas pescante e Inventarios en proceso. ....	146
Figura N° 50: Nuevo Recorrido de Moldes de Bolas en el Taller de Maquinado .	149
Figura N° 51: Cantidad de moldes de bolas terminados por semana.....	151

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1:	Especificaciones técnicas de la aleación de Moldes de Bolas .....	45
Tabla N° 2:	Propiedades Mecánicas .....	45
Tabla N° 3:	Especificaciones de Pesos y cantidad de medias bolas por diámetro. ....	49
Tabla N° 4:	Tabla de Actividades del Proceso de Fabricación de Moldes de Bolas .....	73
Tabla N° 5:	Especificaciones Técnicas del Centro de Mecanizado DECKEL MAHO .....	85
Tabla N° 6:	Especificaciones técnicas del Taladro Múltiple HECKER .....	87
Tabla N° 7:	Leyenda de las instalaciones de la Figura N° 31 .....	90
Tabla N° 8:	Leyenda de las máquinas herramientas de la Figura N° 31 .....	91
Tabla N° 9:	Leyenda de la Figura N° 32 .....	93
Tabla N° 10:	Duración en cantidad de coladas de los Moldes de Bolas .....	103
Tabla N° 11:	Recorrido del molde de bolas por etapa de fabricación en la tornamesa .....	104
Tabla N° 12:	Tiempo en minutos según tramo recorrido de los moldes de Bolas	104
Tabla N° 13:	Consumo Histórico de Moldes de Bolas según Mix de producción de Bolas. ....	105
Tabla N° 14:	Proyección de Consumo de Moldes de Bolas según Mix de producción de Bolas para producir 5000 t/mes. ....	106
Tabla N° 15:	Tiempos muertos por falta de equipos de manipuleo y paradas técnicas del Cepillo de Mesa .....	112
Tabla N° 16:	Duración de moldes de bolas con Tratamiento térmico de Esferoidizado.....	118
Tabla N° 17:	Diferencias de duración de moldes de bolas por tratamiento.....	119
Tabla N° 18:	Diferencias de toneladas de bolas chatarras generadas por el desgaste de moldes de bolas. ....	119
Tabla N° 19:	Tiempos de fabricación de moldes de bolas por áreas con configuración por lote .....	122
Tabla N° 20:	Tiempos promedio del ciclo de fabricación del DECKEL MAHO ....	123
Tabla N° 21:	Tiempos promedio del ciclo de fabricación del Taladro Múltiple HECKER .....	124
Tabla N° 22:	Tiempos promedio del ciclo de fabricación del Cepillo de Mesa ....	125
Tabla N° 23:	Tiempo de ciclo total de maquinado para 30 piezas .....	126
Tabla N° 24:	Tiempos de Toque de los procesos de fabricación .....	127
Tabla N° 25:	Tabla de actividades del Nuevo Proceso de Fabricación de Moldes de Bolas .....	132

Tabla N° 26:	Leyenda de la Figura N° 48 .....	145
Tabla N° 27:	Leyenda de la Figura N° 49 .....	147
Tabla N° 28:	Comparativo antes y después de la implementación de mejora de cada proceso y el paralelo con la producción de Bolas.....	152
Tabla N° 29:	Moldes de Bolas por semana al inicio, durante y fin del proceso productivo.....	153
Tabla N° 30:	Comparación de tiempos de proceso antes y después del tratamiento. ....	154
Tabla N° 31:	Comparativo de los tiempos muertos en maquinado antes y después de la implementación de MEPROFUL .....	155
Tabla N° 32:	Comparación de la distancia recorrida por los moldes de bolas en la zona de maquinado .....	156
Tabla N° 33:	Presupuesto de la Reubicación de Equipos en la zona de Maquinado.....	158
Tabla N° 34:	Ahorro mensual de consumo de Gas Natural generado por la mejora del proceso de Tratamiento Térmico.....	160
Tabla N° 35:	Troughput Total generado por la línea de piezas a consecuencia de la mejora en el proceso de T.T. ....	161
Tabla N° 36:	Resumen de beneficios obtenidos de la mejora en el proceso de Tratamiento Térmico.....	161
Tabla N° 37:	Ahorro Mensual Proyectado de la mejora en Maquinado.....	162
Tabla N° 38:	Ahorro por mantener Inventario Externo.....	163
Tabla N° 39:	Flujo de Caja Neto de la propuesta de la mejora en Maquinado....	163
Tabla N° 40:	Flujos a Valor presente.....	165
Tabla N° 41:	Resumen del análisis de inversión del proyecto de Reubicación de Equipos en la zona de maquinado.....	167
Tabla N° 42:	Total de beneficios netos por mes .....	167
Tabla N° 43:	Total de costos de la implementación del MEPROFUL.....	168
Tabla N° 44:	Flujo de Caja Neto del programa MEPROFUL .....	168

## **DESCRIPTORES TEMÁTICOS**

- Abastecimiento de moldes de acero.
- Bolas de Acero.
- Fundición por lotes.
- Mejora de Procesos.
- Moldes de Bolas.
- Programación y Control de la Producción.
- Reubicación de Equipos.
- Teoría de Restricciones.

## RESUMEN

En los últimos años la minería ha presentado un notable crecimiento y consecuentemente el consumo de bolas de acero para la molienda ha aumentado, generando una demanda insatisfecha en el mercado. Ante esta coyuntura la fundición limeña a la cual se ha llamado "ZXY", la cual es productora de bolas, se encuentra con el reto de aumentar su producción pero para ello tiene que establecer las condiciones necesarias que le permitan satisfacer esta demanda. Una condición necesaria es *Asegurar el Abastecimiento de Moldes de Bolas* a la línea de fabricación de bolas. La presente investigación muestra el desarrollo de la implementación de mejoras a los procesos involucrados para asegurar dicho abastecimiento.

Inicialmente se ha realizado un diagnóstico para detectar las causas del problema principal, siguiendo con un proceso de levantamiento de información hasta implementar mejoras en diferentes procesos de forma gradual y secuencial. Terminando con el análisis de resultados adoptando la técnica de la comparación del pre y post tratamiento, siguiendo con el respectivo análisis económico utilizando la herramienta del indicador Beneficio - Costo.

Concluyendo que la implementación del programa MEPROFUL ha asegurado el abastecimiento de moldes de bolas con la entrega de 1200 piezas mensuales siendo esta cifra la meta propuesta.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas se encuentran ante un mercado muy competitivo que en ocasiones llega a tornarse agresivo. En el entorno de hoy las organizaciones están sometidas a constantes cambios, lo que ha colocado al mejoramiento continuo, como factor principal para el desarrollo de ventajas competitivas que deben adoptar las empresas. De no ser así, en forma progresiva tenderían a disminuir su participación en el mercado; hasta el punto de desaparecer o ser absorbidas por otras empresas. Para hacer frente a esta situación las organizaciones han optado por aplicar sistemas de mejoras en sus diferentes procesos y trazarse objetivos ambiciosos.

El aumento del consumo de los metales a nivel mundial ha generado un crecimiento en la minería lo cual conlleva a un incremento en la demanda de los insumos utilizados por los mismos. Este factor ha obligado a la fundición "ZXY" a trazarse objetivos y metas exigentes que puedan hacer frente a esta demanda insatisfecha y competir en el mercado internacional ya que sus principales clientes pertenecen al sector minero.

La meta trazada fue producir 5000 toneladas mensuales de bolas de acero para la molienda, en momentos en que el promedio mensual se encontraba en 3150 toneladas. Para alcanzar esta meta se estableció un Comité de Estrategias de Bolas,

el cual estableció las condiciones necesarias para incrementar la producción, realizó propuestas de mejora e implementó varias de ellas. Una de estas condiciones necesarias fue asegurar el abastecimiento de moldes de bolas, que es el tema principal de esta investigación.

Los moldes de bolas son fabricados por la misma fundición “ZXY”. Han sido innumerables las veces en que se ha querido tercerizar este producto siendo todos los intentos un fracaso. Con ello, el asegurar este abastecimiento sólo podía concretarse mejorando los procesos involucrados en su producción, es así que se inició la implementación de un Programa de Mejora de Procesos para la Fundición por Lotes.

En el Capítulo I se describe brevemente la realidad problemática, delimitando la investigación, formulando el problema y estableciendo los objetivos. Se enuncian las hipótesis y se describen las variables (dependiente e independiente). En el Capítulo II se presenta la metodología de la investigación utilizada, a continuación en el Capítulo III se detalla el marco teórico que servirá de sustento para las mejoras implementadas.

En el Capítulo IV se realiza el diagnóstico inicial que comprende el diagnóstico estratégico y funcional, la descripción de los procesos, se muestra un estudio del trabajo que soportan los moldes de bolas cuando son utilizados y se presenta la problemática central a profundidad determinando sus causas. El Capítulo V presenta la evolución paso a paso de la implementación de las diferentes mejoras en cada proceso para continuar en el Capítulo VI con el análisis de resultados mediante la

técnica de la comparación pre y post tratamiento, seguidamente en el Capítulo VII el respectivo análisis económico.

A continuación se listan las conclusiones y recomendaciones recogidas durante todo el proceso de realización de la investigación, para finalmente concluir que el programa de mejora de procesos propuesto consigue asegurar el abastecimiento de moldes de bolas para así alcanzar la meta de las 5000 toneladas mensuales.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Hasta finales del 2007, la empresa metalúrgica “ZXY”, había tenido como récord histórico de producción 3800 t/mes de bolas de acero para la molienda, producción lograda en 2005 y nivel no vuelto alcanzar hasta setiembre del 2008. Al momento de iniciar el proceso de mejoras (marzo 2008), el promedio de producción se encontraba en las 3150 t/mes de bolas, a pesar que la capacidad de producción de planta ascendía a 5000 t/mes.

En el cuarto trimestre del año 2007, “ZXY” se traza como objetivo llegar a producir mensualmente 5000 toneladas de bolas fundidas para la molienda, y así lograr abastecer a un mercado en crecimiento económico.

Para marzo del 2008, se establece el Comité de Bolas, conformado por jefes y supervisores de diferentes áreas con el objetivo de *Establecer diferentes estrategias y propuestas de proyectos para consolidarse como el mayor*

*abastecedor de bolas fundidas a nivel nacional y alcanzar estándares competitivos en el mercado internacional.*

Alcanzar la fabricación de 5000 t/mes, significaba realizar un estudio del proceso con la finalidad de detectar los puntos críticos y trabajar en ellos. El análisis profundo del proceso productivo de fabricación de bolas de acero para la molienda, reveló la existencia del constante desabastecimiento de moldes de bolas. Los moldes de bolas son fabricados por la misma fundición "ZXY", pero la cantidad producida mensualmente al inicio del estudio, no satisfacía la necesidad de la línea de producción de bolas para alcanzar el objetivo propuesto (5000 t/mes de bolas de acero), ya que al elevar la producción de bolas, consecuentemente se incrementaba el consumo de los moldes.

## **1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente tesis se ha desarrollado en una empresa metalúrgica, a la cual se ha llamado "ZXY" y se encuentra ubicada en el distrito de Cercado de Lima, provincia y departamento de Lima, capital del Perú.

La investigación se realizó desde marzo del 2008 hasta noviembre del 2009 y comprende la determinación del problema y el análisis respectivo, hallando las posibles causas, de tal forma que se elaboró el programa MEPROFUL.

El programa MEPROFUL contempla mejoras en los siguientes procesos: Programación y Control de la Producción (PCP), Tratamiento térmico, Acabados y en la zona de Maquinado.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **Problema Principal**

¿En qué medida el programa "MEPROFUL" (Mejora de procesos de fundición por lotes) asegurará el abastecimiento de moldes de bolas que satisfagan la necesidad de la línea de fabricación de bolas para la molienda?

#### **Problemas Específicos**

- ¿En qué medida el programa "MEPROFUL" incrementará la continuidad del flujo productivo?
- ¿En qué medida el programa "MEPROFUL" favorecerá a reducir los tiempos en el proceso productivo?
- ¿En qué medida el programa "MEPROFUL" mejorará el proceso en la zona de maquinado de moldes de bolas?

### **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **Objetivo principal**

Determinar en qué medida el programa "MEPROFUL" asegurará el abastecimiento de moldes de bolas que satisfagan la necesidad de la línea de fabricación de bolas para la molienda.

#### **Objetivos específicos**

- Determinar en qué medida el programa "MEPROFUL" asegurará la continuidad del flujo productivo.

- Determinar en qué medida el programa "MEPROFUL" favorecerá a reducir los tiempos en el proceso productivo.
- Determinar en qué medida el programa "MEPROFUL" mejorará el proceso en la zona de maquinado de moldes de bolas.

## 1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### Hipótesis principal

Si se implementa el programa "MEPROFUL" entonces se asegurará el abastecimiento de moldes de bolas que satisfagan la necesidad de la línea de fabricación de bolas para la molienda

### Hipótesis específicas

- Si se implementa el programa "MEPROFUL", entonces se asegurará la continuidad del flujo productivo.
- Si se implementa el programa "MEPROFUL", entonces se reducirán los tiempos en el proceso productivo.
- Si se implementa el programa "MEPROFUL", entonces mejorará el proceso en la zona de maquinado de moldes de bolas.

## 1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

### Variable Dependiente: ABASTECIMIENTO DE MOLDES DE BOLAS

El aumento de producción de bolas propuesto por la dirección de la empresa exigía fundir 5000 t/mes, esta meta impactaba directamente en el consumo de los moldes de bolas, así que era necesario no sólo incrementar la

fabricación de estos moldes sino adicionalmente se tenía que asegurar el abastecimiento de los mismos, ya que sin ellos este objetivo nunca se iba a alcanzar.

El continuo desabastecimiento de los moldes de bolas obligaba a la línea de fabricación de bolas a usar moldes que eran reparados hasta 6 veces, dependiendo del diámetro de bola. Esto generaba un incremento en los niveles de bolas chatarreadas o bolas que tenían que pasar a un proceso adicional de esmerilados, ya que los moldes de bolas son reparados con soldadura, y ésta genera una luz entre los moldes y el alma de arena, originándose en ocasiones: bolas desfasadas, bolas con rebarbas o bolas de forma elípticas, repercutiendo directamente en la eficiencia de la producción.

Los moldes de bolas son colocados en una tornamesa de fundición, en donde ingresan 160 moldes, estos tienen diferentes tiempos de vida dependiendo del diámetro de bola y el número de reparaciones al que han sido sometidos. Los moldes reparados, resisten al trabajo por un periodo menor que los moldes nuevos, con lo cual al ser colocados estos en la tornamesa, aumenta los tiempos por parada operacionales debido a los cambios de moldes que la línea exige durante el trabajo. Estas pausas operacionales impactaban directamente en la producción, ya que por ser la

tornamesa el cuello de botella en la línea de bolas, el tiempo perdido en ella, jamás se recupera<sup>1</sup>.

“ZXY” no sólo es abastecedor de bolas de la molienda del mercado local, sino que también lo es, en países vecinos como Chile, Bolivia y Ecuador, con lo cual la necesidad de elevar el nivel productivo tomó cada vez un papel más relevante y en consecuencia **el proceso de abastecimiento de moldes de bolas**, se convirtió en un proceso crítico para lograr la producción propuesta por la empresa.

*Asegurar el abastecimiento de moldes de bolas* significa que la línea de producción de bolas de acero para la molienda contará en el tiempo oportuno con la cantidad necesaria para satisfacer el correcto desenvolvimiento de sus procesos. Con ello, quiere decir, que en una primera etapa incrementará el nivel de inventario del Almacén de Moldes de Bolas Terminados, hasta alcanzar el nivel solicitado por la Unidad de Producción de Bolas (U.P. Bolas); y en una segunda etapa, mantendrá de forma permanente este nivel.

**Variable Independiente: PROGRAMA DE MEJORA DE PROCESOS DE FUNDICIÓN POR LOTES, “MEPROFUL”.**

Para asegurar el abastecimiento, se analizó el proceso de fabricación de los moldes de bolas determinándose diferentes oportunidades de mejora, que

---

<sup>1</sup> LA META, Un proceso de mejora continua. Eliyahu M. Goldratt, 2da Edición en español, 1998. Ediciones Castillo

se encuentran desarrollados en la presente investigación estableciéndose: **el programa de mejora de procesos para asegurar el abastecimiento de moldes de bolas**, al que se le ha designado con el nombre de **“MEPROFUL”** (Mejora de procesos de fundición por lotes)

El programa “MEPROFUL” contempla mejoras en los siguientes procesos:

- **Programación y Control de la Producción (PCP)**, primero se tuvo que determinar los tiempos de fabricación de cada proceso, datos necesarios para toda programación de producción. Seguidamente se determinó el Touch Time, el tamaño del Buffer y consecuentemente el Lead Time del proceso, además mediante la utilización la Teoría de Restricciones, se establecieron procedimientos estándar de programación, diseñándose archivos semi-automatizados en Excel para proyección y control de la producción.
- **Tratamiento térmico**, con el objetivo de darle mayor tiempo de uso al molde de bola se le sometía al proceso de esferoidizado, que ocupaba 36 horas en los hornos de tratamiento térmico de piezas, esto dificultaba el flujo, no sólo de los moldes de bolas, sino de todo el sistema de producción de “ZXY”, ya que estos hornos son cuello de botella para la línea de fabricación de piezas. En el capítulo IV se explicará las líneas de producción con las que cuenta “ZXY” y la importancia de estos hornos dentro del sistema.

- **Acabados,** si los moldes de bolas llegaban a ser fundidos, estos quedaban retenidos en esta área, ya que se le daba preferencia a las piezas para clientes externos y no se contaba con personal exclusivo para trabajar moldes de bolas.
- **Maquinado,** al analizar el proceso de fabricación de moldes de bolas se determinó a éste como un *“proceso con capacidad restringida”* dentro del sistema. El proceso de mecanizado de moldes de bolas comprende 3 operaciones en tres máquinas herramientas diferentes que se realizan en el siguiente orden:
  1. Centro de Mecanizado DECKEL MAHO, aquí se realiza el planeado de tetones.
  2. Taladro Múltiple, en el cual se realizan cuatro agujeros, uno en cada tetón y sus respectivas roscas.
  3. Cepillo de Mesa BOEHRINGER, en donde se mecaniza la cara llamada de la media bola.

Las 2 primeras máquinas, Centro de Mecanizado DECKEL MAHO y el Taladro Múltiple se encuentran relativamente distantes de la zona destinada a la cola de moldes de bolas en espera para maquinar, a tal punto que para trasladar los moldes de bolas en cola hacia el DECKEL, es necesario utilizar un montacargas, lo mismo sucede al efectuar el traslado del Taladro al Cepillo que se encuentra en otro taller de maquinado, este manipuleo de los moldes genera una gran cantidad de

tiempos muertos ya que el departamento de maquinado no cuenta con un montacargas asignado a exclusividad, es por ello que MEPROFUL comprende una ***Redisposición de equipos en esta zona***, además del mantenimiento correctivo del Cepillo de Mesa BOEHRINGER, que continuamente para por fallas en la máquina.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es del ***tipo descriptiva en un primer momento***, ya que inicialmente describirá la situación y eventos que constituyen el problema, se detallará cómo son y cómo se manifiestan determinados fenómenos que conforman la problemática motivo del presente estudio.

Luego pasará a convertirse en ***exploratoria***, ya que al realizar la búsqueda de antecedentes de estudios relacionados con el presente tema de tesis, se hallaron diversas investigaciones acerca de fundiciones en lo referente a composición química y estructura de los metales, moldes de arena o resina, técnicas, propiedades y tipos de fundición de forma general, además de contaminación ambiental y seguridad industrial producidos por empresas metalúrgicas. Pero no se encontraron estudios relacionados a mejora de procesos de fabricación de moldes de bolas por lotes.

Con ello la presente tesis pretende aumentar el grado de conocimiento sobre la producción por lotes de una fundición no automatizada. Todo lo abordado en esta tesis, se ha ido implementando en “ZXY”, por ello esta es una **Investigación Aplicada**.

## 2.2. MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El método de la investigación es del tipo *experimental*, ya que al realizar el presente estudio se han manipulado deliberadamente diferentes variables, determinadas como posibles causas y se han analizado los efectos obtenidos dentro de una situación bajo el control del investigador<sup>2</sup>.

La manipulación se ha realizado sobre la variable independiente:

X: Programa MEPROFUL

X<sub>a</sub>: Planeamiento y control de la Producción.

X<sub>b</sub>: Tratamiento Térmico

X<sub>c</sub>: Zona de Acabados.

X<sub>d</sub>: Zona de Maquinado

Adicionalmente se analiza el efecto sobre la variable dependiente:

Y: Abastecimiento de moldes de bolas.

La manipulación se ha realizado con diferentes modalidades, dependiendo de la variable independiente, la medición se realiza en base a la cantidad de moldes en proceso por área, cantidad de moldes producidos, el inventario de

---

<sup>2</sup> METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN, R. Hernández, C. Fernández, P. Baptista, 1997, Ed. McGraw-Hill

moldes terminados, la reducción de tiempos muertos y la disminución del tiempo de ciclo del proceso productivo.

El diseño de investigación es Pre y Post tratamiento, donde se mide la cantidad de moldes de bolas entregados a U.P. Bolas, el tiempo de ciclo total, los tiempos muertos y la distancia recorrida en la zona de maquinado antes y después de la implementación del modelo MEPROFUL.

### 2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

**La población** son todos los procesos que comprende la línea de fabricación de moldes de bolas incluyendo el área de planeamiento y control de la producción.

**La muestra** son los procesos a los cuales se ha implementado mejoras tales como: P.C.P., Tratamiento térmico, Acabados y Maquinado.

### 2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

La técnica de recolección de datos utilizada fue la **Observación Sistemática**, ya que se realizaron registros de forma sistemática, válida y confiable del desenvolvimiento de cada uno de los procesos comprendidos dentro de esta investigación. La observación fue del tipo no participante.

Para el caso del proceso de maquinado se realizaron **Observaciones instantáneas**, por medio de cronometraje. En el caso de tratamiento térmico, se recurrió a la consulta de archivos y data histórica, adicionalmente se obtuvieron registros dentro de la presente investigación.

## **2.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS**

Los datos fueron levantados mediante observaciones y toma de tiempos. Para los procesos por lotes se utilizará tiempos estándar determinados en la toma de información durante la presente investigación; para el proceso de maquinado en que la configuración se torna del tipo continua, el estudio de tiempos se hará mediante la utilización de cronómetro. Los datos serán procesados sacando el promedio de las muestras tomadas.

La técnica de análisis utilizada fue comparar los datos antes y después de la implementación del programa MEPROFUL.

## **2.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Justificación**

Las razones y motivos que impulsaron a realizar el presente trabajo son:

- La inexistencia de un método para la programación y el control de producción de moldes de bolas.
- Las continuas interrupciones en el flujo productivo de moldes de bolas.
- El constante desabastecimiento de moldes de bolas, obligando a la línea de bolas a utilizar moldes de bolas reparados incrementando de esta manera el % de bolas defectuosas.
- Los tiempos muertos perdidos en maquinado por una mala disposición de equipos.

## **Importancia**

- La tesis desarrollará una metodología que en general servirá para la programación y control de la producción de productos que se elaboren en fundiciones con un proceso productivo del tipo intermitente.
- La tesis mostrará la forma de identificar oportunidades de mejora, analizarlas y en base a observación de resultados y proyecciones de cálculo, implementar mejora de procesos.

## **2.7. LIMITACIONES**

La tesis comprende desde la delimitación de procesos, identificación de oportunidades de mejora, implementación de mejora de procesos, aplicando una metodología para la programación y el control de producción que elimine altos inventarios en procesos y reduzca el tiempo de flujo, reducción de tiempos en el proceso de tratamiento térmico, hasta la redistribución de equipos en la zona de maquinado para optimizar el proceso de una producción del tipo continua.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

Al realizar la búsqueda de antecedentes de estudios relacionados con el presente tema de tesis, se halló diversos estudios acerca de fundiciones en lo referente a composición química y estructura de los metales, moldes de arena, técnicas de fundición y de moldeo, propiedades y tipos de fundición de forma general, además de contaminación ambiental y seguridad industrial producidos por empresas metalúrgicas. Pero no se encontraron estudios relacionados a mejora de procesos de fabricación de moldes de bolas por lotes.

Es probable, que la cantidad reducida de empresas que producen bolas de acero para la molienda determine la casi nulidad de estudios referentes a los procesos de fabricación de moldes de bolas.

En el Perú, de 102 fundiciones sólo 4 de ellas fabrican bolas de acero fundidas, de las cuales una es “ZXY”, que realiza la fundición en un horno de arco eléctrico de 18 toneladas de capacidad en el cual funde la chatarra con los ferroaleantes hasta obtener el acero líquido que es vaciado a los moldes de bolas.

Otra de las fundiciones es “MOLY-COP PERÚ S.A.C” que fabrica bolas para la molienda a través del forjado, es decir, aquí no existe utilización de estos moldes de bolas; y las otras 2 fundiciones: “DELTA INDUSTRIAL S.A.” y “VALDERRA S.A.C.”, fabrican las bolas en estantes de arena, proceso diferente a los utilizados por “ZXY”.

En el extranjero la mayoría de empresas que fabrican bolas para la molienda de minerales, utilizan el proceso de forja, que es diferente al estudio en cuestión.

## **3.2. VARIABLE INDEPENDIENTE: PROGRAMA DE MEJORA DE PROCESOS**

### **3.2.1. ENFOQUE BASADO EN PROCESOS**

Para establecer un programa de mejora de procesos es necesario en primera instancia, ver todo el flujo productivo de fabricación como un proceso. Urge la necesidad de eliminar la antigua cultura de las pequeñas islas dentro de la organización y establecer una nueva

forma de trabajo: *la organización como una sola entidad*, en donde todos sus colaboradores apunten a un mismo objetivo.

El Enfoque basado en Procesos constituye uno de los ocho principios de gestión de la calidad de la familia de normas ISO 9000, el cual sostiene que: “Un resultado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso.”<sup>3</sup>

Es así, que se entiende que cualquier actividad o conjunto de actividades relacionadas entre sí, que utilizan recursos y controles para transformar elementos de entrada en resultados puede considerarse como un proceso. Los resultados son los elementos de entrada con un valor añadido, y que a la vez estos resultados pueden ser elementos de entrada de otros procesos. Considerar las actividades agrupadas entre sí permite a la organización alcanzar resultados deseables de una manera más eficiente.

### **3.2.2. MEJORA DE LOS PROCESOS**

La mejora de los procesos significa optimizar la efectividad y la eficiencia, mejorando también los controles, enfocándose a los clientes y a los resultados. Mejorar los procesos es tener como meta

---

<sup>3</sup> Guía para una Gestión basada en Procesos, Centro Andaluz para la Excelencia en la Gestión, España 2009.página 17.

la excelencia y para alcanzar la excelencia la organización tiene que orientar sus esfuerzos al mejoramiento continuo de la calidad. La calidad es la clave de la excelencia.

Los colaboradores de toda empresa, tienen que tomar conciencia de que calidad son todos y cada uno, por ello es necesario: el trabajo en equipo, compromiso de todos, objetivos de calidad claros y concretos, medidas correctivas y preventivas, entre otros. Es fundamental **hacer las cosas bien desde la primera vez.**

Para mejorar los procesos se debe realizar un análisis de todo el flujo de trabajo, fijar objetivos orientados al cliente (ya sea cliente externo o cliente interno para el caso de procesos productivos interactuantes), desarrollar y ejecutar actividades de mejora determinando responsables de cada proceso.

Para el análisis de todo el flujo de trabajo es recomendable diagramar el proceso, ya que esto facilitará la identificación de todas y cada una de las actividades que conforman un proceso, adicionalmente es necesario establecer una tabla de actividades en la cual se indiquen los responsables de cada actividad y los resultados o entregables para el siguiente proceso.

Una vez hecho el análisis se debe identificar las actividades o procesos que originarán mayor impacto en la obtención de los resultados., a estas actividades o procesos se les puede tildar de críticos. Realizada esta identificación se procede al desarrollo de mejora de los procesos en los cuales se encuentran estas actividades y se definen los responsables o el equipo responsable de la mejora a realizar.

### **3.2.3. PROCESOS A REALIZAR MEJORAS**

Dentro del flujo productivo de fabricación de moldes de bolas se han identificado los siguientes procesos a realizar mejoras: Programación y control de la producción, tratamiento térmico, acabado de piezas y el proceso de maquinado. A continuación se conceptualizará cada proceso a mejorar, salvo el de acabados ya que este se encuentra detallado en el capítulo IV.

#### **3.2.3.1. Programación y Control de la Producción**

- **Programación de la producción**

La programación de la producción determina cuándo se debe dar inicio al proceso productivo, así como también el momento en que determinado lote de producción se encontrará en determinado proceso además de establecer el compromiso con el cliente para

la entrega del producto. La programación se debe realizar bajo los siguientes criterios:

- ✓ Demanda
- ✓ Tiempos de fabricación.
- ✓ Capacidad de producción
- ✓ Utilización eficiente de los recursos.
- ✓ Fecha de entrega solicitada por el cliente (en este caso el cliente es la Unidad De Producción De Bolas).

○ **Control de la producción**

Consiste en procurar que el programa de producción se cumpla lo más posible, desde el inicio de la producción, durante el proceso y la entrega de los productos terminados. Para esto es necesario que el flujo productivo nunca se interrumpa. La programación y control de la producción en “ZXY” se realiza mediante la filosofía de Teoría de Restricciones (TOC).

○ **Teoría de Restricciones para la programación y control de la producción**

La teoría de restricciones o TOC, llamada así por sus siglas en inglés (Theory of Constraints), atribuye su creación al Dr. Eliyahu Goldratt quien en el año 1979 lanzó un sistema computarizado de programación de producción, el pequeño OPT (siglas en inglés del sistema Optimized Production Technology), descubriendo al

mundo esta teoría de administración que hoy es utilizada por un sin número de empresas en el mundo.

El TOC se basa en que toda organización creada con fines de lucro tiene como meta “ganar dinero” y si la meta es ganar dinero entonces se debe ganar todo el dinero que se pueda, es aquí donde las *restricciones* son la respuesta al por qué las empresas no pueden ganar dinero de forma infinita.

Estas restricciones pueden ser:

- ✓ **Físicas**, cuando la limitación está relacionado con un factor tangible del proceso de producción
- ✓ **De Mercado**, cuando el impedimento está impuesto por la demanda del mercado
- ✓ **Políticas**, cuando la organización ha adoptado procedimientos o prácticas que originan resultados contrarios a los deseados.

○ **Principios básicos de la TOC**

Los principios básicos se pueden resumir en nueve reglas:

**Regla 1: No se debe equilibrar la capacidad productiva sino el flujo de producción.**

En toda planta existen dos hechos la existencia de eventos dependientes y las fluctuaciones estadísticas. Los recursos en producción no son independientes sino una cadena de eslabones interdependientes, trabajando con una misma meta. Cuando los

procesos son dependientes entre si, las desviaciones en la realidad no se promedian, sino que se acumulan provocando retrasos que posteriormente serán muy difícil de recuperar.

**Regla 2: La utilización de un recurso que no es un cuello de botella no está determinada por su propia capacidad, sino por alguna otra limitación del sistema.**

Los recursos que no son cuello de botella tienen que trabajar subordinados al cuello de botella.

**Regla 3: La utilización y la activación de un recurso no son el mismo concepto.**

“Utilizar” un recurso es usarlo de tal forma que acerque a la meta, “activar” el recurso es hacer que este trabaje, sin necesidad de que esto acerque a la meta.

**Regla 4: Una hora perdida en un cuello de botella es una hora que pierde todo el sistema.**

La capacidad del cuello de botella es la capacidad del sistema, si este recurso cesa una hora su trabajo, entonces todo el sistema habrá producido una hora menos y por lo tanto es una hora menos que el sistema deja de percibir ganancias.

**Regla 5: Una hora ganada en un recurso no cuello de botella es un espejismo.**

Siempre se ha creído que ningún recurso debe permanecer ocioso ya que esto es mantener costos fijos sin que produzcan, pero cuando un recurso no limitante trabaja una hora adicional al cuello de botella, no genera más throughput, sino que incrementa el inventario en proceso.

**Regla 6: Los cuellos de botella rigen tanto el inventario como la facturación del sistema.**

Si el sistema está limitado por la capacidad del cuello de botella, entonces su facturación estará limitada de la misma forma.

**Regla 7: El lote de transferencia puede no ser, y de hecho muchas veces no debe ser, igual al lote en proceso.**

El tamaño de los lotes de procesos están determinados por un determinado centro de trabajo entre dos set up consecutivos, los lotes de transferencias son los que se transportan de un centro de trabajo a otro. Por la facilidad de manipuleo los lotes de transferencia deben ser menores a los lotes de procesos, ya que siempre se debe apuntar a reducir los set up de máquinas, pero a la vez se debe mantener el flujo constante y equilibrado en el sistema.

**Regla 8: El lote de proceso debe ser variable a través de la ruta y también en el tiempo.**

Los lotes de proceso deben ser flexibles, es decir deben acortarse, dividirse y adaptarse al comportamiento dinámico de cualquier proceso de producción, donde los cuellos de botella pueden saltar de un lugar a otro dependiendo de la programación de producción a realizar.

**Regla 9: Las prioridades sólo se pueden fijar teniendo en cuenta simultáneamente todas las limitaciones del sistema.**

La mayoría de los retrasos que suceden en el proceso de producción se deben a la falta de análisis y la frecuente ocurrencia de fenómenos aleatorios desfavorables. La programación de la producción se debe realizar con los supuestos que puedan alterar el flujo productivo.

- **Manufactura sincronizada**

En el libro "La Carrera", Goldratt nos dice que la manufactura sincronizada es un sistema que pretende mover los materiales rápida y fluidamente por los diversos lugares de la planta, de acuerdo con la demanda. Además, el autor del TOC expone la solución al dilema de reducir el stock de productos en proceso sin dañar el throughput ni incrementar los gastos de operación.

En un proceso productivo existen actividades que tienen que realizarse en secuencia, es decir una o varias actividades dependen de otras (eventos dependientes) y cuando todas estas actividades no caminan a un mismo ritmo, se originan dispersiones que son causadas por la combinación de eventos dependientes y fluctuaciones estadísticas. Estas dispersiones se traducen en una acumulación de stock en proceso, originando altos inventarios e incrementado el gasto de operación.

Para disminuir los inventarios en proceso es necesario determinar el cuello de botella del sistema o también llamado tambor del sistema. Los cuellos de botella aparecen porque cada recurso tiene una capacidad diferente al de otro, a esto Goldratt lo llama *capacidad desequilibrada*.

- **Capacidad Desequilibrada**

TOC presenta un enfoque que se contrapone al paradigma de equilibrar los procesos dentro de un sistema de producción, mientras que lo tradicional es determinar una tasa promedio de producción y alienar todas las estaciones de trabajo a esta tasa ajustando los equipos, las cargas de trabajo, la mano de obra y todos los recursos necesarios. Para la TOC igualar las capacidades es una mala decisión, lo que propone no es balancear la capacidad sino balancear el flujo del producto por

planta<sup>4</sup> con la demanda, propone equilibrar el ritmo de producción de los recursos que no son cuello de botella al ritmo que marca la limitación del cuello de botella. Y después de conseguir el equilibrio del flujo se debe procurar elevar la capacidad del cuello de botella para así incrementar la capacidad del sistema.

El determinar una tasa promedio origina que los inventarios en proceso se incrementen obstaculizando de esta forma el flujo productivo, alargando los tiempos de proceso y elevando los gastos de operación.

- **Sistema TAC: Tambor – Amortiguador – Cuerda**

Es un sistema de programación y control de la producción también conocida como DBR por sus siglas en inglés Drum – Buffer – Rope,

### **Tambor**

Más conocido como Cuello de Botella, es un recurso cuya capacidad es igual o menor a la demanda que hay de él. Es decir, el tambor es la restricción del sistema y su capacidad determina la capacidad del mismo. En un proceso continuo que trabaja las 24 horas del día los 365 días del año, el tiempo perdido en el cuello de botella, jamás se recupera.

---

<sup>4</sup> LA META, Un proceso de mejora continua. Eliyahu M. Goldratt, 2da Edición en español, 1998. Ediciones Castillo

Goldratt le da el nombre de tambor, por que es el recurso que debe marcar el ritmo en que marche la producción, todo el sistema debe estar subordinado a su paso. Si en algún momento, un recurso marcha a más velocidad que el tambor generará una dispersión (aumento en el inventario en proceso), y si algún recurso marcha a menor velocidad que el tambor entonces la producción se detendrá, los tiempos de entrega se alargarán, no se cumplirán con los tiempos comprometidos y esto deteriorará el throughput de la empresa.

### **Amortiguador**

Más conocido como Buffer, es la protección que se le da al sistema, frente a los supuestos que puedan alterar al mismo y originar dispersiones o los llamados huecos en el proceso productivo, estos huecos son los momentos en que el tambor se queda sin material para trabajar. Es un amortiguador de impactos basado en tiempos de proceso y varía dependiendo de cada proceso productivo y sus recursos disponibles.

A diferencia de los tradicionales inventarios de seguridad que significa tener una cantidad adicional de material, con los buffer se hace llegar el material a los puntos críticos con una cierta anticipación. Los buffer ya no son colocados a lo largo de todo el proceso productivo, sino que son ubicados sólo en los puntos estratégicos que se relacionan con las restricciones del sistema.

Para el sistema DBR se establecen 3 buffers:

1. *Shipping buffer o amortiguador de embarque*, es la protección para entregar el producto final a tiempo con la fecha comprometida con el cliente.
2. *Buffer del recurso con capacidad restringida*, es la protección del cuello de botella, de tal manera que se garantice el cumplimiento de la programación del tambor.
3. *Assembly buffer o amortiguador de ensamble*, es el establecimiento de la cuerda con su buffer programando cuándo debe lanzarse los materiales a procesar en el recurso restringido garantizando que llegue en el momento debido.

Una regla práctica para el cálculo del tamaño del buffer, es:

- ✓ Si el proceso está dominado o controlado

$$\text{Buffer} = \text{Touch Time} / 2$$

- ✓ Si el proceso es no dominado o no controlado

$$\text{Buffer} = \text{Touch Time}$$

Esta regla puede variar a criterio del planeador, el cual tiene que tomar en cuenta la complejidad del proceso, la cantidad de fluctuaciones y perturbaciones que se presentan en las diferentes plantas productivas que en ocasiones no necesariamente se deban directamente temas productivos sino que estén

relacionados con mantenimiento, mano de obra, actividades internas o factores externos.

### **Cuerda**

Conocida también como Rope, si al tiempo de preparación y ejecución necesarios para todas las operaciones anteriores al tambor, se le agrega el tiempo del Buffer, se obtiene como resultado el llamado "Rope-length" o longitud de la cuerda.

La liberación de materias primas y materiales a la planta, está entonces "atada" a la programación del tambor, ningún material puede entregarse a la planta antes de lo que la "longitud de la cuerda" permite, de este modo cada producto es "tirado por la cuerda" a través de la planta. Esto sincroniza todas las operaciones al ritmo del tambor, lográndose un flujo de materiales rápido y uniforme a través de la compleja red de procesos de una fábrica.

El método de programación DBR (Drum-Buffer-Rope) puede llevar a beneficios substanciales en la cadena de suministros asegurando que la planta esté funcionando a la máxima velocidad con el mínimo de inventarios y alcanzando a satisfacer demandas inesperadamente altas.

Así como el eslabón mas débil determina la resistencia de una cadena, de la misma forma sólo unos pocos recursos críticos (llamados cuellos de botella) determinan el rendimiento de una de una planta. Identificando y programando primero estos recursos, es posible administrar el flujo de productos de esta fábrica. Los recursos que no son críticos se deben utilizar para servir a los que sí lo son, es decir deben marchar al ritmo del tambor.

El sistema TAC propone programar el trabajo correctamente para obtener el máximo rendimiento sin interrupciones en los cuellos de botella, y controlar la salida de material para mantener el desempeño sin crear colas innecesarias de trabajo en los recursos menos restringidos, con el fin de que la fábrica consiga el flujo óptimo. La restricción sola no puede asegurar la entrega a los clientes, se necesita soporte de los otros recursos, lo que significa que la restricción queda libre al azar cuando uno de los recursos que la alimenta se detiene. Bajo TAC o DBR, la solución no es llevar a toda la planta a una inestabilidad violenta reaccionando a cada problema, sino proteger los recursos críticos de las perturbaciones o fluctuaciones que pueda sufrir usando BUFFERS (amortiguadores de tiempo). Con estos buffers, en un mundo perfecto, los trabajos llegarán un tiempo antes de que los necesite el recurso crítico. Sin embargo, en el mundo real, se retrasan pero

igualmente llegan a tiempo para que el recurso crítico siga funcionando.

De esta forma el material se mueve más rápidamente a través de la planta siendo ésta una alternativa sensata, especialmente en plantas donde el tiempo en colas de trabajo ocupa más del 80%.

Un inventario innecesario obstaculiza el paso, e impide el flujo de material. Por lo tanto, DBR indica que la planta debe trabajar sólo en lo que sea necesario para alcanzar los requerimientos del mercado, y no en lo que se requiere para mantener a los trabajadores y a las máquinas ocupadas. Además, el tiempo de salida de materiales debería ser controlado por lo que los cuellos de botella pueden fabricar (con los buffers apropiados). A esto se le llama atar el comienzo de operaciones al cuello de botella mediante la cuerda (ROPE).

- **Sistema TAC-Simplificado o Simplified Drum Buffer Rope (SDBR )**

El SDBR se basa en los mismos conceptos del DBR a diferencia que la restricción ya no es un recurso interno, sino que el limitante llega a ser la demanda del mercado. Otra gran diferencia es que sólo incluye el Buffer de embarque, que es el que protege al cliente. De esta forma se puede establecer un cronograma de producción en donde el buffer se acumula al final del proceso.

Para un proceso en donde no existe una marcada existencia de un cuello de botella, mejor es la acumulación del buffer al final antes que la dispersión en los recursos de capacidad restringida.

- **Programar con SDBR**

En un inicio la restricción de la fabricación de moldes de bolas fue el proceso de tratamiento térmico, una vez realizada la mejora a este proceso en que se redujo el tiempo operativo, maquinado se convirtió en el recurso restrictivo, pero al realizar el estudio se vio que su capacidad llega a satisfacer la necesidad del cliente interno con lo cual la existencia de un cuello de botella se vio minimizada.

Esto fue el sustento para adoptar la política planteada por SDBR, quedando como restricción la demanda del mercado. El primer paso es determinar el tamaño del buffer, que debería ser de tal forma que pueda cubrir las perturbaciones posibles a ocurrir. Es decir, si el conjunto de perturbaciones suman 7 días, la protección de 8 días podría ser suficiente, esto variará según el tiempo de los procesos y su complejidad.

Estipulado el tamaño del amortiguador, se establece el programa de entregas y se inicia el conteo hacia atrás, de tal forma que los 8 días de protección vayan al final. Si apareciera alguna perturbación precedente no mayor a 8 días, será absorbido por el

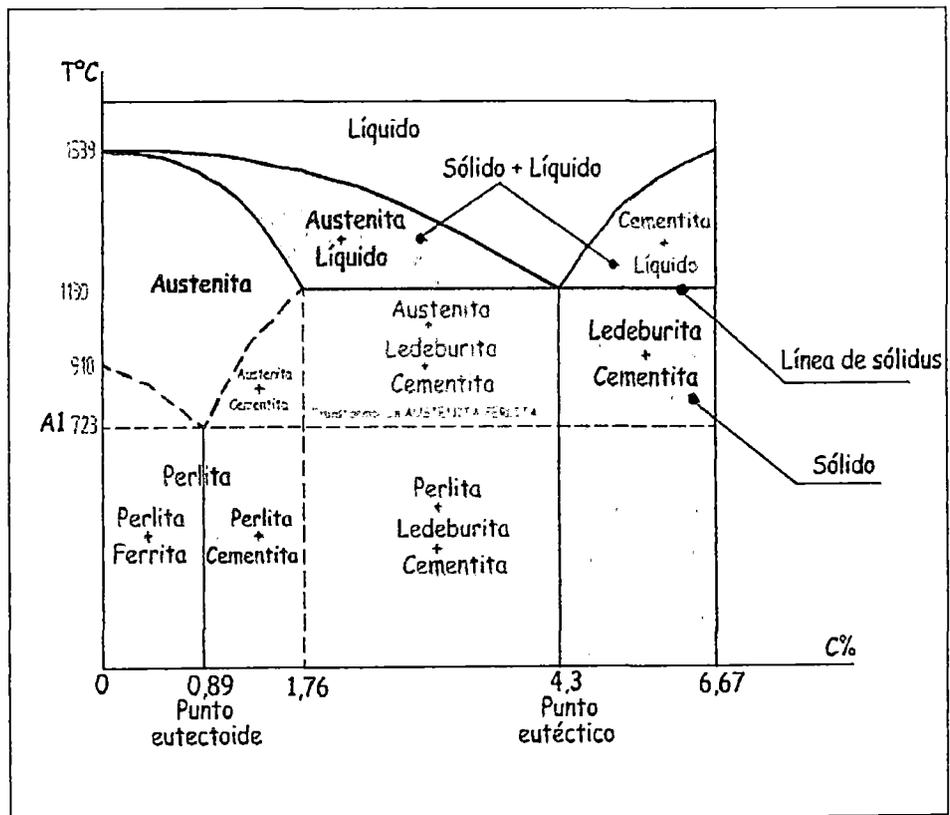
buffer y no afectará el throughput del sistema. Es un error común caer en la tentación de concentrar la protección en el origen del trastorno, ya que esto sólo producirá un efecto nocivo para la empresa, la protección se debe concentrar al final para el caso del SDBR o antes del tambor para el caso del DBR, el ubicarla en otro lugar solamente alargará el proceso productivo dando por consecuencia el incumplimiento de los compromisos adquiridos con los clientes.

#### **3.2.3.2. Proceso de Tratamiento térmico**

Por tratamiento térmico se comprende al cambio de estructura y, por lo tanto, al cambio de las propiedades de la aleación, que se consigue mediante el calentamiento hasta una determinada temperatura, exponiendo la aleación a esta temperatura durante un cierto tiempo y el enfriamiento ulterior a una velocidad determinada.

Existen varios tipos de tratamientos (recocido, normalizado, templado, revenido, etc.) que en forma distinta cambian la estructura y las propiedades del acero y que se recomiendan en base a las exigencias planteadas a los semiproductos (piezas fundidas, forjadas, laminadas, etc.) y a los artículos preparados. Solamente con ayuda del tratamiento térmico se pueden obtener altas propiedades mecánicas del acero que garantizan un trabajo

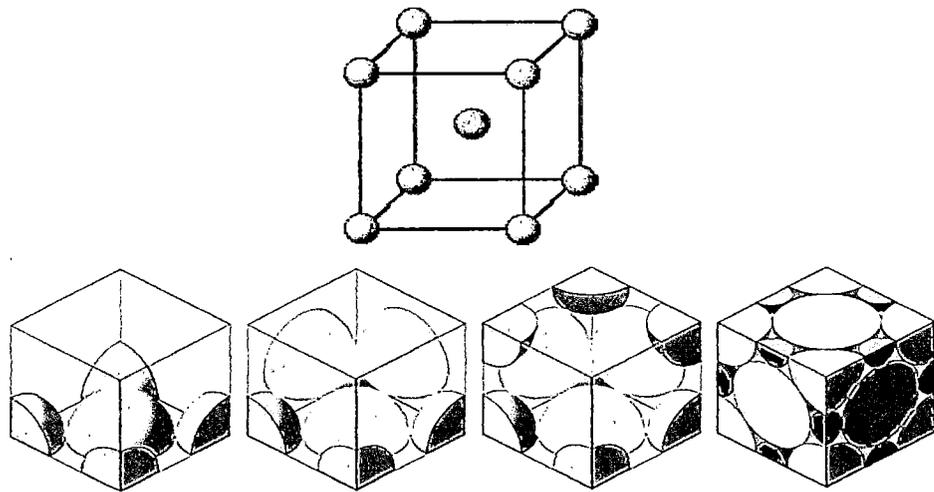
normal de los elementos de diversas máquinas y herramientas. En la Figura N° 1 aparece el diagrama Hierro – Carbono, haciendo el análisis respectivo, se puede apreciar que el hierro y el carbono constituyen aleaciones únicamente hasta un 6,67% en peso de carbono. Con esta concentración y con concentraciones superiores se crea un compuesto químico denominado cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) que no tiene propiedades metálicas. Por lo tanto, únicamente se estudia el diagrama hasta esa proporción para la presente investigación.



**Figura N° 1:** Diagrama Hierro – Carbono  
**Fuente:** Ingeniería de sistemas educativo

En la solidificación aparece una solución sólida llamada austenita para proporciones inferiores al 1,76% de carbono, y con un 4,30% se crea un eutéctico llamado ledeburita. Esto provoca la primera clasificación del sistema hierro-carbono: determinando como aceros si la proporción de carbono es inferior a 1.

La austenita también se llama hierro- $\gamma$ , y tiene una red cúbica centrada en las caras (FCC) que en su interior admite átomos de carbono, como aparece en la Figura N° 2.

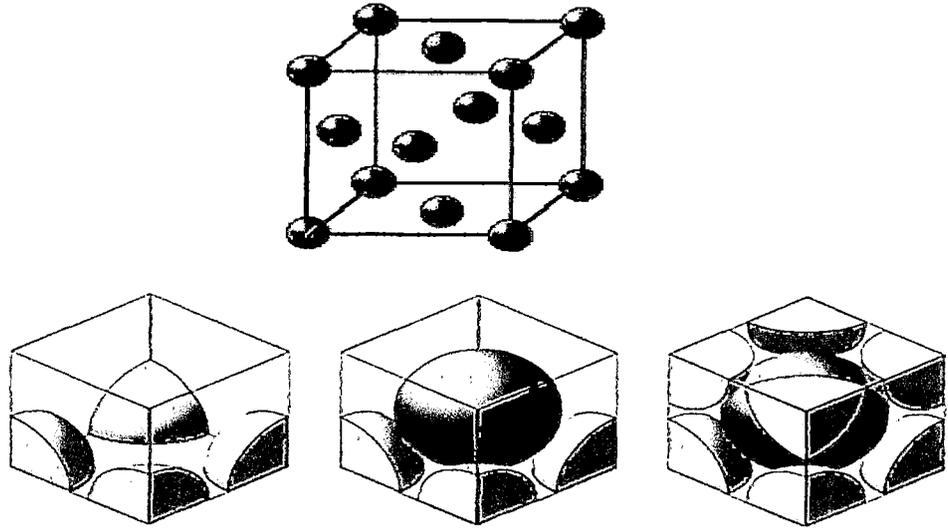


**Figura N° 2:** Red Cúbica Centrada en la Cara (FCC)

**Fuente:** IMPRESS (Supporting education across Europe)

Pero cuando se contrae la red al disminuir la temperatura, disminuye la solubilidad y se expulsa el carbono sobrante en forma de cementita. Cuando la temperatura baja hasta 723° C el hierro sufre un cambio alotrópico y su red se transforma en cúbica centrada en el cuerpo (BCC), que no acepta apenas átomos de

carbono en su seno; entonces el hierro se denomina ferrita o hierro- $\alpha$ . La estructura está visualizada en la Figura N° 3.

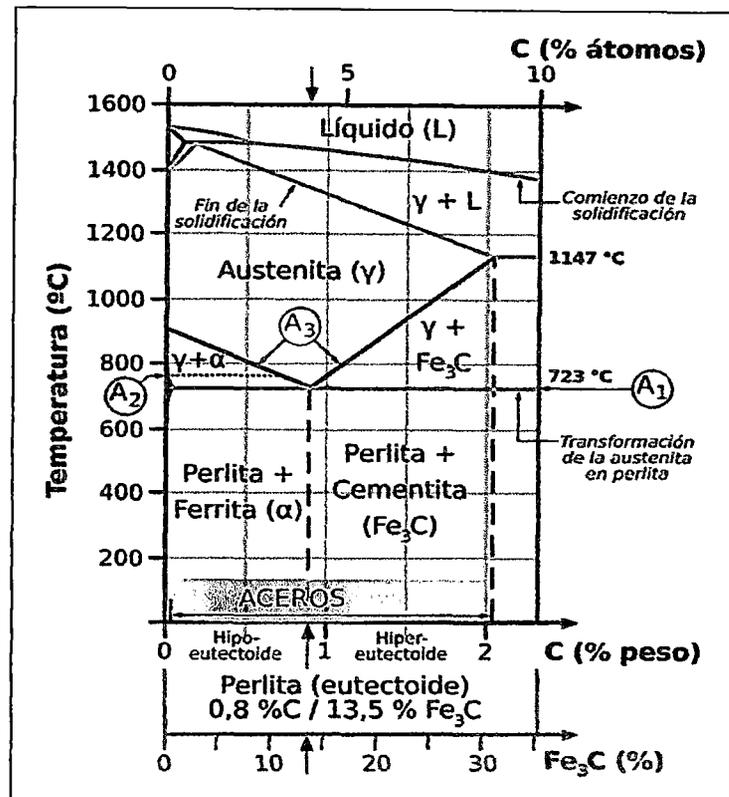


**Figura N° 3:** Red Cúbica Centrada en el Cuerpo (BCC)

**Fuente:** IMPRESS (Supporting education across Europe)

Este cambio de solubilidad en estado sólido conlleva la formación de un eutectoide llamado perlita con una concentración de 0,89% de carbono que está formado por láminas de ferrita y de cementita.

En la Figura N° 4 se analiza más detalladamente el comportamiento de la Cementita, en el diagrama Hierro – Carbono. A los aceros que tienen una proporción menor que 0,89% de carbono se les denomina hipoeutectoides, y si tienen entre 0,89 y 1,76% de carbono, hipereutectoides.



**Figura N° 4** Diagrama Hierro Carbono Cementita  
**Fuente:** Apuntes técnicos para todos

### Tratamiento térmico de normalizado

La normalización del acero consiste en el calentamiento del acero hasta 50 – 60° por encima de  $A_{c3}$  para el acero hipoeutectoide, y por encima de  $A_{est}$  para el acero hipereutectoide, sometiendo a esta temperatura durante corto tiempo y enfriamiento al aire. La normalización produce la recrystalización del acero y, por lo tanto, elimina la estructura de grano basto obtenida durante la fundición o el laminado. La normalización es ampliamente usada para mejorar las propiedades de las fundiciones de acero.

Para los aceros al bajo carbón como es el caso de la aleación en que son fundidos los moldes de bolas, la normalización como operación sencilla (encima de  $A_{est}$  para el acero hipereutectoide), aumenta ligeramente la dureza y garantiza la obtención de una superficie más limpia durante el corte o maquinado.

### **Tratamiento térmico de esferoidizado**

Para los aceros hipereutectoides el recocido incompleto, se emplea, como regla, en lugar del recocido total. En estos aceros el calentamiento por encima del  $Ac_1$  produce prácticamente una recristalización total. Junto con esto, que es de gran importancia para este tipo de aceros, el recocido incompleto permite obtener una perlita de forma granular en lugar de la laminar. A este tipo de recocido se le llama también esferoidización.

Las partículas de cementita en exceso que se disuelven durante el calentamiento, sirven como centros de cristalización para la cementita que se separa de ulterior enfriamiento por debajo de  $Ac_1$  y que toma en este caso forma granular.

### **3.2.3.3. Redistribución de las máquinas herramientas del proceso de Maquinado**

La redistribución de planta se hace necesaria a medida que la empresa va sufriendo cambios y se ve obligada a adaptarse a

ellos, ya que la distribución inicial se va tornando inadecuada para lograr nuevos objetivos.

La redistribución de las máquinas herramientas en los talleres de maquinado viene a ser la reordenación de los recursos disponibles, de tal modo que se establezca un sistema productivo capaz de alcanzar los objetivos trazados de la forma más eficiente posible. En la presente investigación el motivo que justifica la redistribución es el aumento del volumen de producción, que exige un mejor aprovechamiento de espacio, para reducir el recorrido de manipuleo, disminuir los tiempos muertos, incrementar la velocidad del flujo productivo y maximizar los recursos disponibles.

#### **a. Objetivos de la Redistribución de las máquinas herramientas**

- **Unidad**, las máquinas herramientas destinadas a un solo tipo de producto deben estar integradas ya que conforman un mismo proceso.
- **Circulación mínima**, los recorridos a efectuarse por los materiales y los operarios de operación en operación, deben ser realizados de la manera más óptima posible, procurando economizar movimientos, espacio y utilización de recursos.
- **Seguridad**, es vital garantizar la seguridad del personal, así como de gran necesidad disponer las máquinas y los centros

de trabajo de tal forma que se eleve la satisfacción y comodidad para realizar sus labores.

- **Flexibilidad**, la distribución de las máquinas tienen que tener capacidad para adaptarse a nuevas necesidades que en la empresa se puedan suscitar, el mundo actual es muy cambiante y por ello la nueva redistribución de los equipos se debe realizar con una visión de futuro para la organización.

#### **b. Factores que influyen en la selección de la redistribución de planta**

La redistribución de planta debe conseguir un equilibrio entre las características y las consideraciones de todos los factores, de forma que se obtenga la mayor ventaja. Para la redistribución propuesta se ha considerado los siguientes factores:

- **El proceso de fabricación**, la hoja de ruta de fabricación de los moldes de bolas en el proceso de maquinado, indicará la secuencia en que deben estar dispuestos los equipos.
- **Los equipos**, se tomará en cuenta la cantidad de máquinas necesarias, el utillaje así como la utilización y el requerimiento de los mismos.
- **La mano de obra**, es indispensable que la mano de obra esté ordenada en el proceso de redistribución, englobando la directa, la supervisión y demás servicios auxiliares. Es aquí en

donde también se debe considerar la seguridad y la ergonomía (iluminación, ventilación, contaminación sonora y ambiental, etc.) de cada trabajador. Adicionalmente, la nueva distribución tendrá que contemplar la maximización de uso de la mano de obra, es decir la disposición debe buscar realizar el proceso con la menor cantidad de operarios posibles y que a la vez sea acogido por los mismos.

- **El movimiento**, el movimiento o manipuleo no es una operación productiva, pues no añade ningún valor al producto, por lo tanto se debe proyectar que sean mínimos, buscando la eliminación de todo movimiento innecesario. Se ha de establecer un modelo de circulación a través del proceso que sigue el material disminuyendo esperas innecesarias, planificando el movimiento de las entradas y salidas de cada operación en la secuencia establecida por la hoja de ruta, así como el tamaño del lote de transferencia.
- **Las esperas**, la nueva distribución debe conseguir que la circulación de los materiales sea fluida evitando así los costos producidos por las esperas y demoras que tienen lugar cuando el flujo es detenido. Es imperioso realizar un análisis de los puntos en que si debe existir un material en espera (inventario en proceso), ya que como se mencionó líneas arriba, existen puntos en la línea productiva en que paradójicamente debe

existir pequeños inventarios que servirán de protección para que el flujo no se detenga.

- **Los servicios auxiliares**, estos permiten y facilitan la actividad principal de la planta, por ello es indispensable contemplar zona de seguridad, lugar para el extintor y el fácil acceso de personal de mantenimiento para la intervención de los equipos.

### **c. Redistribución de planta por producto**

Para el proceso de maquinado de la fabricación de moldes de bolas, la empresa "ZXY" dispone de máquinas herramientas exclusivas, salvo mínimas excepciones que se puedan dar durante el año, que cuando se presentan sólo ocupan el 5% de la capacidad, es decir, es casi despreciable. Ante tal exclusividad sólo se tomara en cuenta la secuencia presentada en la hoja de ruta, de tal forma que cada operación estará tan cerca como sea posible de su predecesora, las máquinas se dispondrán una junto a la otra en una línea cuya forma será determinada por el espacio disponible, el menor manipuleo y la mejor utilización de los recursos disponibles.

### **3.3. VARIABLE DEPENDIENTE: ABASTECIMIENTO DE MOLDES DE BOLAS**

La producción de moldes de bolas se inicia con la fundición de la colada respectiva, la cual genera un lote de 48 moldes de bola por vez, dándole la configuración de producción por lotes desde el moldeo hasta llegar a la zona

de maquinado. En el proceso de maquinado, la configuración cambia al tipo continuo por contar con máquinas herramientas exclusivas para la producción de los moldes de bolas.

### **3.3.1. CONFIGURACIÓN PRODUCTIVA POR LOTES**

Como ya se expuso líneas arriba, la fabricación de los moldes de bolas tiene una configuración de producción por lotes desde su inicio hasta llegar al taller de maestranza. Se llama producción por lotes cuando se obtienen productos diferentes en las mismas instalaciones, de tal manera que cuando se haya obtenido la cantidad demandada se procede a ajustar las instalaciones para elaborar otro tipo de producto.

### **3.3.2. CONFIGURACIÓN CONTINUA**

La fabricación en lotes se transforma en un flujo continuo de producción cuando se eliminan los tiempos ociosos y de espera, de forma que siempre se están ejecutando las mismas operaciones en las mismas máquinas, para la obtención del mismo producto, con una disposición en línea. Cada máquina y equipo están diseñados para realizar siempre la misma operación y preparados para aceptar automáticamente el trabajo que les es suministrado por una máquina precedente. Los operarios siempre realizan la misma tarea para el

mismo producto. La homogeneidad del proceso y la repetitividad de las operaciones son altas<sup>5</sup>.

Para establecer un proceso de fabricación continua es necesario: que la demanda sea lo más uniforme posible, el producto y trabajo a realizar debe estar estandarizado, los materiales o insumos deben ser entregados a tiempo, el mantenimiento debe ser preventivo y todas las etapas deben estar equilibradas.

### **3.3.3. MOLDES DE BOLAS FUNDIDAS**

#### **3.3.3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS MOLDES DE BOLAS**

Los moldes de bolas son piezas de acero fundido, en aleación al bajo carbón. Las propiedades mecánicas de esta aleación, permite que estas piezas sean sometidas a grandes cargas de trabajo presentando alta tolerancia al calor, resistencia a cambios bruscos de temperaturas y son accesibles a ser soldadas (reparadas).

- **Especificaciones Técnicas**

Los moldes de bolas por ser piezas al bajo carbón tienen las siguientes especificaciones técnicas:

---

<sup>5</sup> DIRECCION DE OPERACIONES, Aspectos estratégicos en la producción y Servicios. José A. Domínguez Machuca, 1ra Edición em español, 1995. Mc Graw Hill

**Tabla N° 1:** Especificaciones técnicas de la aleación de Moldes de Bolas

Resistencia Tracción min.			Punto de Fluencia min			% Mínimo		Dureza	Izol
Lbs/pulg <sup>2</sup>	MPa	Kg/mm <sup>2</sup>	Lbs/pulg <sup>2</sup>	MPa	Kg/mm <sup>2</sup>	Elong	Área Reducible	BHN	Libras/pie
60000	413	42.2	30000	207	21.9	22	40	140 170	20

Fuente: Página Web "ZXY"

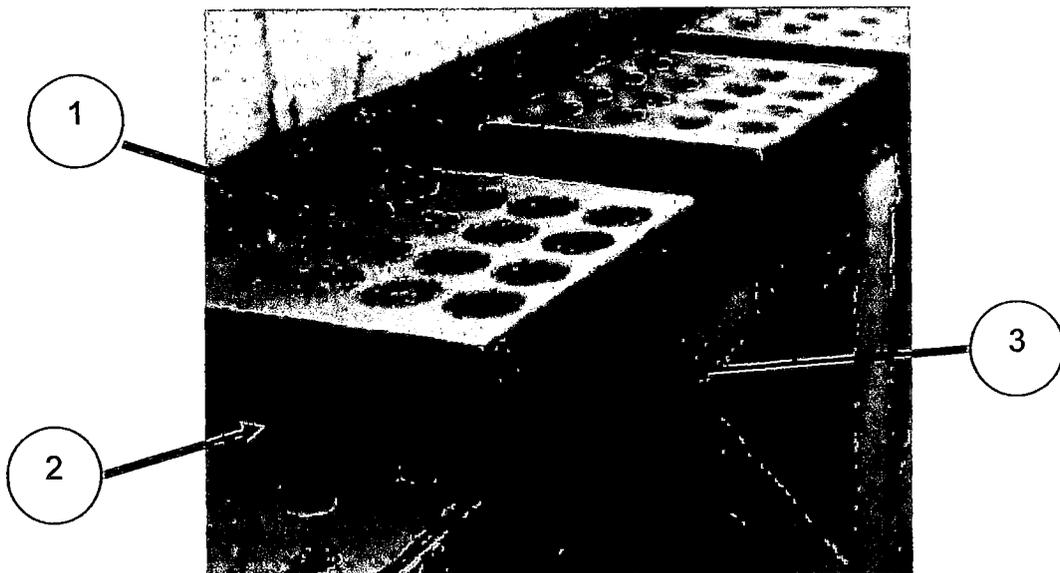
**Tabla N° 2:** Propiedades Mecánicas

Aleación	Código "ZXY"	Referencia ASTM	Maquinabilidad	Soldabilidad
Acero al Bajo Carbon	MA-5E	A27 / GRN-1	Excelente	Excelente

Fuente: Página Web "ZXY"

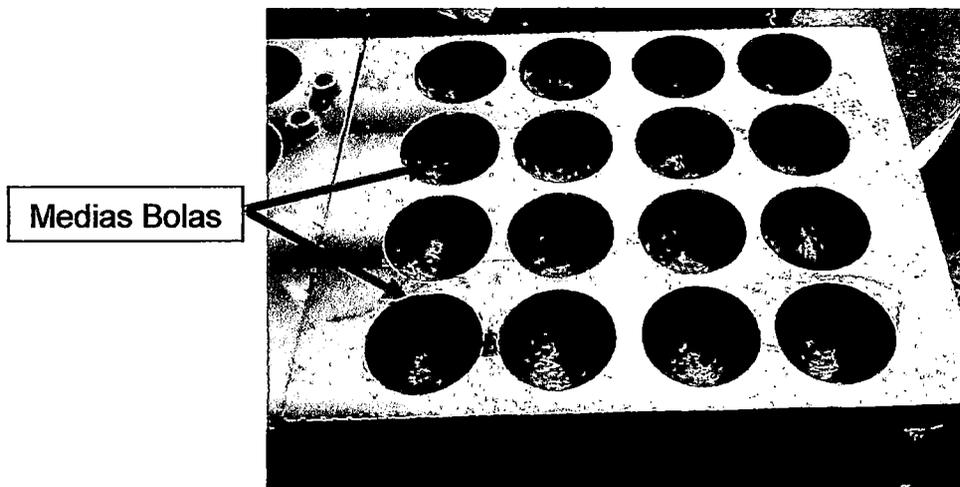
- **Partes de un Molde de Bolas**

Las partes de un molde de bolas se aprecian en la siguiente figura:



**Figura N° 5:** Moldes de Bolas de 2 ½"

1. Cara Superior o cara de las medias bolas. Ver Figura N° 6
2. Cara inferior o cara de los tetones, en donde se ubican los 4 tetones con sus respectivos agujeros roscados. Ver Figura N° 7.
3. Aleta, en donde la pieza lleva inscrito su código y el tipo de aleación. En la Figura N° 8 aparece el código más claramente.



**Figura N° 6** Cara Superior del Molde de Bolas de 2 ½"



Figura N° 7: Cara Inferior del Molde de Bolas de 2 ½".



Figura N° 8: Aleta con código inscrito.

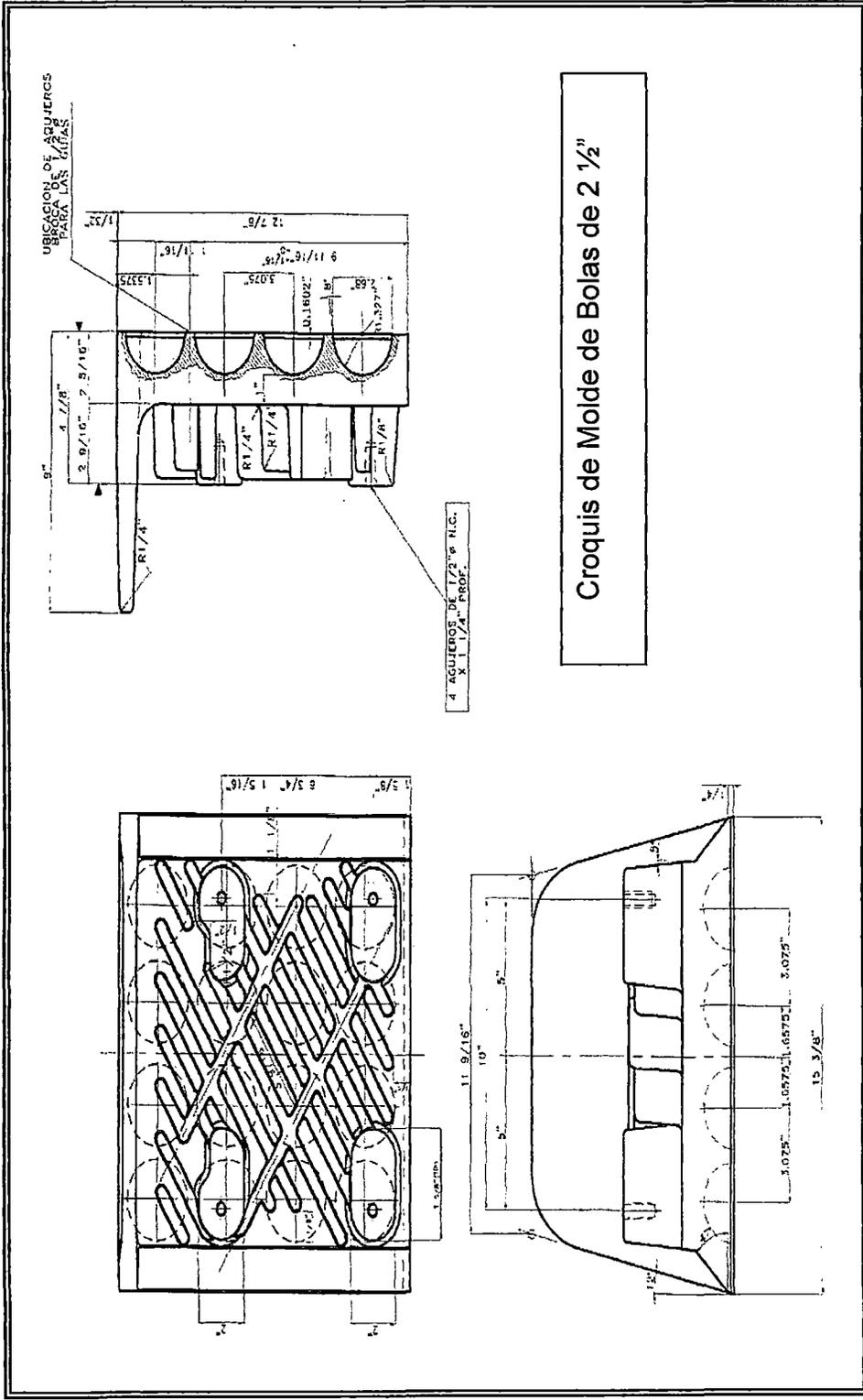


Figura N° 9: Croquis de Molde de Bolas de 2 1/2".

- **Especificaciones de moldes de bolas por diámetro de bola**

Los moldes de bolas varían en peso y en número de medias bolas según el diámetro de bola que van a producir. Esto se especifica en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3:** Especificaciones de Pesos y cantidad de medias bolas por diámetro.

<b>Diámetro</b>	<b>Cantidad de Medias Bolas</b>	<b>Peso de Molde (Kgs.)</b>
1 ½"	48	87
2"	30	89
2 ½"	16	87
3"	12	84
3 ½"	9	85
4"	6	86

**Fuente:** Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV**

### **DIAGNÓSTICO INICIAL**

#### **4.1. DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO**

##### **4.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

“ZXY” es una fundición limeña, perteneciente a la industria metalúrgica, fundada en 1960 cuya planta cuenta con 13 hectáreas de extensión. Sus instalaciones están dispuestas de tal manera que se dividen en dos líneas de producción independientes logrando de esta manera atender al mercado local e internacional con una amplia gama de productos de alta calidad.

Las dos líneas de producción bien definidas son:

1. Las piezas de acero.
2. Las bolas de acero para la molienda de minerales.

#### **4.1.1.1. Misión**

*“ZXY” tiene la siguiente misión: “Estamos abocados a maximizar los resultados de nuestra empresa, con la exigencia de lograrlo en equilibrio con el medio ambiente, dentro de la ley y cumpliendo puntualmente con nuestras obligaciones tributarias. Nuestros clientes y empleados son la esencia de nuestro negocio. Con los primeros, tenemos la obligación de maximizar el valor agregado de lo que les suministramos en términos de calidad, servicio y oportunidad. Con los segundos, nos obligamos a mantener un ambiente de trabajo seguro y adecuado, con una remuneración justa como complemento al reto profesional que les exigimos. Con nuestros proveedores, establecemos relaciones de mutuo beneficio, que permiten un crecimiento conjunto.”*

#### **4.1.1.2. Visión**

*“ZXY” tiene la siguiente visión: “Queremos seguir siendo líderes en el suministro de piezas fundidas y cuerpos molidores con la mejor calidad del mercado. Queremos ser los líderes de la innovación a través de la Ingeniería de Desgaste. Queremos proporcionar soluciones integrales a nuestros clientes, maximizando rendimientos y minimizando las horas de parada de sus equipos. Todo esto sólo es posible creando una organización de alto desempeño.”*

#### **4.1.1.3. Objetivos Organizacionales**

“ZXY”, cuenta con un objetivo organizacional al cual llaman: **“NUESTRA CAUSA JUSTA”**, la cual busca lograr un nivel de compromiso entre la empresa y sus colaboradores, focalizando sus esfuerzos a que éstos sean una sola entidad, un grupo de peruanos llamados “ZXY”.

Además la empresa busca logros que trasciendan y sigan perpetuándose en el tiempo, para ello se ha establecido tres condiciones básicas: que deben cumplirse

##### **a. Desarrollo sostenible de las utilidades**

Las utilidades deben ser crecientes en el tiempo y para ello se debe tener los mejores productos y el mejor servicio del mercado de modo de ofrecer siempre un producto que agregue valor.

##### **b. Desarrollo sostenible del Equipo de Trabajo,**

Para “ZXY”, el activo más importante que tiene son las personas que hacen de “ZXY” lo que es. Por lo tanto, se debe crear las condiciones para que se desarrollen permanentemente tanto en lo profesional como en lo personal y económico.

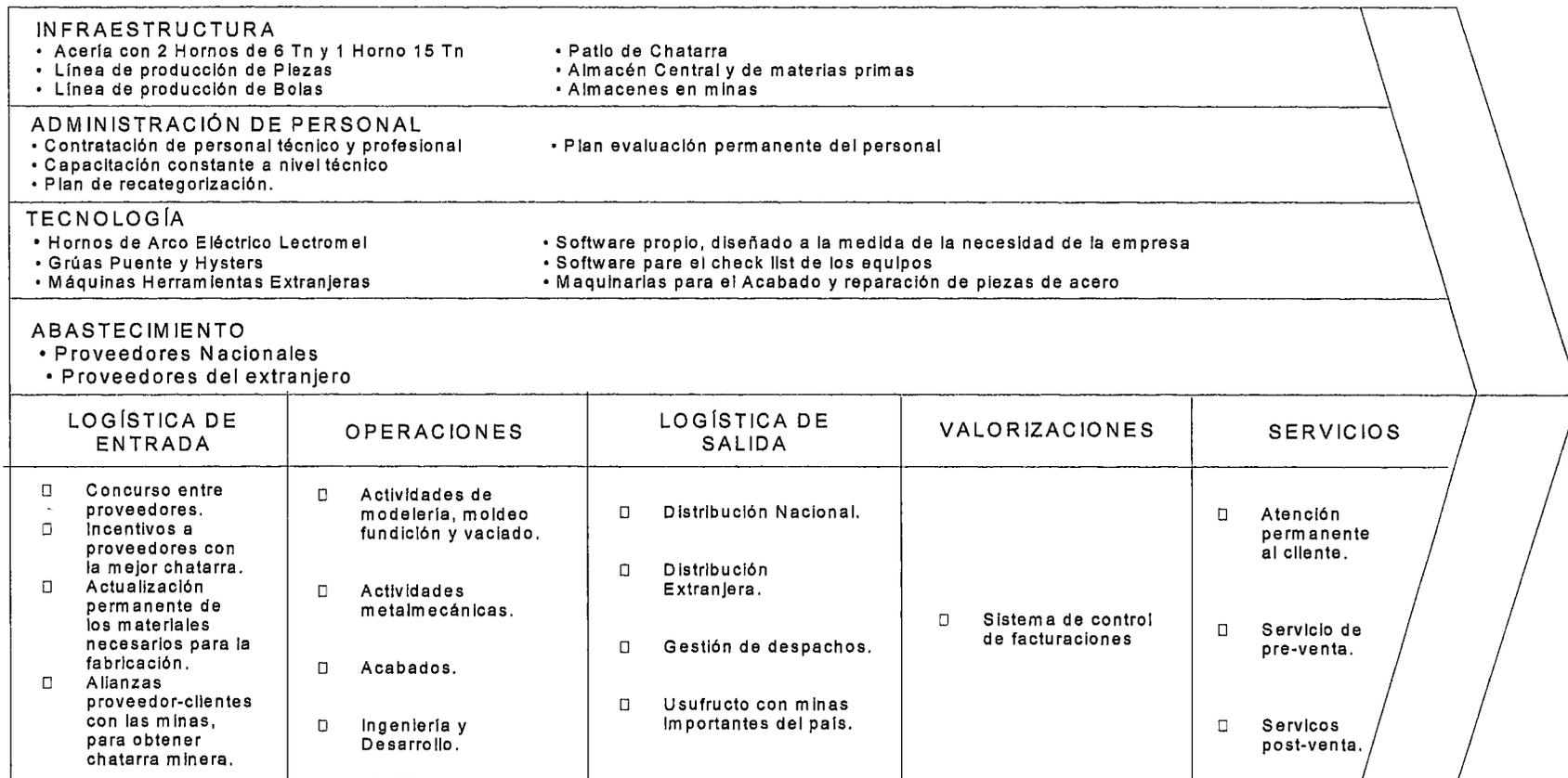
##### **c. Desarrollo sostenible del Medio que nos rodea**

El pensamiento “ZXY” es que las empresas no pueden desarrollarse cuando el medio que las rodea no lo hace de

la misma forma. Por lo tanto "ZXY" debe contribuir para el DESARROLLO DEL MEDIO AMBIENTE, de 2 formas;

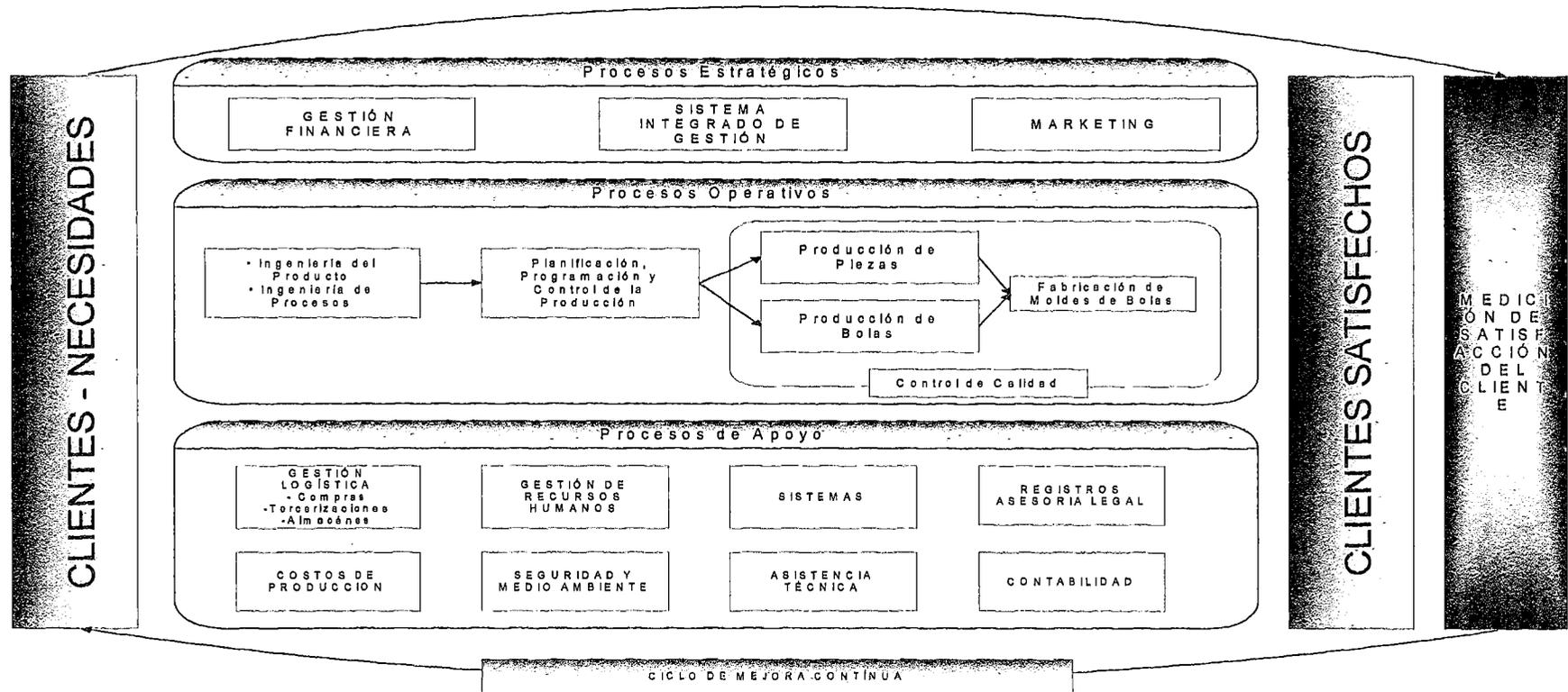
- No generar externalidades negativas como: contaminación
- Colaborando con las iniciativas de las comunidades que nos rodean en proyectos que mejoren su desarrollo, especialmente en educación.

#### 4.1.2. Cadena De Valor



**Figura N° 10** Cadena de Valor  
**Fuente:** Elaboración propia

### 4.1.3. MAPEO DE MACROPROCESOS DE LA ORGANIZACIÓN



**Figura N° 11:**

**Fuente:**

**Mapeo de Macroprocesos**

**Elaboración propia**

#### 4.1.4. ANÁLISIS FODA

##### 4.1.4.1. Oportunidades Y Amenazas

- **Oportunidades**

- ✓ *“El Perú ha sido uno de los países menos impactados por la crisis financiera mundial y uno de los primeros en salir adelante”<sup>6</sup>*. Lo cual hace del país un punto atractivo para las inversiones extranjeras.
- ✓ Esta imagen de estabilidad con la que cuenta el país, trae por consecuencia una ligera ventaja frente a la competencia de empresas del mismo sector en el plano internacional.
- ✓ Por el impacto generado debido a la crisis financiera internacional del 2008, distintas fundiciones limeñas tuvieron que disminuir su personal, con ello, los tiempos de entrega de sus productos crecieron. “ZXY”, no despidió a ningún colaborador a pesar de la crisis, lo cual le da una ventaja competitiva en lo referente a tiempos de entrega.

- **Amenazas**

- ✓ Ingreso de productos sustitutos chinos en el mercado americano, aunque son de muy mala calidad, es probable que en un futuro próximo, avance su tecnología en este rubro llegando a superar su actual debilidad.

---

<sup>6</sup> LUIS ALBERTO MORENO, Titular del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), entrevista hecha por el diario El Comercio, el 29/11/2009, pág. A2

- ✓ Posibilidad de una inesperada crisis financiera en el plano internacional, tal cual sucedió en el 2008.

#### **4.1.4.2. Fortalezas y Debilidades**

- **Fortalezas**

- ✓ “ZXY” cuenta con una gran experiencia y nombre reconocido en el mercado.
- ✓ Máquinas herramientas de alta tecnología.
- ✓ Factor geográfico, el puerto del Callao es terminal estratégico por su ubicación dentro de Sur América, en donde desembarcan y embarcan buques del extranjero, con esto se presenta una oportunidad para poder desarrollar las exportaciones de los productos que “ZXY” fabrica, así como asegurar las importaciones en insumos externos.
- ✓ El Know-How de los profesionales que laboran en “ZXY”.
- ✓ Protección ambiental, actualmente “ZXY” tiene en funcionamiento 3 Colectores de Humos, con lo cual se expresa la gran preocupación que esta empresa tiene en el cuidado del medio ambiente, ya que es la única fundición en el Perú que cuenta con tales equipos.
- ✓ Empresa dispone de potencial para seguir desarrollándose.

▪ **Debilidades**

- ✓ Retraso en las piezas de proceso complejo, no llegando a cumplir con la fecha de entrega comprometida con los clientes.
- ✓ Publicidad y marketing pobre.
- ✓ No existe una planeación estratégica definida.
- ✓ No se le ha dado la importancia debida al mantenimiento de los equipos.
- ✓ Niveles salariales bajos a comparación del mercado, lo que genera un descontento en su personal.

## **4.2. DIAGNOSTICO FUNCIONAL**

### **4.2.1. PRODUCTOS**

“ZXY” tiene una producción basada en 2 líneas de productos que son:

- **Bolas De Molienda**

“ZXY” es el principal productor de Bolas de Acero para la molienda de minerales en el Perú. La línea de bolas representa el 60% de las ventas de la empresa.

- **Piezas Fundidas**

“ZXY” produce piezas fundidas de hierro y acero habiendo fabricado a la fecha más de 10,000 modelos diferentes de piezas, cuenta con una capacidad anual instalada de 6,000 TM anuales.

Mediante la Ingeniería de Desgaste aplicada, ofrece a sus clientes un sistema de trabajo que contempla la búsqueda de la mejor concepción y diseño, los mejores materiales y los procedimientos más adecuados para la elaboración, en un trabajo conjunto con el cliente para obtener como resultado piezas que reflejen la mejor relación costo-beneficio.

La fabricación de piezas de acero y hierro combinada con los mejores materiales, un estricto control de los procesos y los equipos adecuados, dan la flexibilidad de fabricar piezas de diferentes características para innumerables aplicaciones. El proceso productivo es específico para cada pieza y se cuenta con las facilidades necesarias.

A continuación se presentan los diferentes sectores a los que se le suministras piezas fundidas.

### **Para el Sector Minero**

#### **a. Extracción**

- Dientes y sus partes para pala.
- Zapatas de oruga para palas perforadoras.
- Ruedas dentadas y polines para oruga de palas y perforadoras.
- Ruedas, acoplamientos y partes para carros mineros.

## **b. Concentradoras**

- Forros para chancadoras giratorias
- Forros para chancadoras de quijadas
- Forros y martillos para chancadoras de martillos
- Forros para chancadoras de rodillos
- Forros para parrillas de clasificación
- Placas de Desgaste
- Parrillas para zarandas vibratorias
- Forros para transportar bateas
- Bolas fundidas de acero para molienda de minerales
- Forros para molinos (de descarga libre y por parrillas)
- Muñones y tapas para molinos
- Catalinas para molinos
- Alimentadores para molinos
- Zapatas para clasificadores
- Vortex finders para ciclones
- Partes de desgaste para bombas de sólidos (cajas, impulsadores, forros de succión, forros lado motor, etc.)
- Forros para molinos semi autógenos (S.A.G.)

## **c. Fundición y refinería**

- Ollas y cucharas
- Forros para ductos de convertidores
- Marcos, forros y labios para bocas de convertidor

- Anillos, polines y engranajes para convertidores
- Quemadores, sopladores, etc. para convertidores
- Moldes para ánodos (Cu, Pb, etc.)
- Grate bars para máquinas de sinterización
- Moldes y lingoteras
- Bateas para escoria
- Partes y piezas para tostadores
- Ruedas engranajes, eslabones, etc. para equipos de fundición y refinería

#### **Para la Agroindustria**

- Piñones para trapiche.
- Mazas (rodillos) para trapiche
- Cuchillas para trapiches
- Bridas y dados para trapiches
- Marcos y soportes de masas para trapiches.
- Barras desfibradoras
- Martillos para desfibradoras.
- Placas de desgaste para desfibradoras.
- Vírgenes Maquinadas

#### **4.2.2. CLIENTES**

“ZXY” abastece de bolas para la molienda así como piezas de desgaste a diferentes empresas mineras del Perú y en el extranjero.

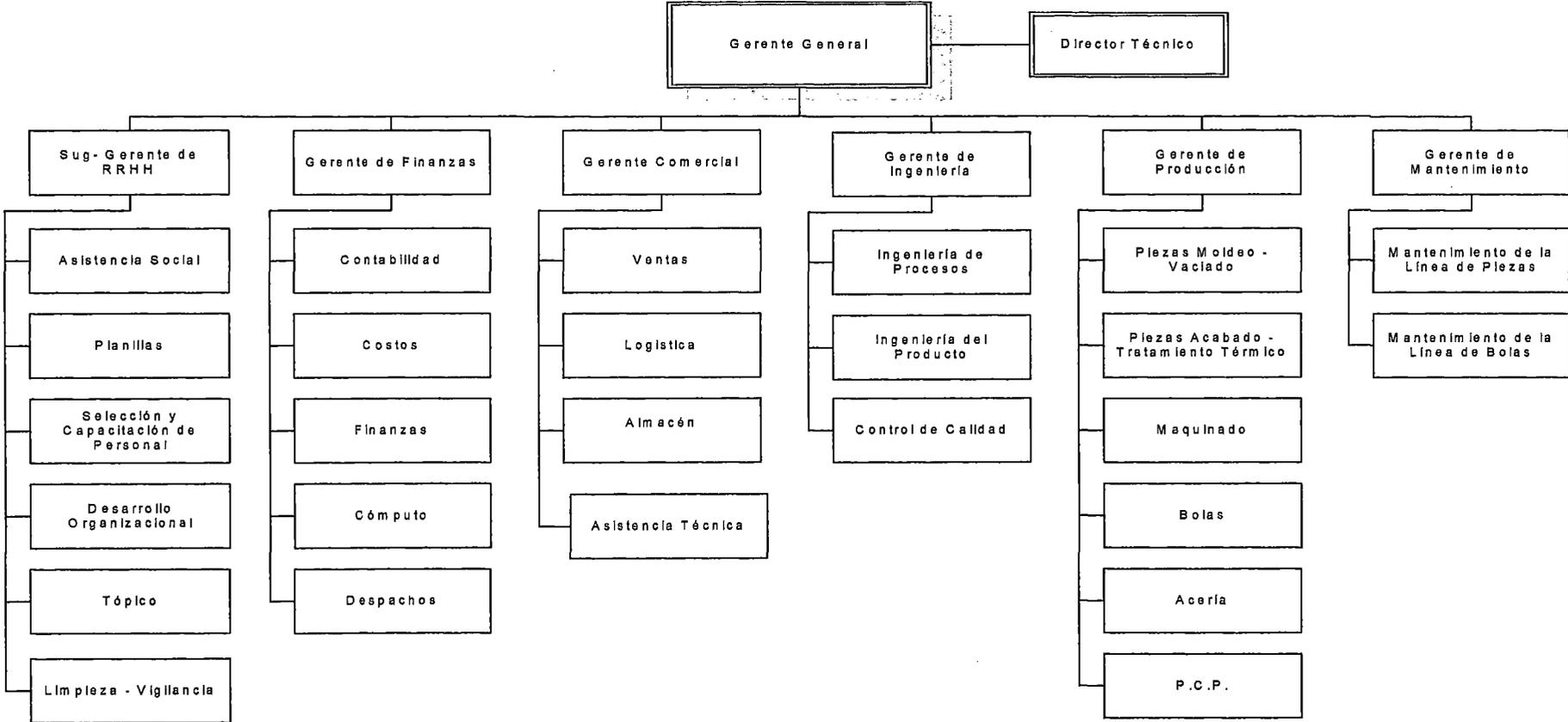
En el Perú tiene como clientes:

- Southern Perú Cooper Corporation, con el cual trabaja con el sistema de usufructo.
- Compañía Minera Buenaventura (Yanacocha).
- Compañía Minera Milpo
- Volcan Compañía Minera S.A.
- MARSA Minera Aurífera Retamas S.A.
- Compañía Minera RAURA S.A.
- Compañía Minera Antamina S.A.
- Xstrata Cooper Tintaya
- Pan American Silver,
- Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A, etc.

En el extranjero tiene clientes como:

- Collahuasi Cooper en Chile
  - Codelco, Compañía Nacional de Cobre de Chile
  - Pamela Grava en Bolivia
  - Foundry Excel, Foster Wheeler, Outotec, en Estados Unidos.
- Etc.

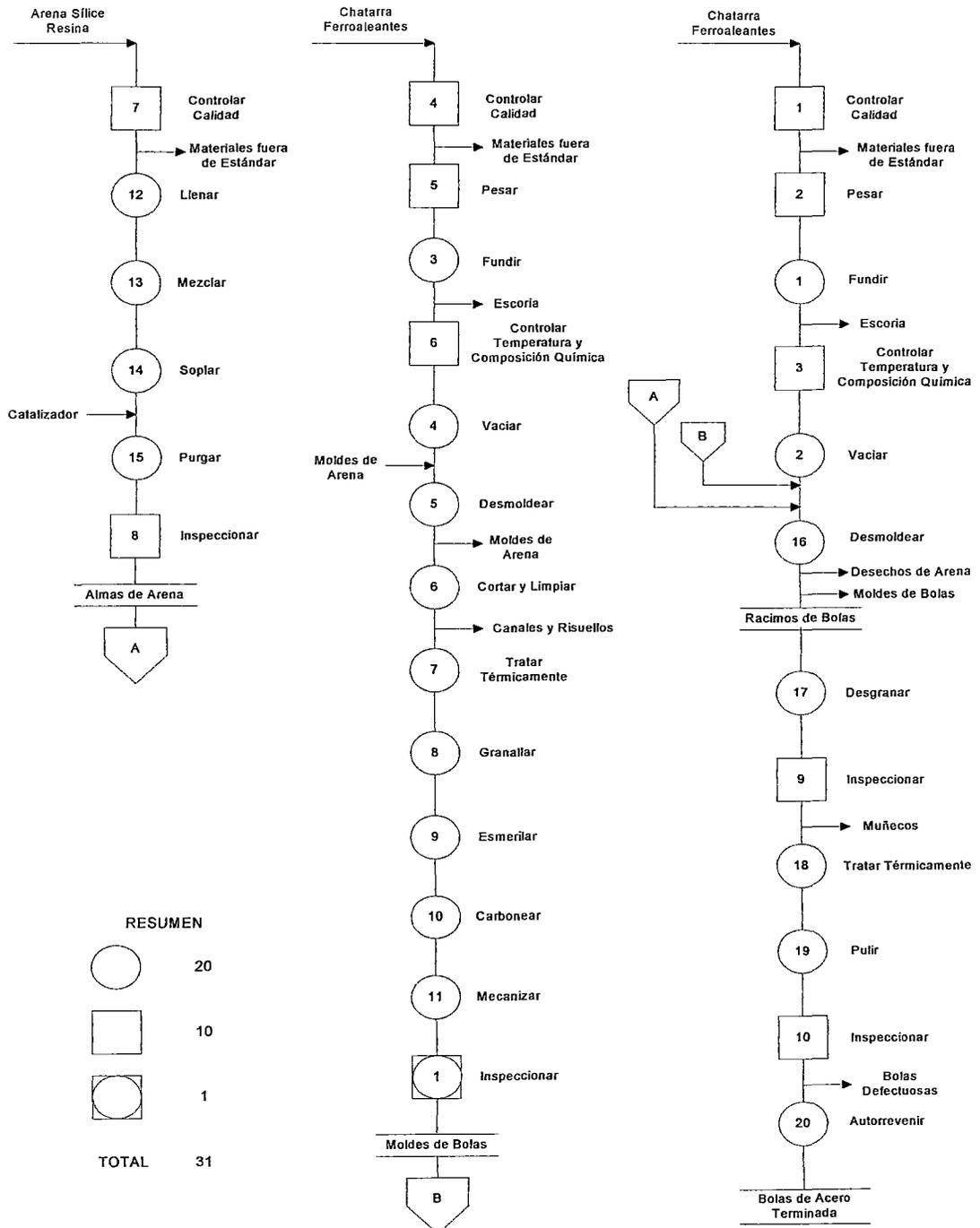
**4.2.3. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA**



**Figura N° 12** Organigrama Funcional  
**Fuente:** Elaboración propia

## 4.2.4. PROCESOS

### 4.2.4.1. Proceso de Fabricación de Bolas de Acero para la molienda



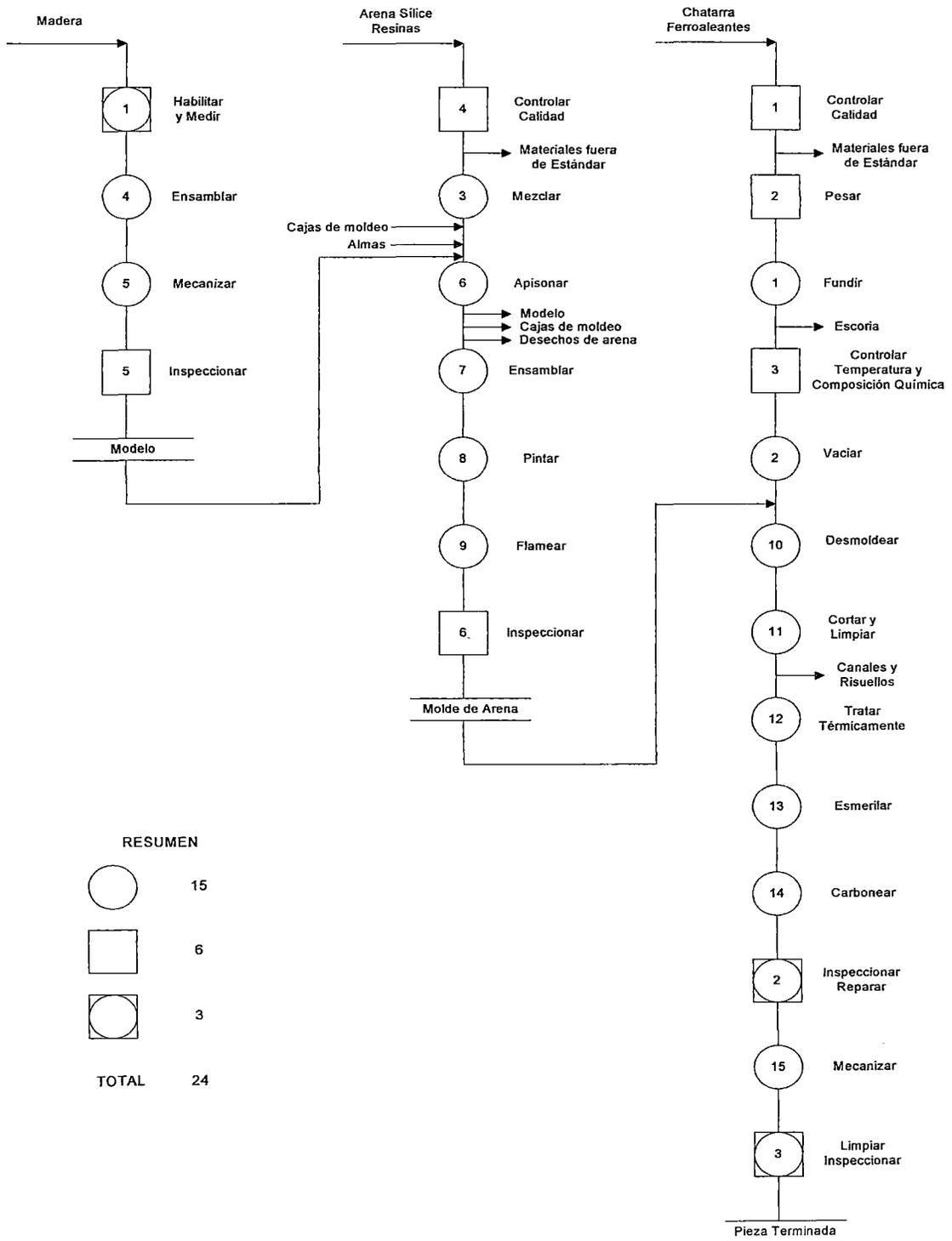
**Figura N° 13** DOP de la Fabricación de Bolas de Acero para la molienda

**Fuente:** Elaboración propia.

- a Controlar Calidad de la chatarra y los ferroaleantes**, la chatarra y los ferroaleantes son la materia prima del proceso, motivo por el cual, éstos pasan por un control de calidad, en donde los materiales que se encuentren fuera de los estándares establecidos no ingresan al proceso productivo.
- b Pesar**, la materia prima es pesada en tolvas antes de ingresar al horno.
- c Fundir**, en un horno eléctrico de 18 TM de capacidad y con electrodos de 14" de diámetro se realiza la fusión de chatarra y las ferroaleaciones, para obtener el metal líquido.
- d Controlar temperatura y composición química**, para conseguir las especificaciones técnicas que dan la calidad a las bolas de acero, es necesario un estricto control de la temperatura y la composición química antes del vaciado. La temperatura se mide a través de termocuplas y pirómetros; la composición química se determina a través de un espectógrafo.
- e Vaciar**, el metal líquido es almacenado en un horno de mantenimiento, el cual a través de un chorro continuo alimenta a la rueda de vaciado, llamada tornamesa, en donde se encuentran colocados los moldes de bolas y las almas. El metal vaciado se enfría mediante una ducha de agua y se solidifica convirtiéndose en racimos de bolas.

- f Desmoldear**, los racimos de bolas son separados de los moldes de bolas y de los residuos de las almas de arena, colocándolos en el tubo transportador.
- g Desgranar**, los racimos de bolas se transportan a través de un tubo que alimenta a 2 molinos de ruptura donde se separan las bolas de los muñecos alimentadores.
- h Tratar térmicamente**, las bolas terminadas son sometidas a un tratamiento térmico de revenido y temple para conseguir la dureza y características deseadas.
- i Pulir**, las bolas tratadas reciben un acabado final dentro de un molino en cuyo interior las bolas son pulidas mediante fricción con bolas de acero de 5”.
- j Inspeccionar**, esta es la última inspección en la cual se separan las bolas defectuosas para ser chatarreadas, y las bolas aptas continúan su proceso de autorrevenido. Además por muestreo se toman placas de laboratorio para verificar la dureza requerida antes del autorrevenido y el nivel de defectos internos.
- k Autorrevenido**, proceso en el cual las bolas se enfrían tomando interiormente las características de dureza requeridas por el cliente.

#### 4.2.4.2. Proceso de Fabricación de Piezas



**Figura N° 14** DOP de la fabricación de piezas  
**Fuente:** Elaboración propia

- **MODELO**

Para la fabricación de los modelos las áreas de Ingeniería del Producto, Procesos y Asistencia Técnica se encargan mediante el uso de programas CAD y simuladores de fundición, de diseñar la pieza adecuada a las necesidades del cliente. Además “ZXY” cuenta con su propio Taller de Modelaría, donde se fabrican los modelos para todas las piezas solicitadas, este taller cuenta con diversos equipos para trabajar en madera, tales como: tornos, fresa, cepillos, etc.

- Habilitar y Medir**, utilizando los planos y plantillas proporcionados por el área de Ingeniería de Producto, se procede hacer las mediciones respectivas, cortar y dar el perfil requerido a la madera (habilitar).
- Ensamblar**, consiste en unir las partes habilitadas.
- Mecanizar**, en este proceso, dependiendo del perfil requerido del modelo se procede a torneear, fresar, cepillar, etc.
- Inspeccionar**, todo modelo antes de pasar a producción es inspeccionado dimensionalmente, para asegurar que la pieza sea fundida con las medidas correctas.

En la Figura N° 15 se puede apreciar el modelo de moldes de bolas.



**Figura N° 15:**

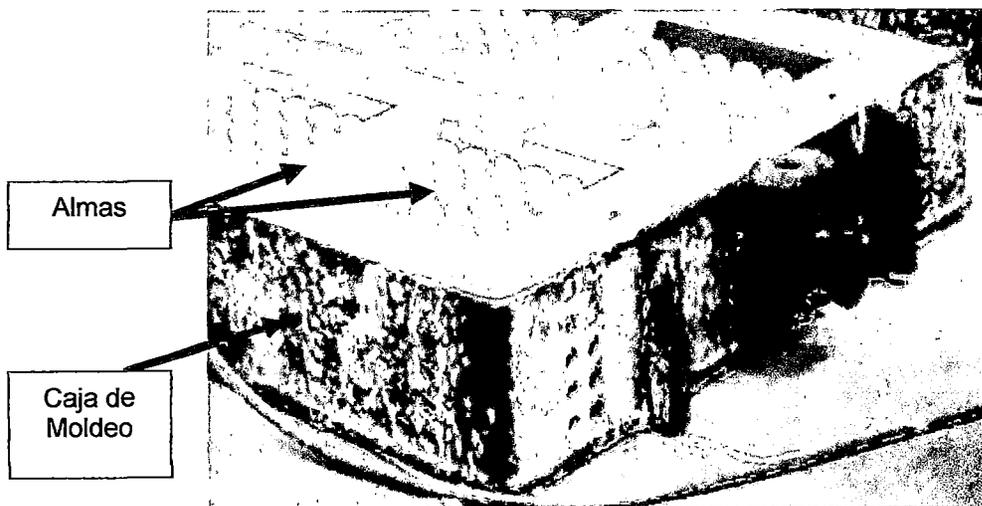
**Modelo de Moldes de Bolas**

- **MOLDE DE ARENA**

A partir del modelo se reproduce casi exactamente la forma y dimensiones de la pieza a obtener, empleando arenas aglomeradas con resinas sintéticas, se prepara el molde en el cual se vacía el metal líquido.

- a. Controlar Calidad**, la arena sílice y las resinas pasan por un control de calidad, en donde los materiales fuera de los estándares exigidos por "ZXY" no ingresan al proceso productivo.
- b. Mezclar**, la arena y la resina son mezclados por medio de una mezcladora de gran tamaño, la cual regula el suministro de la mezcla a las cajas de moldeo.
- c. Apisonar**, la mezcla de arena con resina es prensada con pisón hidráulico.

- d. **Ensamblar**, se procede a ensamblar las cajas de moldeos.
- e. **Pintar**, la superficie de contacto es pintada para evitar posibles inclusiones de arena.
- f. **Flamear**, proceso en que se aplica calor al molde para evaporar la humedad y el alcohol etílico de las almas.
- g. **Inspección**, todos los moldes son inspeccionados antes del vaciado, aquí se verifica: que los moldes se encuentren limpios, con especificaciones óptimas y ensambladas correctamente.
- h. **Moldeo**, con el modelo ya fabricado se pasa a la etapa del moldeo, en "ZXY" se realiza en tres formas dependiendo de la aleación de la pieza: en verde, en resina y para la fabricación de almas.



**Figura N° 16:** Molde de Arena de Moldes de Bolas

- **PIEZA TERMINADA**
  - a. **Controlar Calidad de la chatarra y los ferroaleantes**, ídem al proceso de fabricación de bolas de acero.
  - b. **Pesar**, la materia prima es pesada en tolvas antes de ingresar al horno.
  - c. **Fundir**, con el molde ya listo se inicia el proceso de fundición de la chatarra y los ferroaleantes, “ZXY” cuenta con 2 hornos de arco eléctrico de 6 toneladas cada uno en donde se consiguen las diversas aleaciones para las distintas piezas requeridas por los clientes.
  - d. **Controlar temperatura y composición química**, para conseguir las especificaciones técnicas de cada aleación, es necesario un estricto control de la temperatura y la composición química antes del vaciado.
  - e. **Vaciar**, una vez conseguida las especificaciones técnicas, se vacía el metal líquido en los moldes respectivos.
  - f. **Desmoldear**. después de un tiempo de espera de acuerdo a los parámetros de cada pieza, en donde se asegura la solidificación y enfriamiento del acero líquido se procede al desplome de los moldes, que consiste en romper el molde y obtener la pieza en bruto o As Cast.
  - g. **Cortar y limpiar**, llamado también el proceso de Acabado Primario, aquí se cortan los sobrantes de las piezas, llamados risuellos y canales de alimentación. Esto se hace a través de impactos con una pera o a través de equipos de corte de oxígeno.

- h. Tratar Térmicamente**, dependiendo de la aleación con que esté fabricada la pieza se realizan los diferentes tipos de tratamiento térmico. Sólo para el caso de las piezas en manganeso se le hace un tratamiento adicional sumergiendo la pieza en una poza de templado.
- i. Esmerilar**, los sobrantes de material que pudieran quedar en la pieza, después del corte de risuellos, son esmerilados por medio de esmeriles cilíndricos colgantes de 16" de diámetro.
- j. Carbonear**, también llamada rebarbadora. Actividad que consiste en la limpieza de la pieza haciendo uso del electrodo de carbón y el aire.
- k. Inspeccionar y reparar**, las piezas son inspeccionadas después de ser limpiadas (esmeriladas y carboneadas) de acuerdo a éstos resultados la pieza es derivada a reparar y/o dependiendo del proceso productivo de ésta continua su proceso a maquinado o si no necesita ser maquinada es reportada como pieza terminada.
- l. Mecanizar**, dependiendo de los requerimientos de la pieza, en esta etapa del proceso se le hacen los maquinados, con maquinas herramientas tales como: tornos, fresadoras, cepillos, centros de maquinado CNC.
- m. Limpiar e inspeccionar**, una vez culminado el proceso de mecanizado se limpia las posibles rebabas fruto del mecanizado y posteriormente se hace un exhaustivo control de calidad con equipos de alta tecnología.

#### 4.3. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES DE BOLAS

Al iniciar la presente investigación la fabricación de moldes de bolas tenía el proceso que aparece en la siguiente tabla:

**Tabla N° 4:** Tabla de Actividades del Proceso de Fabricación de Moldes de Bolas

RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN	ENTREGABLE
Personal de P.C.P	Programa la fundición de moldes de bolas y establece el programa de entregas de maquinado teniendo en cuenta sólo el estimado del tiempo de fabricación de los moldes de bolas y el programa de fabricación de bolas de acero para la molienda.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa de Fundición de Moldes de Bolas</li> <li>• Programa de Entregas de Maquinado</li> </ul>
Personal de U. P. Piezas – Moldeo	Con el programa de Fundición de moldes de Bolas, <b>sólo en el caso que tenga capacidad disponible</b> , inicia la fabricación de las almas, las cuales se ensamblan con el molde de arena previamente pintado y preparado.(Ver Figura N° 18)	Molde de arena terminado

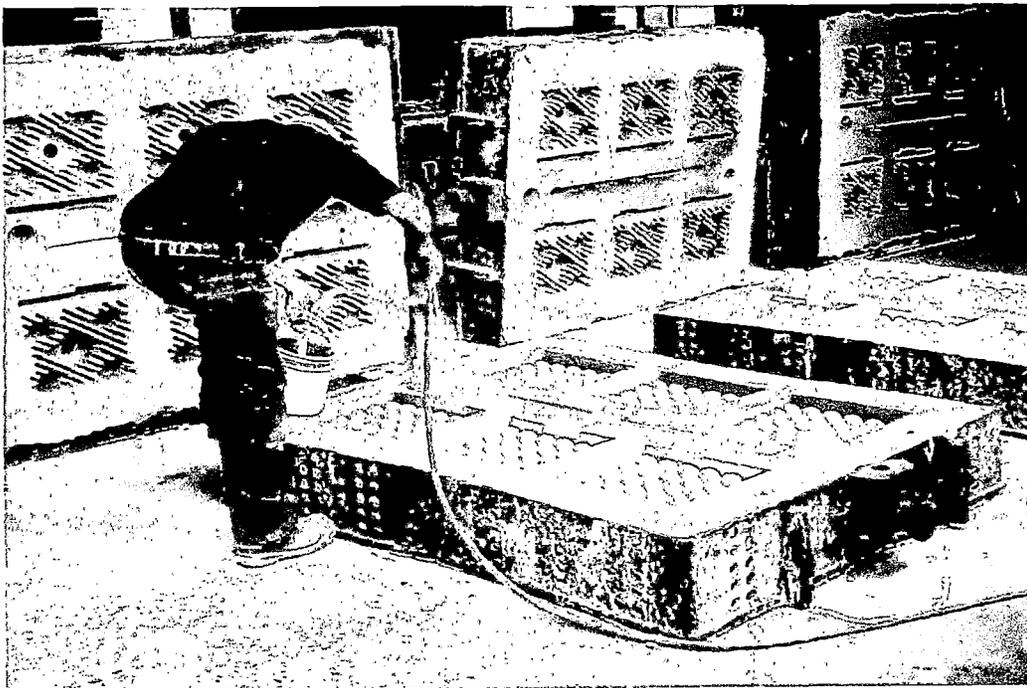
<b>RESPONSABLE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>ENTREGABLE</b>
Personal de Acería	Realiza la fundición de la chatarra con los ferroaleantes, hasta alcanzar las especificaciones técnicas de la aleación requerida para los moldes de bolas.	Metal líquido.
Personal de U. P. Piezas – Vaciado	El metal líquido es vaciado a los moldes de arena. (Ver Figura N° 19)	Moldes de Bolas vaciados y en proceso de enfriamiento
Personal de U. P. Piezas – Desmoldeo	Cumplido el tiempo de enfriamiento (24 hrs.), los moldes de bolas son desmoldeados.	Moldes de bolas desmoldeados.
Personal de U. P. Piezas – Acabados	Elimina los risuellos y los canales de alimentación cortándolos con la utilización de tubos de oxígeno. (Ver Figura N° 20)	Moldes de Bolas en As Cast
Personal de U. P. Piezas – Acabados	Coloca los moldes de bolas en la cama de tratamiento térmico (120 moldes por cama) y los somete al tratamiento térmico de esferoidizado. (Ver Figuras N° 21, 22 y 23)	Moldes de bolas tratados.

RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN	ENTREGABLE
<p>Personal de U. P. Piezas – Acabados</p>	<p>Granallan los moldes de bolas, continuando su proceso en los esmeriles colgantes en donde las rebarbas son pulidas para pasar a los bancos en donde son carboneadas. (Ver Figuras N° 24, 25 y 26)</p>	<p>Moldes de bolas listos para maquinar</p>
<p>Personal de U. P. Maquinado</p>	<p>Siguiendo la prioridad establecida en el programa de entrega de Maquinado y <b>si es que tiene los moldes disponibles</b>, planea los tetones de los moldes en el Centro de mecanizado DECKEL MAHO, continuando con 4 perforaciones en los mismos tetones y sus respectivos roscados en el Taladro Múltiple HECKER. finalizando con el mecanizado de la cara superior en el Cepillo de Mesa BOEHRINGER (Ver Figura N° 27)</p>	<p>Moldes de Bolas Maquinados</p>

RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN	ENTREGABLE
Personal de Control de Calidad	Inspecciona los moldes maquinados por muestreo, si las piezas estuvieran aptas, son entregadas al almacén de moldes terminados y reportadas al APT, de lo contrario son declaradas piezas chatarras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moldes de Bolas terminados.</li> <li>• Moldes de Bolas declarados chatarra.</li> <li>• Reporte de Piezas terminado</li> <li>• Reporte de piezas chatarra.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración Propia

En la figura N° 17 se puede apreciar el molde de arena con las almas en el proceso de pintado.



**Figura N° 17:** Preparación del Molde de Arena

El vaciado del metal líquido se hace a través de una cuchara de fundición con capacidad para 6 toneladas.



**Figura N° 18:** Vaciado de la pieza

Una vez completado el tiempo de enfriamiento, los moldes son desmoldeados y pasan al proceso de acabado primario, como aparece en la siguiente figura:

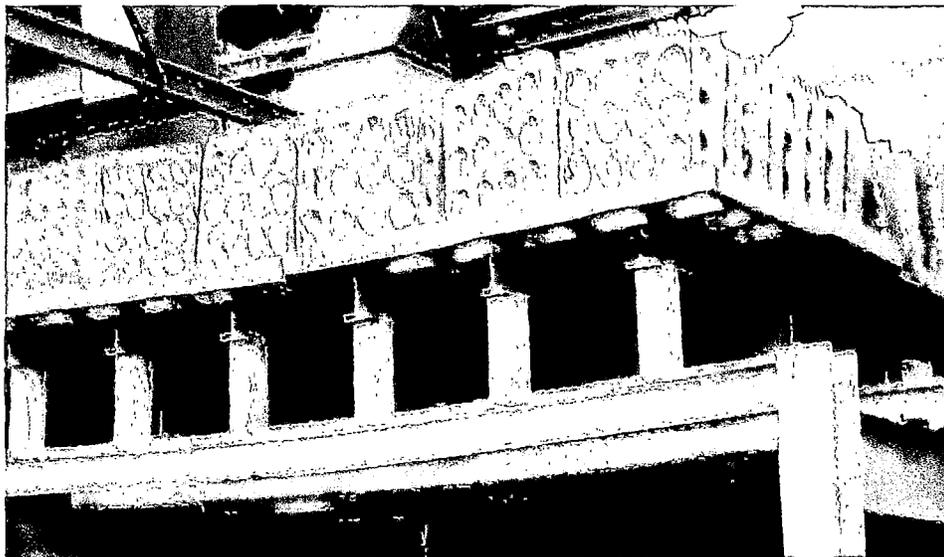


**Figura N° 19:** Acabado Primario

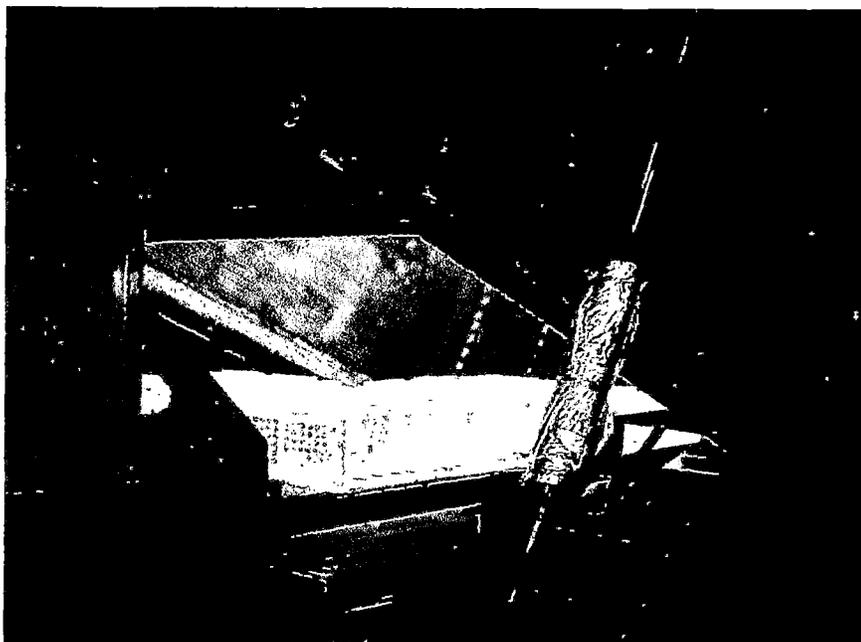
Seguidamente los moldes de bolas continúan con el proceso de tratamiento térmico y son colocados en camas con capacidad de 120 moldes.



**Figura N° 20:** Preparación de cama de Tratamiento térmico

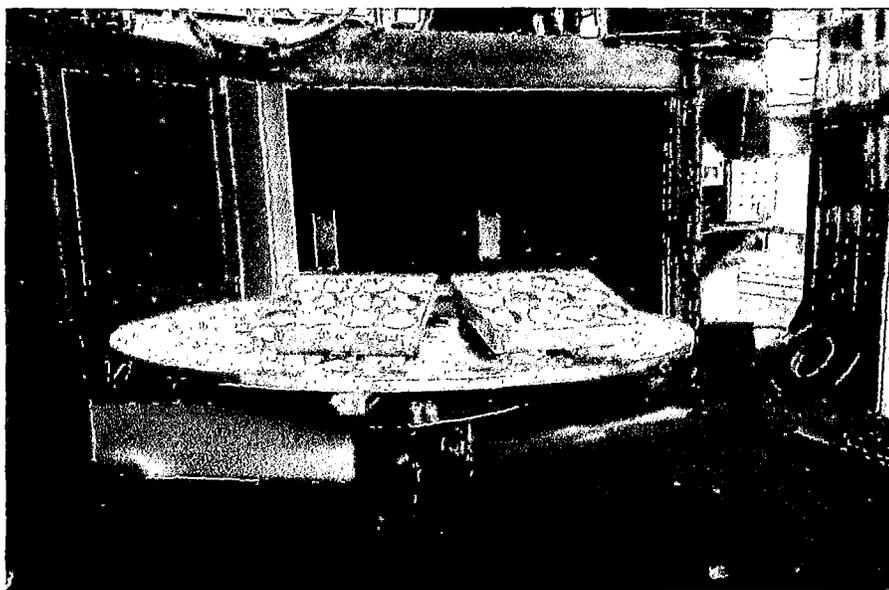


**Figura N° 21:** Cama en espera de Tratamiento Térmico



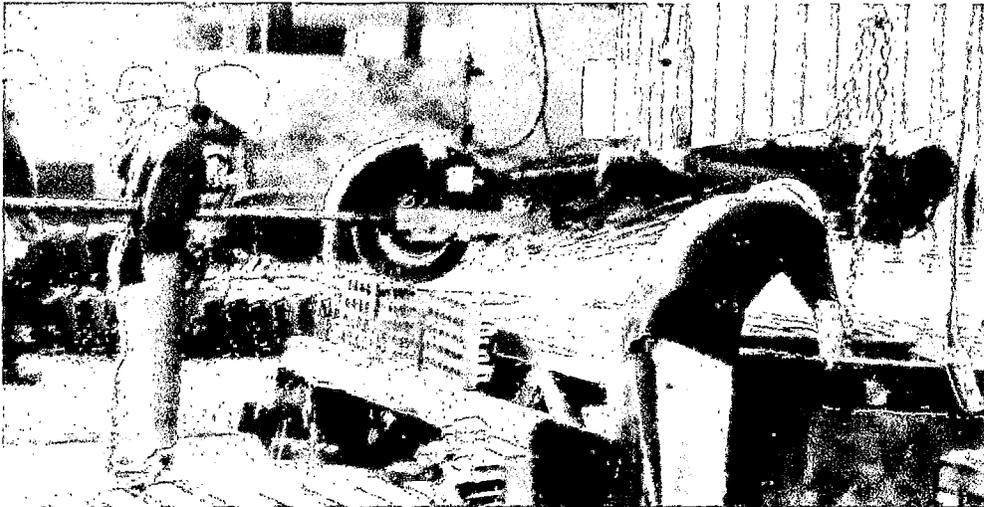
**Figura N° 22:** Horno de Tratamiento Térmico

Culminado el proceso de tratamiento térmico los moldes pasan a su Acabado Final, para ello primero son lavados en la granalladora Whelabrator



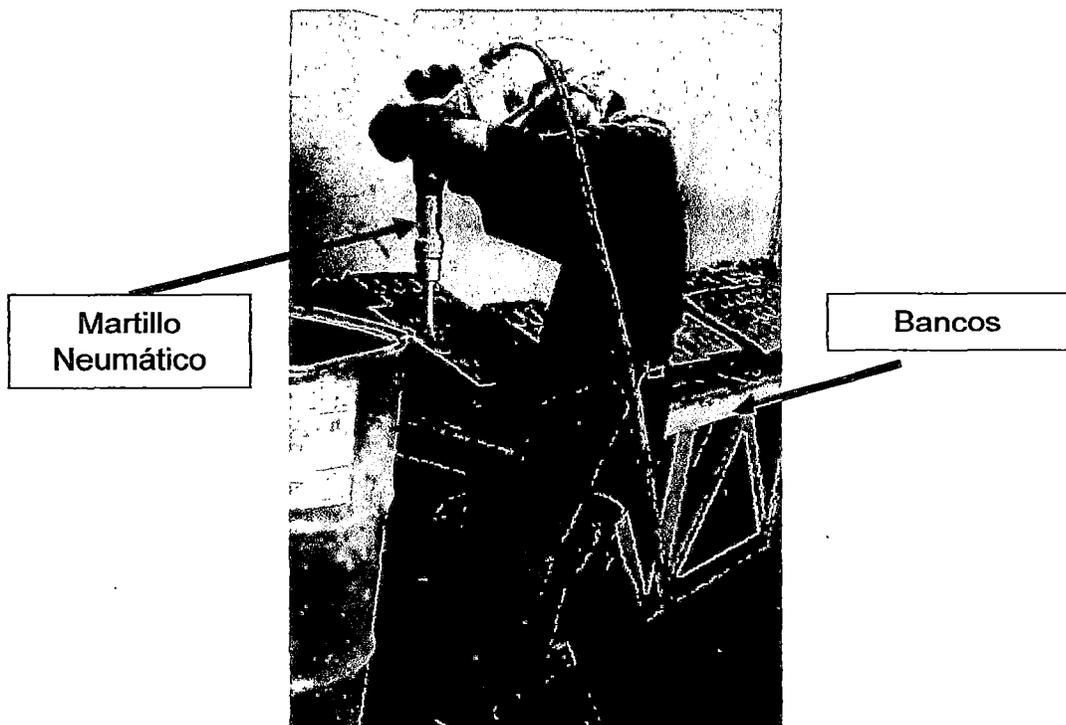
**Figura N° 23:** Granalladora Whelabrator

Los moldes granallados pasan a los esmeriles colgantes en donde se les elimina todas las rebarbas.



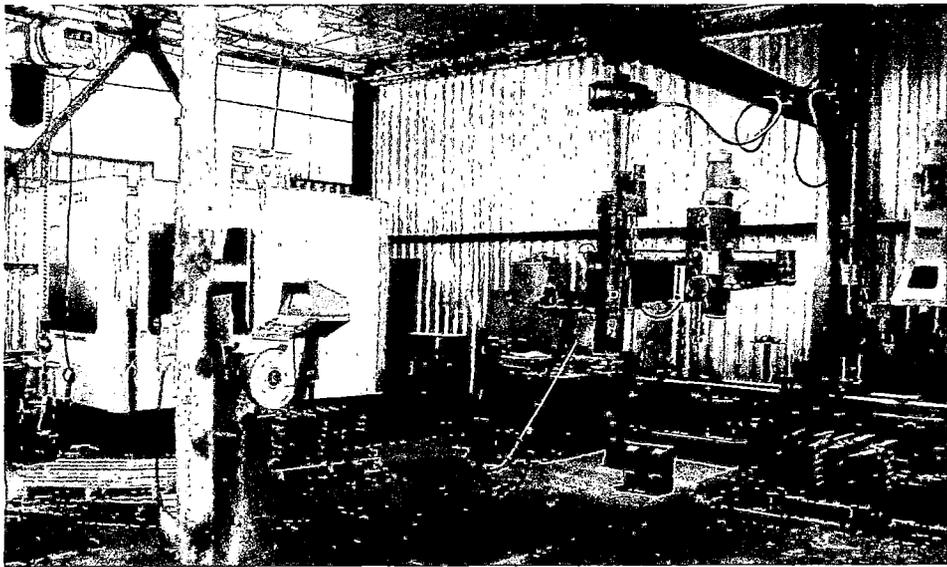
**Figura N° 24:** Esmeriles colgantes

El trabajo en banco consiste en limpiar las medias bolas con un martillo neumático



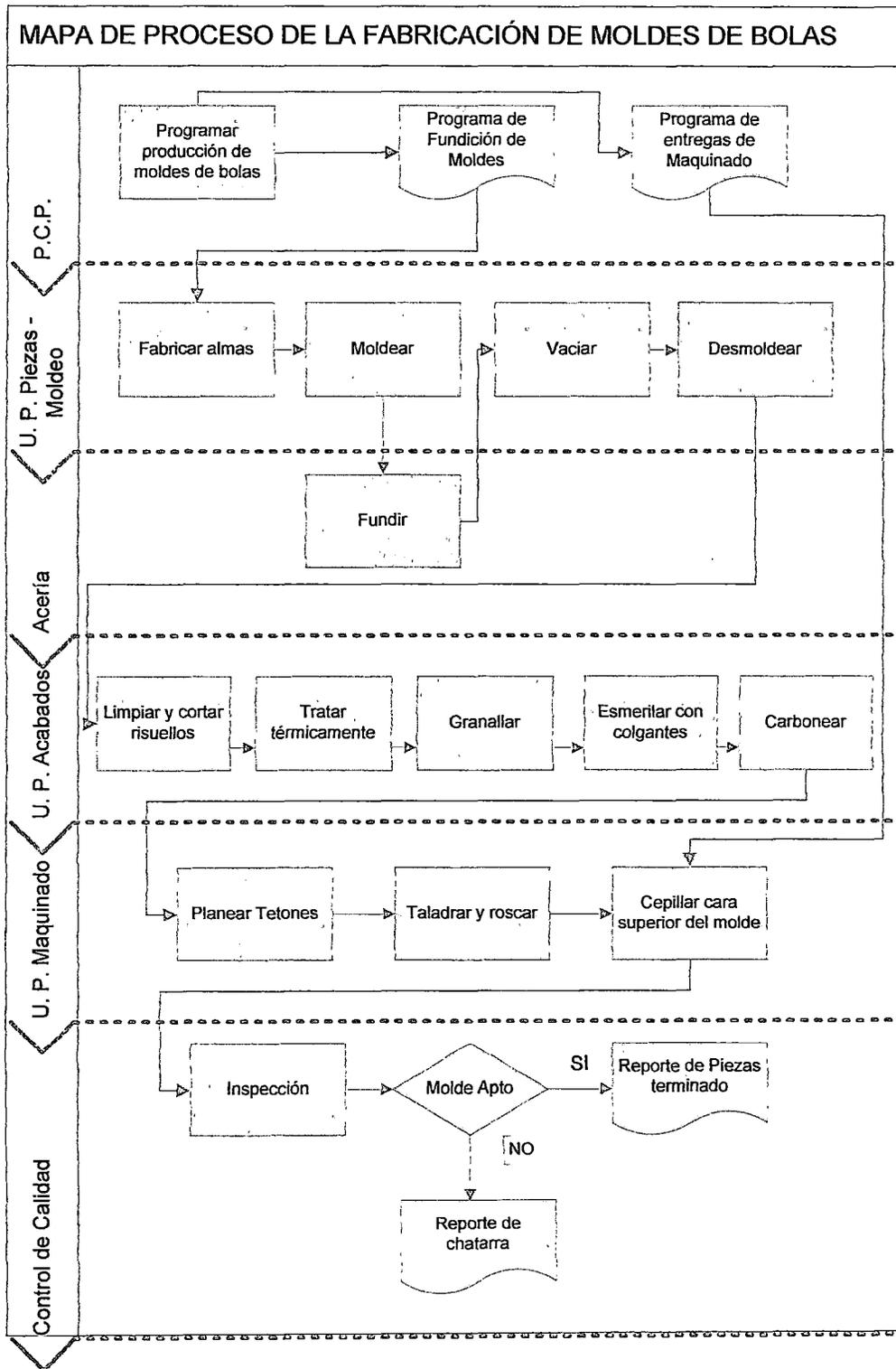
**Figura N° 25:** Trabajo de Limpieza en Banco

Finalmente los moldes de bolas pasan al proceso de maquinado, en donde se realizan 3 operaciones, las 2 primeras pertenecen al taller de mecanizado N° 2 y son las que se aprecian en la Figura N° 26, a la izquierda se ubica el centro de mecanizado DECKEL MAHO y a la derecha de la foto está el Taladro Múltiple Hecker. La tercera operación es el cepillado.



**Figura N° 26: Taller de Mecanizado N° 2**

### 4.3.1. EL PROCESO DE LA FABRICACIÓN DE MOLDES DE BOLAS



**Figura N° 27:-** Diagrama de Procesos de la Fabricación de Moldes de Bolas

**Fuente** Elaboración Propia

#### **4.3.2. ZONA DE MAQUINADO DE MOLDES DE BOLAS**

Las máquinas herramientas destinadas al mecanizado de los moldes de bolas son: Centro de Mecanizado DECKEL MAHO, Taladro Múltiple HECKER y el Cepillo de Mesa BOEHRINGER los cuales están dispuestos en dos naves o talleres distantes.

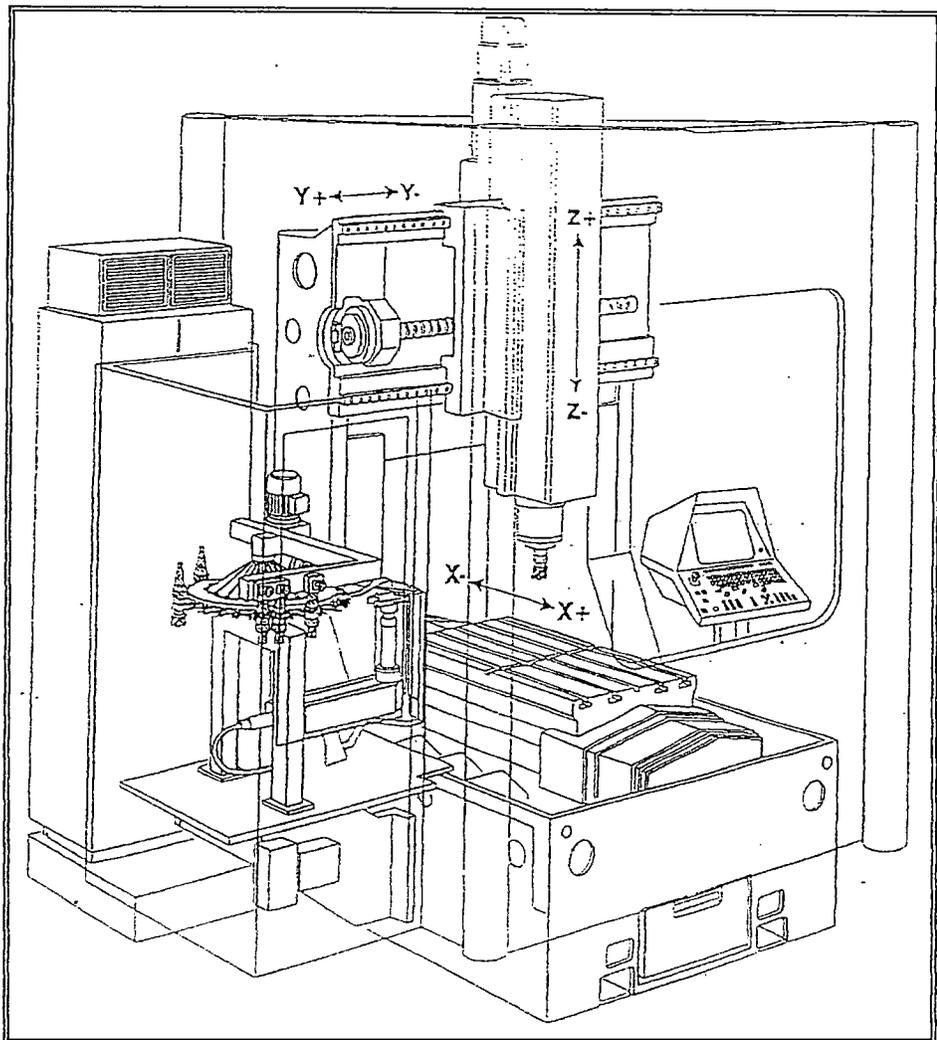
En una nave llamada Taller de Mecanizado N° 1 se encuentra el Cepillo BOEHRINGER, y adicionalmente se ubican las máquinas herramientas más relevantes de “ZXY”, las cuales son utilizadas para las piezas solicitadas por clientes externos. En la otra nave, el Taller de Mecanizado N° 2 se encuentran el centro de mecanizado DECKEL MAHO y el Taladro Múltiple HECKER, la distancia entre un taller y el otro es de 36.60 metros de separación.

##### **4.3.2.1. Descripción de las Máquinas herramientas que comprende el proceso.**

Son cuatro las operaciones que se realizan para el mecanizado de moldes de bolas las cuales están distribuidas en tres máquinas herramientas:

- **Primera Operación:** Centro de Mecanizado DECKEL MAHO.
- **Segunda y Tercera Operación:** Taladro Múltiple HECKER.
- **Cuarta Operación:** Cepillo de Mesa BOEHRINGER.

- **Primera Operación: Centro de Mecanizado DECKEL MAHO**  
Máquina herramienta que cuenta con un control numérico y en la cual se realiza el proceso de planeado de los tetones. Cuatro moldes de bolas son colocados en la mesa de trabajo de esta máquina, con la cara de los tetones hacia arriba, de tal forma que la cuchilla desciende y trabaja en contacto directo con los moldes de bola, ayudado de un refrigerante.



**Figura N° 28:** Croquis del Centro de Mecanizado DECKEL MAHO  
**Fuente:** Manual del Centro de Mecanizado DECKEL MAHO

**Tabla N° 5:** Especificaciones Técnicas del Centro de Mecanizado DECKEL

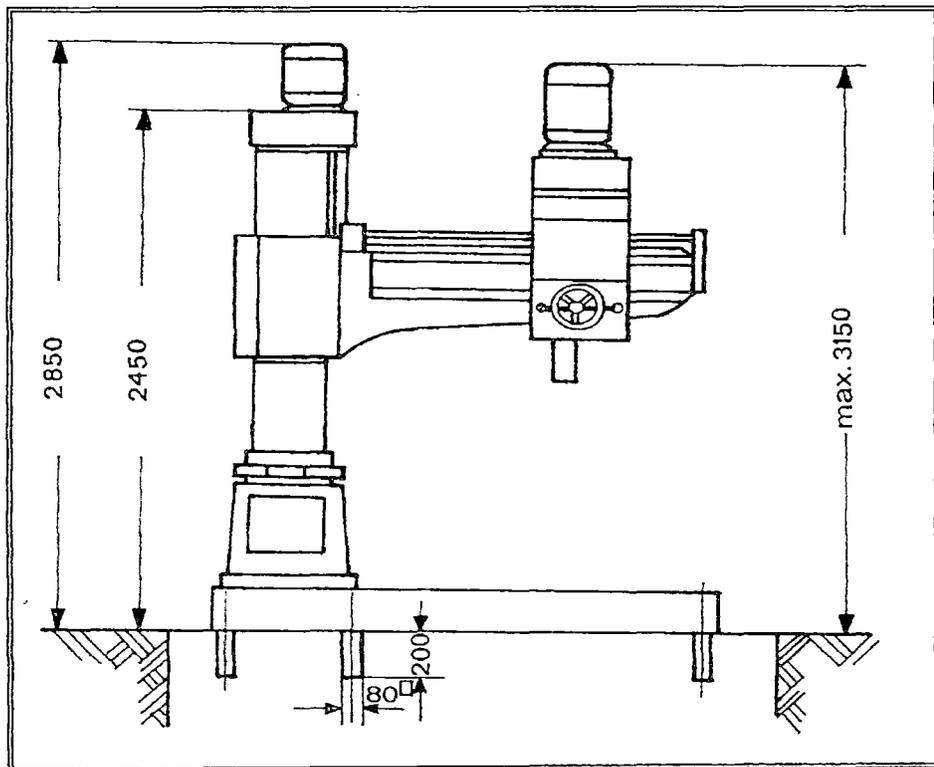
MAHO

<b>Especificaciones Técnicas</b>	
Procesador	68040 / 25 MHz (Motorla 32 Bits)
Suministrar	110 V AC
Monitor	14"
Unidad de Disco	3 ½" MS-DOS Compatible 18.4 Kb Tasa de transmisión 14 ms tiempo de procesamiento
Memoria del programa	236 KByte Opción 472 KB, 2MB
Entradas	40 entradas 0/24 V
Salidas	16 salidas 0.5 A 24 salidas 2 A
Interfaces	2 x RS 232 bis 19.200 Baud
Velocidad de procesamiento	8 ms 1.6 ms High Speedy mode.
Función Osciloscopio	Señales de la unidad
Conducción Digital	5 ejes y husillo (30 KW)
Medidas	1.7 ms ubicación 0.8 ms de velocidad 0.4 ms corriente
Aceleración 0 en 30 m/min	180 m

**Fuente:** Manual del Centro de Mecanizado DECKEL MAHO.

o **Segunda y Tercera Operación: Taladro Múltiple HECKER**

En estas operaciones a diferencia de las demás operaciones de maquinado, el trabajo se realiza de un molde por vez. El molde de bolas es colocado con la cara de los tetones hacia arriba en una mesa de trabajo que une a 2 columnas (taladros). El taladro múltiple cuenta con un cabezal fijo y 4 husillos, los cuales perforan los 4 agujeros de una sola vez. Seguidamente el molde corre por la mesa hasta otro taladro en donde se realiza el roscado de cada agujero, esta máquina cuenta con una columna que sostiene el brazo en donde se ubica el cabezal móvil con sus aditamentos.



**Figura N° 29** Esquema del Taladro Múltiple HECKER  
**Fuente:** Manual del Taladro Múltiple HECKER

**Tabla N° 6:** Especificaciones técnicas del Taladro Múltiple HECKER

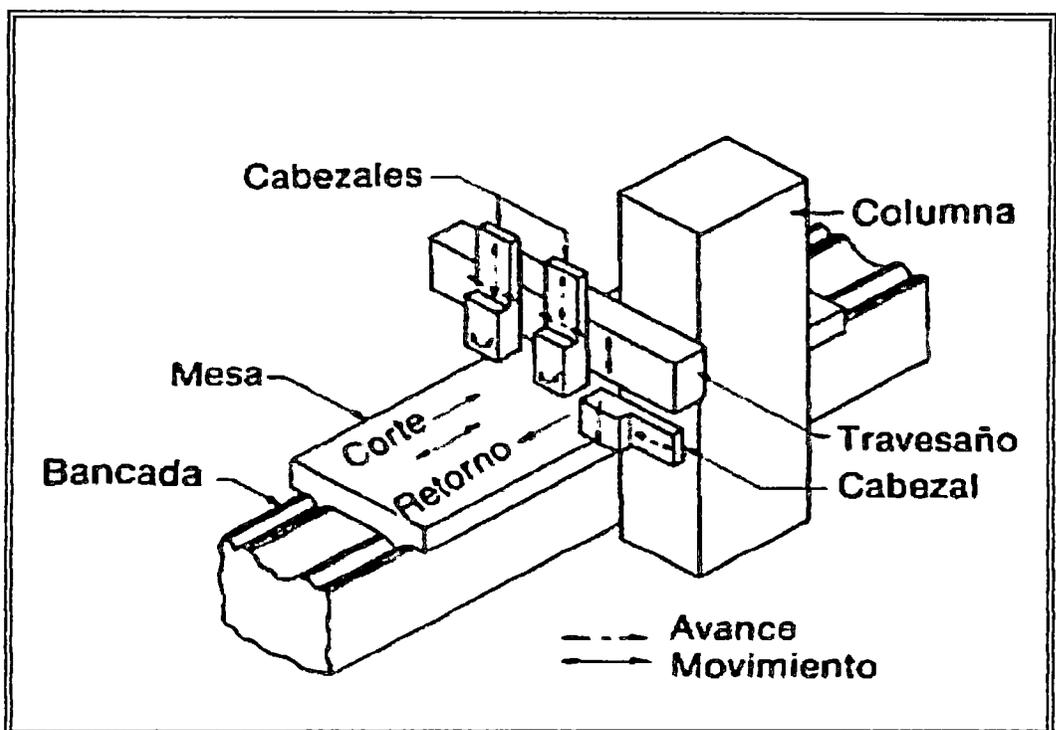
<b>Especificaciones Técnicas</b>	
<b>Campo de Trabajo</b>	
Diámetro máximo del taladro	40 mm
Avance	0.4 mm / rev
Velocidad de corte	25 m / min
Terrajado de filetes	Hasta 1 ½"
Vuelo del Husillo de taladrar	De / hasta 300 / 1250 mm
Distancia desde la cabeza del husillo hasta la placa de base	De / hasta 280 / 1380 mm
Radio de viraje del husillo de taladrar	De / hasta 450 1400 mm
Alcance de viraje del pescante	360 grados
Superficie de sujeción (largo x ancho)	1450 x 920 mm
<b>Husillo de Taladrar</b>	
Cono según TGL 0-228 (DIN 228)	5 conos
Carrera máxima	355 mm
Por motor máximo	250 Nm
Fuerza máxima de avance	14 000 N
<b>Motor de accionamiento</b>	
Potencia Total (potencia conectada)	5 kW
Potencia del motor principal	2,2 / 3,7 kW
Número de revoluciones nominal del motor principal	750 / 1500 min <sup>-1</sup>

**Fuente:** Manual del Taladro Múltiple HECKER

- **Cepillo de Mesa BOEHRINGER**

El cepillado permite que los moldes de bolas presenten superficies horizontales totalmente planas, lo cual es necesario para eliminar las posibles rebabas que se pueden producir durante el vaciado del metal líquido.

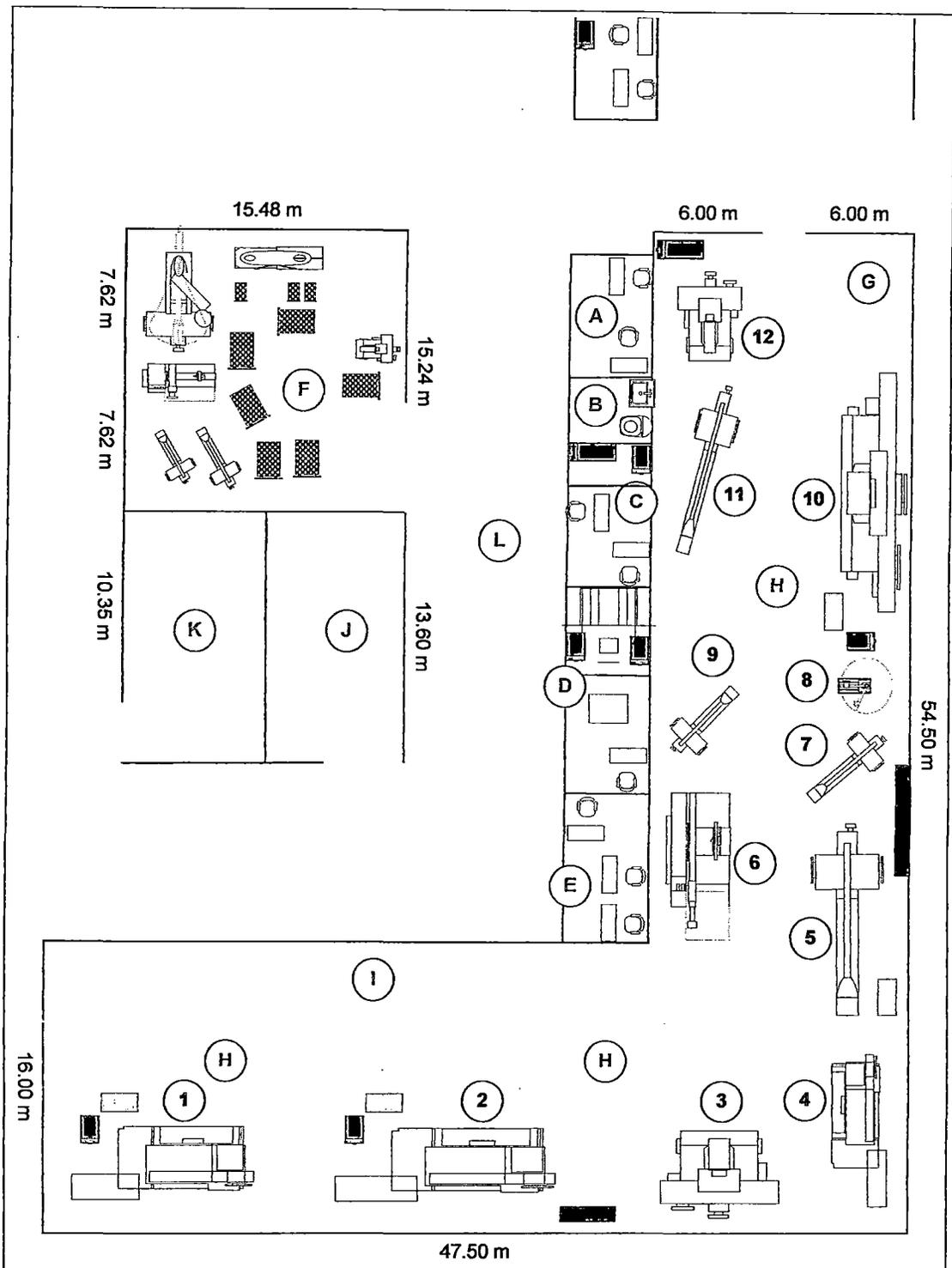
Seis moldes de bolas se sujetan a la mesa de trabajo la cual realiza un sólo tipo de movimiento, el de vaivén; mientras que los movimientos para dar profundidad al corte lo realiza el brazo con la herramienta.



**Figura N° 30**  
**Fuente:**

Esquema del Cepillo de Mesa  
Materiales y Procesos de Fabricación

### 4.3.2.2. Layout de los Talleres de Maestranza



**Figura N° 31:**  
**Fuente:**

**Layout del Taller de Mecanizado 1 y 2**  
**Elaboración propia**

**Tabla N° 7:** Leyenda de las instalaciones de la Figura N° 31

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ubicación</b>
(A)	Oficina de Acabados	Oficinas
(B)	Servicios Higiénicos	Oficinas
(C)	Oficina y Almacén de herramientas de Control de Calidad	Oficinas
(D)	Oficina y Almacén de placas de maquinado	Oficinas
(E)	Oficina de Despachos	Oficinas
(F)	Taller de Mecanizado N° 2	Taller N°2
(G)	Zona de Piezas por maquinar en proceso	Taller N°1
(H)	Pasadizo del Taller de Mecanizado N°1	Taller N°1
(I)	Zona de Piezas en espera por maquinar de los tornos verticales	Taller N°1
(J)	Taller de Despachos	Despachos
(K)	Almacén de insumos de Despachos	Despachos
(L)	Corredor	Zona común de planta

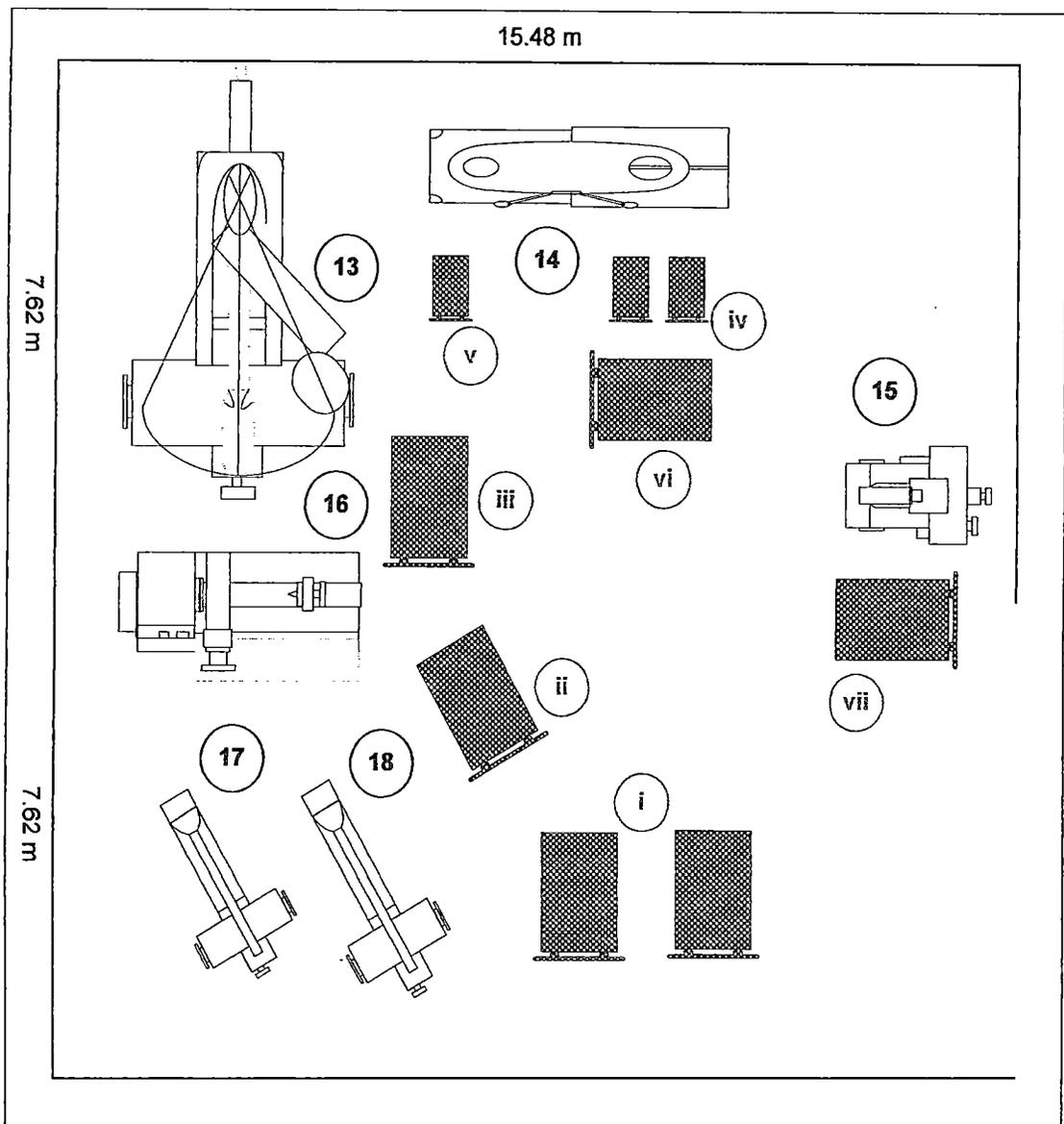
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 8:** Leyenda de las máquinas herramientas de la Figura N° 31

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ubicación</b>
1	Torno Vertical CNC	Taller N°1
2	Torno Vertical Kolomna	Taller N°1
3	Mandrino Convencional	Taller N°1
4	Torno Vertical Rafamet	Taller N°1
5	Cepillo de Mesa BOEHRINGER	Taller N°1
6	Centro de Mecanizado Chen Ho	Taller N°1
7	Torno horizontal Convencional	Taller N°1
8	Taladro Convencional	Taller N°1
9	Torno horizontal Convencional	Taller N°1
10	Mandrino CNC	Taller N°1
11	Torno horizontal Convencional	Taller N°1
12	Mandrino Convencional	Taller N°1

**Fuente:** Elaboración propia

En la siguiente figura se aprecia la disposición de las máquinas herramientas del Taller de Mecanizado N° 2, además de la distribución de los inventarios en proceso.



**Figura N° 32:**  
**Fuente:**

Taller de Mecanizado N°2  
Elaboración propia

**Tabla N° 9:** Leyenda de la Figura N° 32

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ubicación</b>
13	Centro De Mecanizado DECKEL MAHO	Taller N° 2
14	Taladro Múltiple HECKER	Taller N° 2
15	Cepillo Cincinnati	Taller N° 2
16	Cepillo Atlas	Taller N° 2
17	Torno Convencional	Taller N° 2
18	Torno Convencional	Taller N° 2
i	Paletas de moldes de bolas en cola de maquinado	Taller N°2
ii	Paleta de moldes de bolas en espera del Centro de Mecanizado DECKEL MAHO	Taller N°2
iii	Paleta de moldes de bolas en proceso de maquinado del Centro de Mecanizado DECKEL MAHO	Taller N°2
iv	Moldes de bolas en proceso de perforado (Taladro Múltiple)	Taller N°2
v	Moldes de Bolas en proceso del roscado	Taller N°2
vi	Moldes de Bolas en espera de ser trasladado al Cepillo de Mesa	Taller N°2
vii	Moldes de bolas acumulados en espera de ser reparados.	Taller N°2

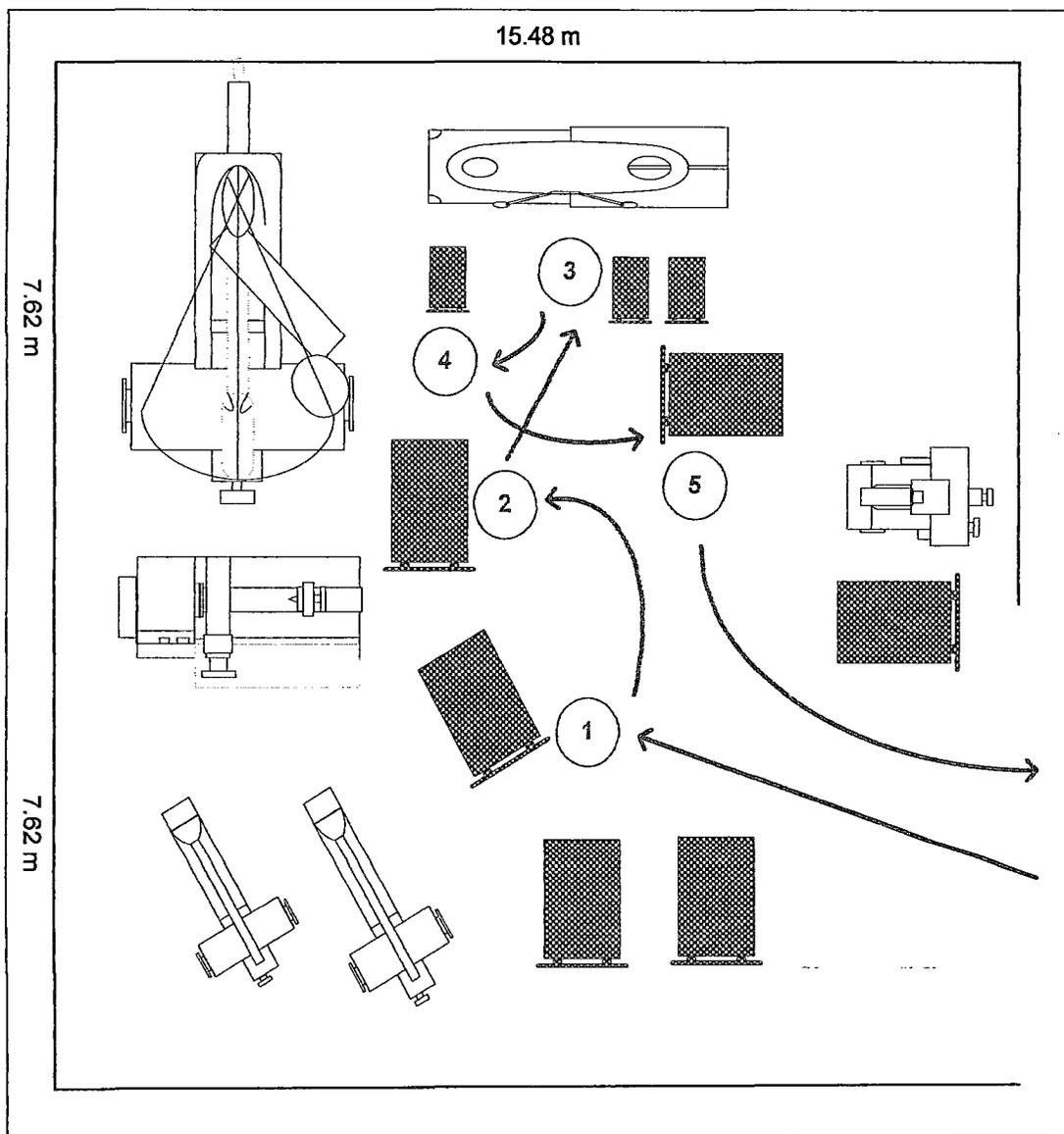
**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.3.2.3 Recorrido de los moldes de bolas en el proceso de maquinado**

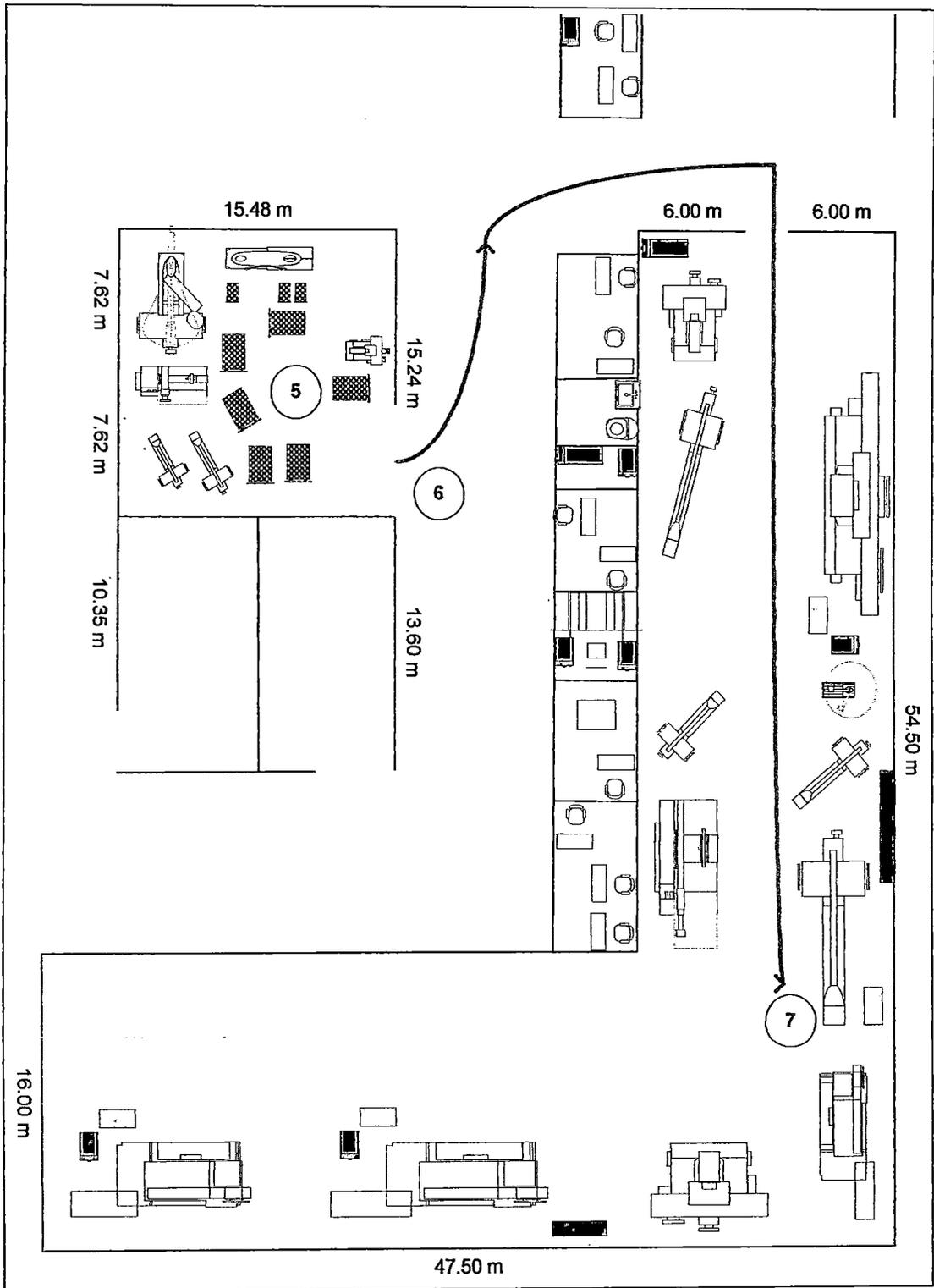
Una vez concluido el proceso de acabado de los moldes de bolas, éstos son trasladados en paletas, que llevan alrededor de 25 a 30 moldes cada una, al Taller de Mecanizado N° 2, en donde son ubicados en el lugar destinado para la cola del DECKEL MAHO, si el inventario en proceso aumenta de tal forma que no hubiese espacio dentro del taller, los moldes son ubicados en la parte frontal del taller, es decir en la parte izquierda del corredor que separa ambas naves, junto a la pared del taller.

Cuando llega el momento de mecanizar una paleta de moldes de bola, ésta es acercada al Centro de Mecanizado DECKEL MAHO, como se aprecia en la Figura N° 33. Debido al tamaño de las paletas y el peso de los moldes de bolas que acarrea, este manipuleo es realizado con la ayuda de un montacargas. Seguidamente, con un tecele eléctrico o grúa pescante se coge de uno en uno los moldes hasta completar cuatro moldes, los cuales son colocados en la mesa de trabajo del DECKEL MAHO para el planeado de los tetones, terminada esta operación cada molde es llevado, con la ayuda de la grúa pescante, al taladro múltiple (recorrido del 2 al 3 de la Figura N° 33), la mesa del taladro soporta un molde por vez. Perforados los agujeros, cada

molde atraviesa la bancada al otro extremo para el roscado, terminada esta operación los moldes se colocan en paletas, siempre con la ayuda del tecele eléctrico, para ser trasladados al Taller de Mecanizado N° 1, y culminar el proceso en el cepillo. (Figuras N° 33 y 34).



**Figura N° 33:** Recorrido de los moldes de bolas en el Taller N° 2  
**Fuente:** Elaboración propia

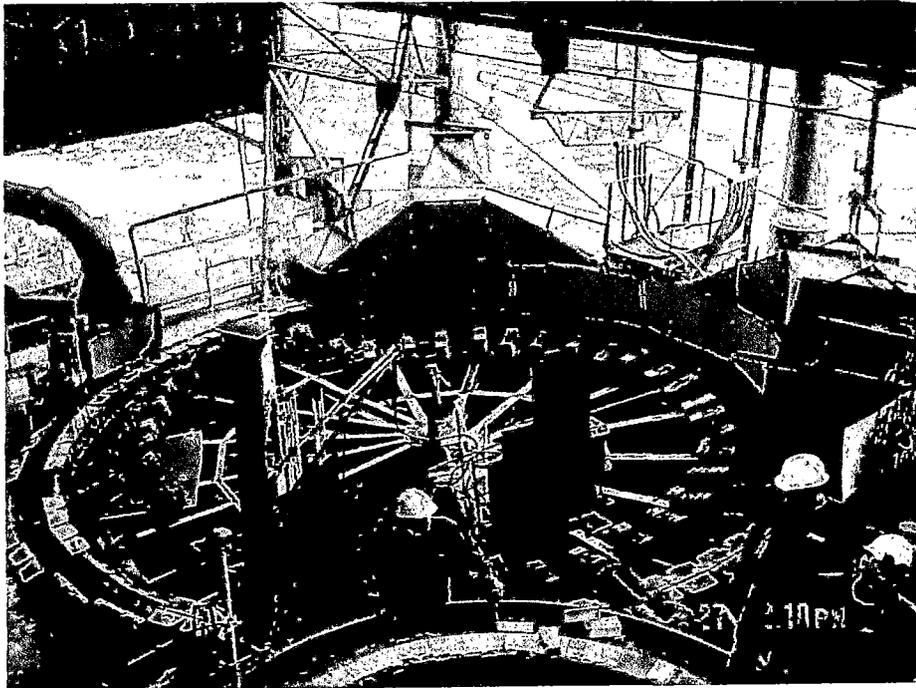


**Figura N° 34:** Recorrido de los moldes de bolas entre los talleres de maestranza  
**Fuente:** Elaboración propia

El manipuleo de un taller al otro se realiza con montacargas, y la distancia del recorrido 6 al 7 de la Figura N° 34 es de 94.60 metros.

#### **4.3.3. TRABAJO QUE SOPORTAN LOS MOLDES DE BOLAS**

La tornamesa de fundición es una rueda de 8.20 metros de diámetro, la cual consta de 40 brazos que terminan en espaldares que sostienen 4 moldes de bolas por brazo, es decir la tornamesa funciona con 160 moldes que en conjunto con las almas generan las cavidades precisas para el vaciado del metal, tal como se aprecia en la Figura N° 35.



**Figura N° 35: Tornamesa de Fundición**

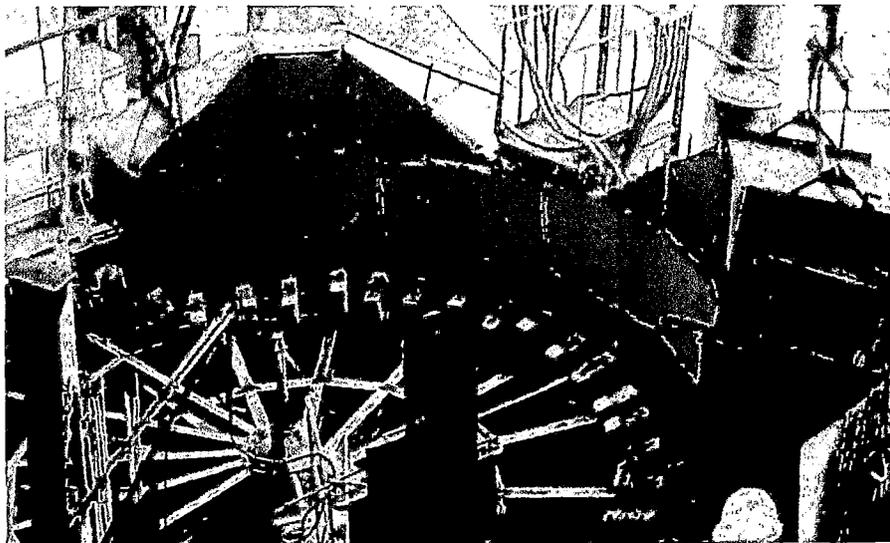
El Horno de mantenimiento Holding recibe el acero líquido a una temperatura que varía en un rango de 1600° C a 1650° C. Desde allí a través de un chorro continuo (Ver Figura N° 36) es vaciado a la tornamesa que está dispuesta con un ángulo de inclinación de 5°, el cual permite que el metal líquido caiga por gravedad y siga el canal de alimentación formado por el alma con el molde de bolas. El metal fundido toma la forma de racimos generada por las cavidades ya mencionadas, en donde los racimos se solidifican llegando a una temperatura de 1480° C a 1500° C.



**Figura N° 36:** Chorro continuo de acero líquido

Tomando el pico de vaciado como inicio de referencia de longitud recorrida, es decir arco de 0°, los racimos junto con los moldes recorren un arco de 45° hasta entrar en el baño de agua que se

encuentra a 50°C aproximadamente sometiéndose de esta forma a un choque térmico por el enfriamiento brusco que se produce en los racimos presos entre el molde y las almas. Este baño es soportado durante el recorrido de un arco de 126°, logrando de esta forma que los racimos de bolas lleguen hasta 700° C a 750° C (Ver Figuras N° 37 y 38).



**Figura N° 37:** Tramo del baño de enfriamiento

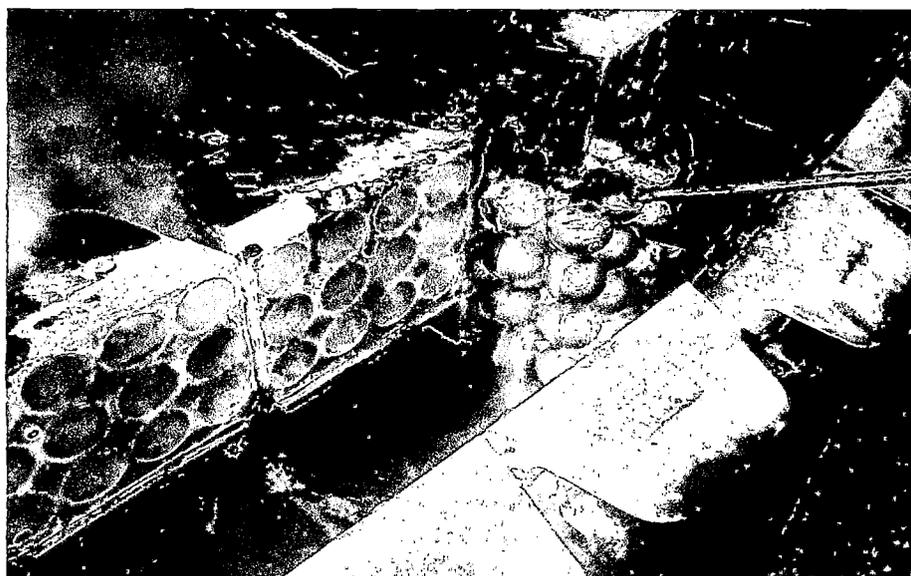


**Figura N° 38:** Baño de Enfriamiento

Seguidamente son los racimos son desmoldeados y retirados con las almas utilizadas, tal cual se aprecia en las Figuras N° 39 y 40.



**Figura N° 39:** Salida del Baño de enfriamiento



**Figura N° 40:** Desmoldeo de los racimos de Bolas

Finalmente se retiran todos los residuos sobrantes, limpiando rápidamente los moldes de bolas con aire comprimido, se colocan las

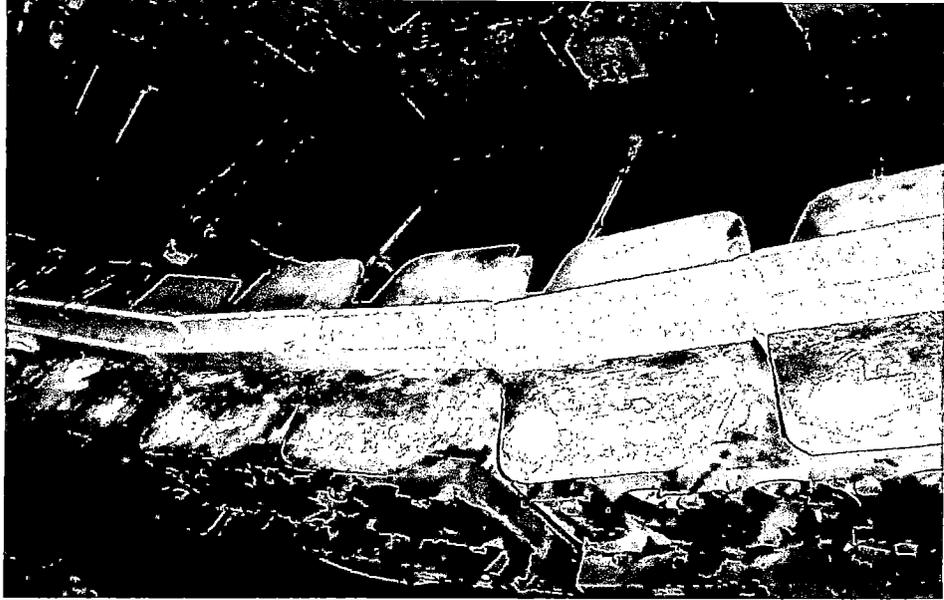
almas junto al molde de bolas y volviendo así a iniciar el ciclo de fundición. Ver Figuras N° 41, 42 y 43.



**Figura N° 41:** Moldes de bolas listo para colocarles las almas.



**Figura N° 42:** Moldes de Bolas con sus respectivas almas



**Figura N° 43:** Moldes de Bolas junto con almas en la tornamesa



**Figura N° 44:** Racimos de bolas recién desmoldeados

En la tornamesa se colocan moldes nuevos y reparados, esto es para aminorar costos, salvo para los diámetros de 1 ½" y 2", ya que estos moldes por la estrecha separación entre las medias bolas, presentan

un desgaste mayor a los demás diámetros, no permitiendo que estos sean reparados. Es decir, en campaña de producción de 1 ½" y 2", la tornamesa trabaja sólo con moldes nuevos.

La duración de los moldes de bolas por cantidad de coladas a las que pueden ser sometidos, varía según la siguiente tabla según datos históricos:

**Tabla N° 10:** Duración en cantidad de coladas de los Moldes de Bolas

Diámetro	Cantidad de Coladas	
	Moldes Nuevos	Moldes Reparados
1 ½"	45	-
2 "	45	-
2 ½"	74	32
3"	78	34
3 ½"	78	34
4"	80	40

**Fuente:** U.P. Bolas

**Tabla N° 11:** Recorrido del molde de bolas por etapa de fabricación en la tornamesa

Etapa de fabricación			Angulo Recorrido (° Sex)	Longitud recorrida (metros)
Tramo	Inicio	Fin		
1	Chorro de Acero líquido	Baño de enfriamiento	45	3.22
2	Baño de enfriamiento	Desmoldeo	126	9.02
3	Desmoldeo	Limpieza de Moldes de Bolas	95	6.80
4	Limpieza de Moldes de Bolas	Colocación de las almas	94	6.73
<b>Total</b>			<b>360</b>	<b>25.77</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 12:** Tiempo en minutos según tramo recorrido de los moldes de Bolas

Diámetro	Vueltas / Colada	Minutos/ Vuelta	Minutos De Trabajo Por Tramo			
			Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
1 ½"	5.8	12	1.50	4.20	3.17	3.13
2"	4.6	13	1.62	4.55	3.43	3.40
2 ½"	4.4	16	2.00	5.60	4.22	4.18
3"	3.4	18	2.25	6.30	4.75	4.70
3 ½"	2.7	20	2.50	7.00	5.28	5.22
4"	2.6	22	2.75	7.70	5.81	5.75

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.4. PROBLEMÁTICA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES DE BOLAS PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BOLAS

Para alcanzar la producción de las 5000 t de bolas se tuvo que determinar la cantidad de moldes de bolas necesarios para soportar este nivel de fabricación. Para esto se recurrió a los consumos históricos por campañas y utilizando regla de tres simple se determinó la meta de fabricación de moldes de bolas según el mix de producción.

**Tabla N° 13:** Consumo Histórico de Moldes de Bolas según Mix de producción de Bolas.

Diámetro	Producción Mensual		Consumo de moldes (pza)
	Toneladas	MIX en %	
1 1/2"	284	9%	160
2"	725	23%	180
2 1/2"	599	19%	160
3"	1166	37%	190
3 1/2"	362	12%	58
4"	16	1%	8
<b>TOTAL</b>	<b>3150</b>	<b>100%</b>	<b>756</b>

**Fuente:** U.P. Bolas

**Tabla N° 14:** Proyección de Consumo de Moldes de Bolas según Mix de producción de Bolas para producir 5000 t/mes.

Diámetro	Producción Mensual		Consumo de moldes (pza)
	Toneladas	MIX en %	
1 1/2"	450	9%	254
2"	1150	23%	286
2 1/2"	950	19%	254
3"	1850	37%	302
3 1/2"	575	12%	92
4"	25	1%	13
<b>TOTAL</b>	<b>5000</b>	<b>100%</b>	<b>1200</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Es decir, la meta trazada fue asegurar el abastecimiento de 1200 moldes de bolas mensuales y el principal problema radicaba en que "ZXY" sólo fabricaba entre 100 a 300 moldes por mes en promedio antes de la implementación de las mejoras.

#### 4.4.1. Descripción de la situación inicial

A la fabricación de moldes de bolas dentro de "ZXY", se le considera como PRODUCCIÓN INTERNA, llamada así por ser una producción destinada para el consumo de algún usuario interno con una necesidad identificada y reconocida por las gerencias.

Por tener como consumidor un cliente interno, las fechas de entrega para esta producción, según los datos históricos existentes, nunca se han cumplido. Esto se debe a que las órdenes de compra de clientes externos se manejan bajo el indicador del TDD (Troughput Dólar Día), que es un indicador que relaciona el valor monetario y el tiempo de atraso con respecto a la fecha de compromiso de una orden de compra. Por lo pronto, cabe aclarar que entre mayor sea el TDD, mayor es la cantidad de dinero que la empresa deja de percibir por el atraso de una determinada orden. Es por ello que cada área productiva, establece acciones con el objeto de lograr reducir el TDD a CERO, pero este indicador no comprende a la producción interna, es decir, asignar recursos para piezas de consumo interno, no se traduce en el indicador que mide a todo el sistema de producción (áreas Técnicas, de Producción y Mantenimiento), razón por la cual toda producción interna, es siempre relegada a ser trabajada si y sólo si, después de órdenes de compra en atraso o en posibilidad de atraso.

La falta de interés por la fabricación de moldes de bolas se percibe desde la programación de los mismos, ya que el área de Programación y Control de la producción (PCP), simplemente solicita la fundición de moldes de bolas realizando un análisis ligero del stock en el almacén de moldes de bolas terminados, programa que ha llegado a ser cambiado hasta 3 veces antes de que se funda la

primera colada de moldes, debido al incumplimiento del área de moldeo y vaciado, que posterga reiteradamente la fecha de fundición solicitada por PCP y que obliga a la U. P. Bolas a utilizar moldes con varias reparaciones.

Después de fundido los moldes de bolas tienen que esperar 24 horas, tiempo establecido por Ingeniería de Procesos, para culminar su enfriamiento y alcanzar la solidificación necesaria para estas piezas. Los datos históricos muestran que sólo cuando el área de moldeo y vaciado requiere de cajas de moldeo de 48" X 60" X 12" (cajas para el moldeo de los moldes de bolas) para moldear piezas solicitadas por órdenes externas, o para liberar espacio en la pista de vaciado, se cumple el tiempo de enfriamiento, en las demás situaciones los moldes fundidos han llegado a esperar para su desmolde hasta 8 días, y casos excepcionales han permanecido hasta 1 mes, en la pista de vaciado, donde las cajas de moldeo habían sido apiladas como vacías, cuando realmente tenían moldes de bolas fundidos en su interior.

Una vez desmoldeadas estas piezas son trabajadas en la zona de Acabado Primario, allí les retiran los risuellos y los canales de alimentación, mediante el uso de oxígeno. Seguidamente los moldes son colocados en la cama de tratamiento térmico, en donde entran entre 100 y 120 moldes por cama. Los moldes de bolas son

sometidos al tratamiento térmico de ESFEROIDIZADO, proceso requiere 36 horas dentro de un horno. Se aplica este tipo de tratamiento con el fin de que el molde de bolas tenga una mayor durabilidad.

Los moldes ya tratados son lavados en la maquina granalladora Whelabrator, que tiene una capacidad para lavar hasta 8 moldes por vez. Los moldes son colocados en un plato que ingresa a la cabina de granalla, en esta máquina las granallas son expulsadas sólo desde la parte superior, con lo cual sólo la cara superior de las piezas son lavadas, para completar el proceso de limpieza de los moldes es necesario voltear estas piezas con una grúa pescante, realizando esta operación cuatro veces. A este ritmo la capacidad de lavado está en 30 moldes / turno (turno de 8 horas). Los moldes lavados son llevados a la zona de colgantes, en donde con esmeriles de 16", se desbasta toda protuberancia o material sobrante no deseado de la pieza.

A continuación los moldes pasan a la zona llamada "bancos", ya que la labor se realiza sobre bancos de trabajo y consiste en carbonear la pieza y limpiar cada media bola con martillos neumáticos, este trabajo se sobrecarga entre menor sea la medida de diámetro de bola, ya que el número de medias bolas a limpiar aumenta.

Después del proceso en bancos, los moldes de bolas son colocados en parihuelas, en donde caben de 25 a 30 moldes por parihuela. El área de Acabados no cuenta con montacargas propio del área, lo que genera que los moldes tengan que esperar hasta que un montacargas de otra área se desocupe para efectuar el traslado de los mismos a la zona de maquinado. De la zona de Acabados los moldes son llevados hasta el taller de Maquinado N° 2, en donde se colocan en el área destinada para los moldes en cola.

Desde el proceso de Acabado Primario hasta el trabajo en bancos, no existe personal destinado exclusivamente para la producción de moldes de bolas con lo cual el flujo de fabricación no es continuo alargándose el proceso generando las siguientes situaciones problemáticas para el área de maquinado:

- Existen periodos en que no tienen moldes para maquinar ya que el área precedente no les entrega piezas para trabajar,
- Periodos en donde el abastecimiento es mayor a la capacidad de maquinado incrementando el inventario en proceso, ya que la capacidad de acabados es mucho mayor que la de maquinado,
- Los moldes de bolas en proceso no son del diámetro programado para la entrega a U.P. Bolas.

Las parihuelas en cola de espera tienen que ser acercadas al Centro de Mecanizado DECKEL MAHO para su mecanizado. Debido a los

recursos disponibles en este taller y la disposición en que se encuentran las máquinas herramientas y los tecles eléctricos, este acercamiento sólo se puede realizar con un montacargas, incrementando la cantidad de tiempos muertos debido a la espera de que un montacargas esté desocupado, ya que al igual que el área de Acabados, el área de Maquinado, tampoco dispone de un montacargas exclusivo.

Del Centro de Mecanizado DECKEL MAHO, pasa al Taladro Múltiple HECKER, en donde se perforan 4 agujeros, que son seguidamente roscados en la misma máquina. Una vez perforados y roscados, los moldes son colocados nuevamente en parihuelas, a la espera de un montacargas.

El montacargas lleva estos moldes al Taller de Maquinado N° 1, ubicándolos en el lugar destinado para la cola del Cepillo de Mesa, en el cual se maquina la cara de las medias bolas, culminando aquí su proceso productivo para las medidas de 2" hasta 4". Sólo para los moldes de bolas de 1 ½" de diámetro, pasan al Taladro nuevamente para la perforación de las guías pasantes, finalizando así todo el proceso de fabricación. En el proceso de maquinado se detectaron deficiencias en el manipuleo, ya que para el acercamiento del inventario en espera para ser maquinado por el DECKEL MAHO hasta esta máquina se necesita trasladar las paletas de moldes de bolas

con un montacargas, al igual que el traslado de un taller al otro. Adicionalmente en el taller N°1 los tornos verticales tienen prioridad, es así que la grúa puente manipula los moldes sólo cuando no está siendo utilizada por alguna otra máquina herramienta generando una gran cantidad de tiempos muertos.

**Tabla N° 15:** Tiempos muertos por falta de equipos de manipuleo y paradas técnicas del Cepillo de Mesa

<b>DETALLE DE TIEMPOS MUERTOS</b>	<b>TIEMPO PROMEDIO/TURNO</b>
Por falta de Grúa puente (Preferencia a los tornos Verticales)	1:08:55
Por falta de montacargas	0:16:48
Por parada técnica no programada del Cepillo	0:26:04
<b>Tiempos muertos Total por turno</b>	<b>01:51:48</b>

**Fuente:** Elaboración propia

El detalle de esta tabla se encuentra en el Anexo 6.

Durante los procesos comprendidos desde Desmoldeo hasta el mecanizado, se detectan piezas defectuosas, las cuales o se acumulan en proceso para ser reparados en algún momento o son declaradas PIEZAS CHATARRAS, sin un análisis previo que determine la causa del efecto o la posible reparación de los mismos.

El flujo productivo no es continuo, ya que se puede apreciar inventarios acumulados en casi todas las áreas comprendidas por el proceso de fabricación, esto es porque los moldes son relegados hasta que exista disponibilidad de los recursos involucrados, que normalmente se encuentran atendiendo piezas de órdenes pertenecientes a clientes externos.

Al ser discontinuo el flujo, la entrega de moldes terminados se da de forma intermitente y con espacios de hasta 1 mes, con lo cual la línea de fabricación de Bolas, se ve desabastecida, siendo obligada a utilizar moldes reparados, los cuales pueden llegar hasta 6 reparaciones, dependiendo del diámetro de bola. Entre más reparaciones tenga el molde, mayor será la posibilidad de incrementarse la cantidad de bolas defectuosas o chatarreadas. Utilizar moldes de bolas con más de una reparación genera:

- Aumento de bolas a chatarrear por defectos externos, tales como desplazamientos, deformaciones en la superficie de la bola, bola elíptica y no redonda, entre otras.
- Aumento del número de cambios de moldes en la tornamesa. La tornamesa ha sido declarada cuello de botella en la línea de fabricación de bolas para la molienda, razón por la cual cada minuto perdido en ella, es un minuto perdido en todo el sistema. Cuando un molde de bola es sometido a trabajos en la tornamesa se va deteriorando con cada vaciado, hasta generar grietas entre las

medias bolas lo cual genera bolas fuera de estándares. Es por ello que cuando un molde se va agrietando es cambiado, obligando a la tornamesa a detenerse generando tiempos muertos mientras se realiza este cambio. Entre más reparaciones tenga el molde, menor será su capacidad de resistencia e incrementará la cantidad de paradas en el sistema.

#### 4.4.2. Análisis de causas del problema

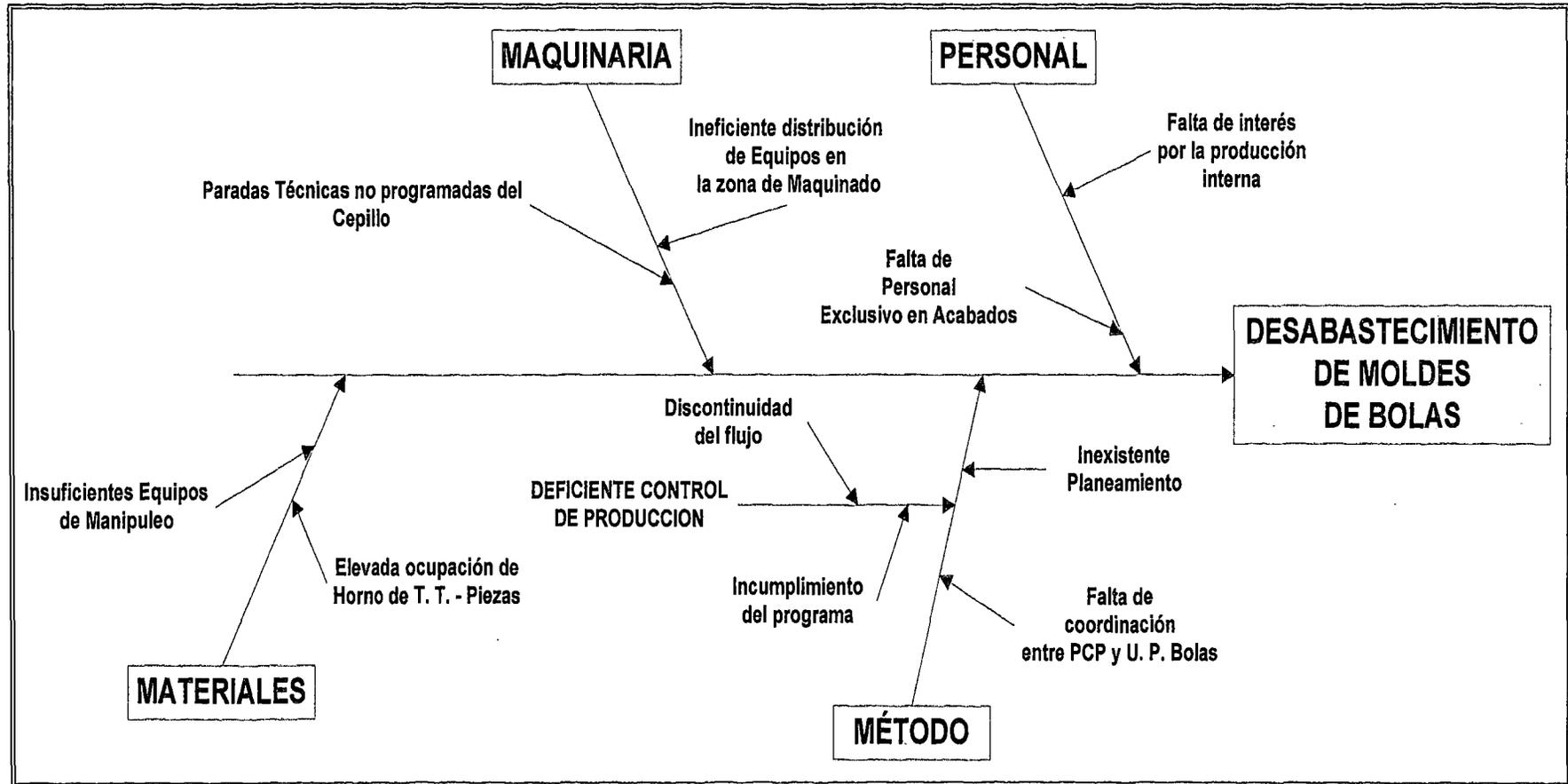


Figura N° 45:

Fuente:

Diagrama Ishikawa: Desabastecimiento de moldes de Bolas

Elaboración propia

## **CAPÍTULO V**

### **MEJORA PROPUESTA**

Para asegurar el abastecimiento de moldes de bolas se realizó el programa MEPROFUL el cual comprendía mejoras en los siguientes procesos: programación y control de la producción, tratamiento térmico, acabados y la zona de maquinado. El desarrollo de este conjunto de mejoras se realizó según el cronograma que se presenta en el Anexo N° 2:

#### **5.1. TRATAMIENTO TÉRMICO**

Los moldes de bolas eran sometidos al tratamiento térmico de Esferoidizado, con el cual se ocupaba 36 horas por tratamiento, en un lote de 100 a 120 moldes por vez. Como ya se mencionó líneas arriba, el proceso de tratamiento térmico es un cuello de botella para toda la línea de piezas y al ser tan extenso su tratamiento los moldes quedaban relegados para ser tratados después de piezas para clientes externos.

Bajo la filosofía del TOC que busca maximizar la utilización del cuello de botella, la primera mejora a realizar se centró en este proceso. Haciendo un estudio se detectó que hasta el semestre anterior a la realización de la investigación, el tratamiento térmico al que eran sometidos los moldes fue el de Normalizado, proceso común para piezas en bajo carbón que es el caso en cuestión. Con este tipo de tratamiento se aplicaba sólo 14 horas, para un lote de 120 moldes.

El área de Ingeniería de Producto había propuesto el nuevo tratamiento con el fin de alargar la vida útil de los moldes y sin realizar el respectivo seguimiento, se dio por hecho que estos duraban más. Es así, que se inició un proceso de estudio y levantamiento de información en donde se contemplaba: duración de la vida útil del molde por diámetro de bola y toneladas de bolas con defectos externos, ya que estos últimos se generan por el desgaste de los moldes durante su utilización. El levantamiento de información fue un trabajo conjunto entre la U.P. Bolas, Control de Calidad y PCP.

Los resultados obtenidos durante este estudio y seguimiento de los moldes sometidos al tratamiento de esferoidizado fueron los siguientes:

**Tabla N° 16:** Duración de moldes de bolas con Tratamiento térmico de Esferoidizado

Diámetro	Cantidad de Coladas soportadas	
	Moldes Nuevos	Moldes Reparados
1 ½"	46	-
2 "	45	-
2 ½"	76	33
3"	78	34
3 ½"	79	35
4"	82	41

**Fuente:** Elaboración propia

Para los diámetros de 1 ½ " y 2", no se utilizan moldes reparados, por la cantidad de defectos externos que se generan con estos.

Con la información obtenida se realizó la comparación evaluando los datos históricos que se tenían de la duración de los moldes con tratamiento térmico de normalizado y se obtuvo lo siguiente:

**Tabla N° 17:** Diferencias de duración de moldes de bolas por tratamiento

<b>Diámetro</b>	<b>Normalizado</b>	<b>Esferoidizado</b>	<b>Aumento de Vida útil porcentual</b>	<b>Equivalente en minutos por semana</b>
1 ½"	45	46	2.17%	130
2"	45	45	0.00%	0
2 ½"	74	76	2.63%	130
3"	78	78	0.00%	0
3 ½"	78	79	1.27%	65
4"	80	82	2.44%	130

**Fuente:** Elaboración propia

Con respecto a las toneladas de bolas con defectos externos tenemos el siguiente cuadro resumen comparativo y cuyo sustento se encuentra en el Anexo N° 4. En esta tabla aparecen los promedios mensuales de toneladas de bolas con defectos externos por diámetro de bolas y sus respectivas diferencias

**Tabla N° 18:** Diferencias de toneladas de bolas chatarras generadas por el desgaste de moldes de bolas.

<b>Diámetro</b>	<b>Normalizado (t)</b>	<b>Esferoidizado (t)</b>	<b>Diferencia (t)</b>
1 ½"	6.33	6.20	0.13
2"	7.90	7.74	0.16
2 ½"	7.87	7.20	0.67
3"	9.23	8.70	0.53
3 ½"	4.23	6.95	-2.72
4"	-	6.25	

**Fuente:** Elaboración propia

Con estos resultados se concluyó que el tratamiento térmico de esferoidizado en los moldes no tenía un impacto relevante en comparación con elevar en 257% la utilización del tambor de la línea de piezas. De esta manera se reestableció el tratamiento térmico de Normalizado reduciendo de 36 a 14 horas y con ello se pudo implementar tratar térmicamente 350 moldes de bolas en promedio por semana.

## **5.2. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN**

Una vez mejorado el proceso de tratamiento térmico y tratando un promedio de 350 moldes por semana, éste dejó de ser la restricción para que el proceso de maquinado se convierta en el nuevo cuello de botella para la fabricación de los moldes.

Se inició la implementación de una nueva metodología para la programación basada en TOC restringiendo todo el proceso de fabricación al ritmo del proceso de maquinado. Para ello se realizaron los siguientes pasos:

### **Paso 1: Levantamiento de información en lo referente a estudio de tiempos de fabricación.**

Hasta esa fecha no se tenía documentación de los tiempos de fabricación ya que no se había realizado el estudio respectivo. Desde el proceso de moldeo junto con la fabricación de las almas hasta la entrega de los moldes

de bolas a maquinado, el proceso es de configuración por lotes, para tornarse de configuración continua en la zona de maquinado, es por ello que se presentan 2 tablas. La primera indica los tiempos levantados desde el inicio hasta el proceso antes del cuello de botella y la siguiente tabla muestra los tiempos levantados mediante observaciones instantáneas en el proceso de mecanizado.

Para el área de Piezas Moldeo – Vaciado se considera como lote de transferencia la cantidad de 48 moldes de bolas, que es la cantidad de moldes que se funden por colada. Para el área de Acabados el criterio fue la cantidad de moldes que se trabajan por turno en el caso que el principal componente sea la mano de obra y para el proceso de tratamiento térmico en donde la cama tiene que ser llenada para que el horno sea utilizado lo más eficientemente posible, se establece como lote de transferencia la cantidad de 120 moldes por cama en promedio.

El estudio fue realizado por el personal de los procesos mencionados juntamente con personal de PCP, los tiempos levantados en un periodo de un mes fueron los siguientes:

**Tabla N° 19:** Tiempos de fabricación de moldes de bolas por áreas con configuración por lote

Área	Actividad	Cantidad Moldes	Tarea	Hrs.	Personas
Piezas Moldeo - Vaciado	Almas	48	Alma Central	8	2
			Alma Lateral	8	1
			Mezclador	8	1
	Enfriamiento	48	Espera	4	-
	Moldeo	48	Moldear	4	3
	Secado	48	Espera	4	-
Acería	Fundición	48	Fundir	3	2
Piezas Moldeo - Vaciado	Vaciado	48	Vaciar	1.5	2
	Enfriamiento	48	Espera	24	-
	Desmoldeo	48	Desmoldear	2	2
Piezas Acabados	Enfriamiento	48	Espera	24	-
	Acabado Primario	30	Cortar	8	1
			Granallar	8	1
	T.T.	120 moldes/cama	Guero	2	1
			Colocar cama	2	1
			Proceso de T.T.	14	-
	Enfriamiento	120	Espera	24	-
	Colgante	30	Esmerilar	8	1
Banco	30	Carbonear	8	1	

**Fuente:** Piezas Moldeo – Vaciado, Piezas Acabados, PCP

Para el área de maquinado, por ser un proceso continuo se realizaron observaciones instantáneas. Para el DECKEL MAHO y el Taladro Múltiple HECKER se efectuaron 30 tomas y para el Cepillo de Mesa BOEHRINGER 21 tomas, en diferentes días, turnos y operarios obteniendo la siguiente tabla resumen:

**Tabla N° 20:** Tiempos promedio del ciclo de fabricación del DECKEL MAHO

<b>Centro de Mecanizado DECKEL MAHO</b>	
<b>Actividad</b>	<b>Promedio</b>
Cargar 2 moldes	00:01:55
Ajustar	00:01:19
Maquinado en DECKEL MAHO	00:20:02
Descargar 1er molde	00:01:21
Descargar 2do molde	00:02:05
Limpiar	00:00:09
<b>TOTAL CICLO (2 piezas)</b>	<b>00:26:50</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 21:** Tiempos promedio del ciclo de fabricación del Taladro

Múltiple HECKER

<b>Taladro Multiple HECKER</b>	
<b>Actividad</b>	<b>Promedio</b>
Cagar molde	00:00:34
Ajustar	00:00:34
Limpiar máquina	00:00:23
Taladrar 4 perforaciones	00:00:55
Limpiar molde y colocar refrigerante	00:00:34
Ajustar	00:00:14
Roscar (4 agujeros)	00:01:28
Colocar guante y desajustar	00:00:36
Descargar	00:00:41
<b>TOTAL CICLO (1 pieza)</b>	<b>00:06:00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 22:** Tiempos promedio del ciclo de fabricación del Cepillo de Mesa

<b>Cepillo De Mesa BOEHRINGER</b>	
<b>Actividad</b>	<b>Promedio</b>
<b>Descarga y carga del cepillo (6 piezas)</b>	
Coger y levantar la cama con la grúa Puente	0:01:13
Alienar y colocar el taco en el suelo	0:00:21
Bajar la cama al suelo	0:00:26
Voltear la cadena	0:00:21
Voltear la cama	0:00:22
Llevar la cama a la zona de desmontaje	0:00:46
Sacar la cadena	0:00:24
Colocar cadena a la otra cama	0:00:29
Levantar la cama	0:00:26
Trasladar la cama	0:00:15
Alienar y colocar taco	0:00:40
Voltear cadena	0:00:32
Voltear cama	0:00:16
Levantar la cama y colocar en el cepillo	0:01:01
Sacar cadena	0:00:15
Retirar grúa Puente	0:00:16
Alienar y ajustar en la mesa del cepillo	0:03:06
Arranque de la máquina	0:01:04
<b>Total Descarga y carga del Cepillo</b>	<b>0:12:13</b>
<b>Cepillado</b>	<b>02:42:51</b>
<b>TOTAL CICLO</b>	<b>02:55:04</b>

**Fuente:** Elaboración propia

El detalle de este estudio de tiempos se encuentra en el Anexo N° 5.

**Tabla N° 23:** Tiempo de ciclo total de maquinado para 30 piezas

<b>TIEMPO DE CICLO TOTAL (30 PIEZAS)</b>			
<b>Operación</b>	<b>Tiempo de Ciclo</b>	<b>Cant Ciclos</b>	<b>Tiempo total</b>
Planeado de Tetoenes	00:26:50	15	06:42:30
Perforación de Agujeros	00:06:00	30	03:00:00
Cepillado de cara Superior	02:55:04	5	14:35:20
<b>Tiempo de ciclo total de maquinado para 30 piezas</b>			<b>24:17:50</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Paso 2: Determinación del tamaño del lote de transferencia**

Para los procesos con configuración por lotes se determinó el tamaño del lote de transferencia en 3 coladas que son equivalentes a 144 moldes, para tratamiento térmico el lote se determinó en 115 a 120 moldes, cantidad que completa la cama. Para el proceso de maquinado por ser este el proceso productivo con menor capacidad del sistema, los moldes se van acumulando antes del DECKEL MAHO a modo de amortiguador.

**Paso 3.: Reuniones de Coordinación entre P.C.P. y el cliente interno**

Para una programación eficaz se establecieron reuniones quincenales de coordinación entre el Jefe de U.P. Bolas y la persona encargada de la programación de los moldes de bolas, en donde ambos determinan la cantidad de moldes a producir, la medida de los moldes y la fecha en que el usuario las va a necesitar.

**Paso 4: Aplicación del sistema SDBR para la programación de la producción**

**Touch Time**, para la aplicación del TOC se determinaron los tiempos de toque o Touch Time, en base a la información levantada en el estudio de tiempos que se realizó en cada proceso productivo. Esta información se aprecia en la tabla que se encuentra en la siguiente página y que refiere al tiempo de toque de 1, 2 coladas y 120 moldes que es la cantidad para completar una cama de tratamiento térmico:

**Tabla N° 24:** Tiempos de Toque de los procesos de fabricación

<b>Cantidad de Moldes</b>	<b>48</b>	<b>96</b>	<b>120</b>	<b>120</b>
<b>PROCESO</b>	<b>Touch Time (horas)</b>	<b>Touch Time (horas)</b>	<b>Touch Time (horas)</b>	<b>Touch Time (días)</b>
Almas	28.00	56.00	70.00	2.92
Moldeo	8.00	16.00	20.00	0.83
Fundición - Vaciado	4.50	9.00	11.25	0.47
Enfriamiento - Desmoldeo	26.00	52.00	65.00	2.71
Acabado Primario	32.00	96.00	80.00	3.33
Tratamiento Térmico	-	-	18.00	0.75
Acabados	24.00	48.00	60.00	2.50
Maquinado	24.50	49.00	61.25	2.55
Inspección	1.50	3.00	3.75	0.16
<b>TOTAL</b>	<b>148.50</b>	<b>329.00</b>	<b>389.25</b>	<b>16.22</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Buffer**, para proteger al sistema de las supuestas perturbaciones que lo puedan alterar es necesario proteger la restricción, que en el presente caso es el proceso de maquinado. Como regla práctica al ser la fabricación de moldes de bolas un proceso no controlado por presentar perturbaciones tales como: paradas no programada de equipos, relegar los moldes de bolas por atender órdenes externa y tiempos muertos en maquinado por no contar con equipos de manipuleo, se determinó que el tamaño del buffer sería igual al Touch Time, es decir:

$$\text{Buffer} = \text{Touch Time} * 1$$

$$\text{Buffer} = 16 * 1$$

$$\text{Buffer} = 16 \text{ días}$$

**Lead Time**, es el tiempo total de producción que comprende la sumatoria del buffer y el touch time, dando el siguiente resultado:

$$\text{Lead Time} = \text{Touch Time} + \text{Buffer}$$

$$\text{Lead Time} = 16 + 16$$

$$\text{Lead Time} = 32 \text{ días}$$

Es así que se establece el inicio del proceso productivo 32 días antes de la fecha de entrega a U.P. Bolas, es decir el proceso de programación se realiza de la siguiente manera:

Con la información obtenida de la Reunión de Coordinación entre U.P. Bolas y P.C.P. se realiza la programación de atrás para adelante. Es decir, de la fecha de entrega se cuenta para atrás el total del buffer para este caso 16 días, de allí se cuenta de igual forma de manera regresiva los 16 días adicionales correspondientes al touch time determinándose así la fecha de inicio de la producción y la longitud de la cuerda.

Por ejemplo si U.P. Bolas necesita 120 moldes de bolas de 3" para el 15 de abril, entonces para el 14 de marzo se planea la fecha de inicio de fabricación, programándose 3 coladas a partir de ese día.

Al elaborar el cronograma de fabricación, después de programar todas las actividades, el buffer se coloca al final del proceso, tal como se aprecia en el Anexo N° 3. El buffer se divide en 3 partes, cada cual con un color diferente, los cuales dan alerta del estado de la producción con respecto a la fecha de entrega y ayudan al control de la producción.

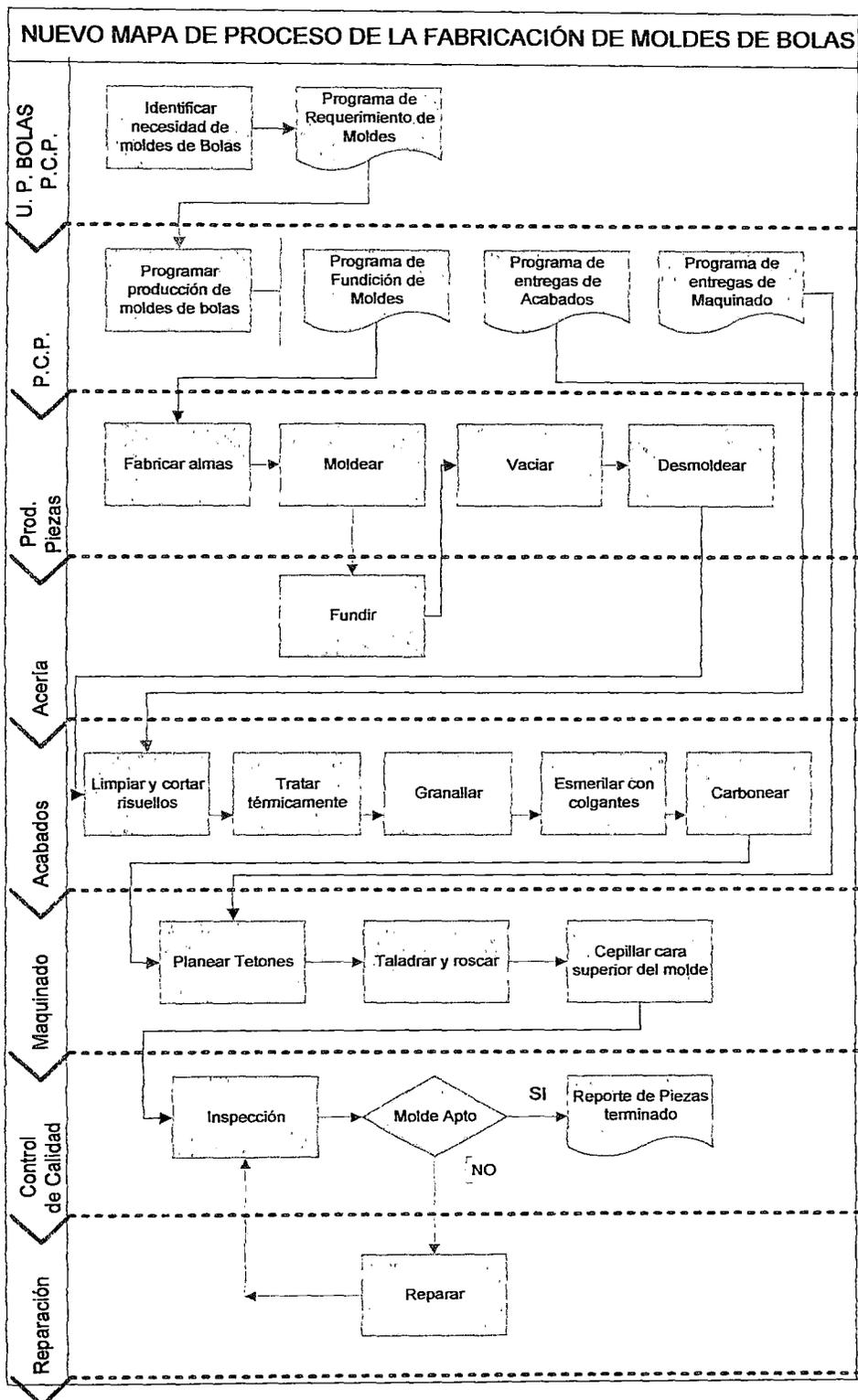
#### **Paso 5: Elaboración de nuevos formatos.**

Existían antes de las mejoras 2 programas: "Programa de Fundición de Moldes de Bolas" (Anexo N° 9) y "Programa de Entrega de Maquinado" (Anexo N° 11) con esto se tenía claro la fecha de inicio y de fin de producción, pero no satisfacía realmente la necesidad del cliente interno ya que no existía coordinación entre el área de Programación y U.P. Bolas.

Se elaboraron 2 formatos adicionales a los ya existentes:

1. **Programa de Requerimiento de Moldes de Bolas**, este era un entregable de la reunión de coordinación entre P.C.P. y U.P. Bolas en el cual aparece cantidad, medidas y la fecha de entrega al cliente interno y era actualizado quincenalmente. (Ver Anexo N° 12)
2. **Programa de Entrega de Acabados**, este era emitido por P.C.P. y se creó con el objeto de que el área de Acabados entregue al área de maquinado los moldes con la medida que el cliente interno requería realmente en el momento oportuno (Ver Anexo N° 10).

Se estableció que todos los programas fueran actualizados y entregados semanalmente a excepción del Programa de Requerimiento de moldes, que como se mencionó líneas arriba, se actualiza quincenalmente. El nuevo Mapa de proceso de la fabricación de moldes de bolas resultó de la siguiente forma:



**Figura N° 46:** Nuevo Mapa de Procesos de la Fabricación de Moldes de Bolas

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 25:** Tabla de actividades del Nuevo Proceso de Fabricación de Moldes de Bolas

RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN	ENTREGABLE
<p>Jefe de U. P. Bolas – Personal de P.C.P.</p>	<p>Identifican la necesidad de moldes de bolas según lo requerido por el programa de producción de Bolas para la molienda.</p>	<p>Programa de Requerimiento de moldes de Bolas</p>
<p>Personal de P.C.P</p>	<p>Programa la producción de moldes de bolas con los siguiente criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inventario de Moldes de Bolas Terminados. (Nuevos y hasta con 2 reparaciones dependiendo del diámetro)</li> <li>• Inventario de moldes de bolas en proceso en cada proceso productivo.</li> <li>• Capacidad de producción.</li> <li>• Fecha solicitada por U.P. Bolas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa de Fundición de Moldes de Bolas</li> <li>• Programa de Entregas de Acabado</li> <li>• Programa de Entregas de Maquinado</li> </ul>
<p>Personal de U. P. Piezas - Moldeo</p>	<p>Con el programa de Fundición de moldes de Bolas, inicia la fabricación de las almas las cuales se ensamblan con el molde de arena previamente pintado y preparado.</p>	<p>Molde de arena terminado</p>

<b>RESPONSABLE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>ENTREGABLE</b>
Personal de Acería	Realiza la fundición de la chatarra con los ferroaleantes, hasta alcanzar las especificaciones técnicas de la aleación requerida para los moldes de bolas.	Metal líquido.
Personal de U. P. Piezas – Vaciado	El metal líquido es vaciado a los moldes de arena.	Moldes de Bolas vaciados y en proceso de enfriamiento
Personal de U. P. Piezas - Moldeo	Cumplido el tiempo de enfriamiento (24 hrs.), los moldes de bolas son desmoldeados.	Moldes de bolas desmoldeados.
Personal de U. P. Piezas – Acabados	Elimina los risuellos y los canales de alimentación cortándolos con la utilización de tubos de oxígeno, según la prioridad establecida en el Programa de Entregas de Acabados	Moldes de Bolas en As Cast
Personal de U. P. Piezas – Acabados	Coloca los moldes de bolas en la cama de tratamiento térmico (115 a120 moldes por cama) y los somete al tratamiento de esferoidizado.	Moldes de bolas tratados.

RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN	ENTREGABLE
Personal de U. P. Piezas – Acabados	Granallan los moldes de bolas, continuando su proceso en los esmeriles colgantes en donde las rebarbas son pulidas para pasar a los bancos en donde son carboneadas.	Moldes de bolas listos para maquinar
Personal de U. P. Maquinado	Siguiendo la prioridad establecida en el Programa de Entregas de Maquinado, se planea los tetones de los moldes en el Centro de Mecanizado DECKEL MAHO, continuando con 4 perforaciones en los mismos tetones y sus respectivos roscados, en el Taladro Múltiple HECKER, finalizando con el mecanizado de la cara superior de estos en el Cepillo de Mesa BOEHRINGER.	Moldes de Bolas maquinados
Personal de Control de Calidad	Inspeccionan los moldes maquinados por muestreo, si las piezas estuvieran aptas, son entregadas al almacén de moldes terminados y reportadas al APT, de lo contrario las piezas pasan a ser reparadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moldes de Bolas terminados</li> <li>• Reporte de Piezas terminado</li> <li>• Moldes de bolas para ser reparados</li> </ul>
Personal de Reparación	Repara los moldes defectuosos y los entrega a control de calidad para su respectiva inspección.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moldes reparados</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

### 5.3. CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

Con la meta propuesta de entregar mínimo 1200 moldes por mes se tuvo que establecer toda una metodología en el control de la producción que exigía a las distintas áreas el cumplimiento de los programas emitidos por P.C.P.

Se creó un archivo compartido entre P.C.P., U.P. Bolas, Acabados y Maquinado que tenía por objeto visualizar el inventario diario de moldes de bolas terminados, reparados y en proceso. Diariamente la U.P. Bolas reportaba el inventario de moldes terminados, sean nuevos o reparados según el diámetro de bolas que se encontraba en su almacén, en este mismo archivo el área de Acabados y Maquinado tenían que reportar la cantidad de moldes en proceso que se encontraba en sus respectivas zonas. Este archivo llamado *Inventario Diario de Moldes de Bolas* tenía que ser actualizado diariamente a las 7:45 am a más tardar, ya que a las 8:00 am P.C.P. tenía que contar con esta información. (Ver Anexo N° 13)

Adicionalmente a esta información, P.C.P. contaba con:

- Reportes de Vaciado, con el cual verificaba la cantidad de moldes fundidos por día controlando el cumplimiento del inicio de la producción.
- Reporte al APT, con este reporte verificaba la cantidad de moldes de bolas terminados entregados a la U.P. Bolas controlando de esta forma el cumplimiento de la fecha de entrega al cliente interno.
- Reportes de tratamiento térmico, este reporte ayuda al personal de P.C.P. a controlar la cantidad de moldes en proceso ya que le servía de

referencia para constatar que lo reportado por las áreas de Acabado y Maquinado sea correcto.

La información de los 3 últimos reportes mencionados era consolidada en el archivo de *Seguimiento de Moldes de Bolas*. (Ver Anexo N° 14)

Con la información obtenida de los archivos *Inventario Diario de Moldes de Bolas* y *Seguimiento de Moldes de Bolas*, que eran de uso para P.C.P., el asistente encargado de controlar la producción de Moldes de Bolas actualizaba y generaba el reporte: **Control de moldes de Bola en Proceso y entregas a APT** (Ver Anexo N° 15). Este documento era entregado a los jefes de las áreas de Piezas Moldeo-Vaciado, Acabados, Maquinado y al Gerente de Producción con una frecuencia de 3 veces por semana. Aquí aparecía la cantidad de moldes en procesos existentes en cada área, la cantidad de moldes por fundir a la fecha y la estadística de entrega de moldes de bolas terminados.

El objetivo de este reporte era asegurar el flujo productivo de los moldes de bolas, ya que se estableció cantidades límites para los inventarios en proceso en las áreas de Acabados y Maquinado:

- Acabado Primario: máximo 150 moldes en proceso
- Acabado Final: máximo 200 moldes en proceso
- Maquinado: máximo 250 moldes en proceso

Estas cantidades fueron determinadas de la siguiente manera: en Acabado Primario se tenía que completar la cama de tratamiento térmico que

comprendía 120 moldes, es decir completada esta cantidad los moldes tenían que ser tratados, adicionalmente se le dio un margen de 30 moldes. Cuando esta cama salía del horno, todavía existía en Acabado una cierta cantidad distribuida entre la granalladora, el colgante y el banco, cantidad que se estimó en 80 moldes, sumados a las 120 unidades que salen de tratamiento térmico se concluyó que la cantidad máxima para esta zona era de 200 unidades. En maquinado, mientras no se implementara la nueva redistribución de equipos necesitaba contar con un número mayor de moldes en proceso, que también tenían que ser distribuidos entre 3 máquinas herramientas que significaban 2 talleres distintos, con lo cual el número que se determinó fue de 250 unidades. Si alguna área pasaba el límite se tenía que tomar acción inmediata, ya que esto significaba que el flujo se había interrumpido, consecuentemente generaba un consumo del buffer y con esto peligraba la fecha de entrega.

Por cada día adicional al touch time que transcurra en el proceso de fabricación, se va consumiendo un día del buffer, es así que según el aumento de este consumo se visualiza el estado de la producción según el color del buffer, si este continúa en verde simboliza que aun la fecha de entrega no corre peligro, si el amortiguador se encuentra en amarillo es sinónimo de ¡Alerta!, para no descuidar la producción. En el caso de que el amortiguador se transformase a rojo es señal que la fecha de entrega corre peligro y es necesario realizar acciones inmediatas y darle la prioridad del caso. En el Anexo N° 3 se puede distinguir los diferentes estados del Buffer.

El estado de colores del buffer se creó como una herramienta de uso interno de la persona encargada del control y seguimiento de la producción de moldes de bolas sirve como referencia para la actualización de los programas semanales.

#### **5.4. ZONA DE ACABADOS**

Esta área contaba con una granalladora modelo Tumblast adicional a la Whelabrator, la cual era de mayor tamaño y capacidad, ya que el diseño de ésta es para el granallado por lotes de piezas de mediano tamaño, como es el caso de los moldes de bolas. En esta se podía granallar hasta 60 moldes por hora, con lo cual el tiempo de lavado se reducía a 1/10 del tiempo necesario para granallar la misma cantidad en la granalladora Whelabrator. Estaba por cumplirse un año sin que esta máquina funcione, debido a la inexistencia de sus repuestos en el mercado.

En "ZXY" existe el área de Asistencia Técnica que se encarga de visitar a los clientes, para brindarles un servicio de pre y post venta, en estas visitas ellos se dedican a levantar información sobre sus equipos para diseñar mejoras en los mismos y así ofrecer piezas de una mejor performance fabricadas por la empresa. Es así que se solicita a esta área levantar información y diseñar los planos de las partes faltantes de la granalladora, de tal manera que estos repuestos fueron fabricados por la misma "ZXY", habilitándose este equipo al 100%. Adicionalmente se capacitó a 2 personas de esta área para el

mantenimiento de la granalladora sumándose a esto la adquisición del kit de herramientas para disminuir las paradas de este equipo. La siguiente figura muestra la granalladora tipo Tumblast ya habilitada.



**Figura N° 47:** Granalladora tipo Tumblast

Otra mejora relevante en esta zona fue que al implementar una nueva metodología para el control de la producción y obtener un mayor apoyo de la gerencia de producción, obligó al área de Acabados a ordenar la forma de trabajo de la producción de moldes de bolas haciendo que el flujo sea continuo en esta parte del proceso. Se destinó personal exclusivo para crear una línea de moldes de bolas en esta zona. De los tres turnos que trabaja diariamente ésta área, se destinó un turno (8 horas) exclusivo para la línea en mención que comprendía: una persona en Acabado primario quien a la

vez granallaba los moldes ya tratados en la nueva máquina habilitada, un colgantero y un banquero. Juntamente al personal de tratamiento térmico se le dio la disposición de realizar el tratamiento de Normalizado a los moldes 3 veces por semana.

Además se gestionó un horario fijo para que un montacargas lleve los moldes listos por maquinar al área de maestranza. Adicionalmente el jefe de Acabados estableció un control interno de moldes entregados por turno, de tal forma que él mismo podía controlar a su personal. El cronograma que se estableció para las mejoras de esta área se presenta en el Anexo N° 7.

#### **5.5. AUMENTO DE INVENTARIO DE MOLDES TERMINADOS Y PREPARACIÓN PARA LA REUBICCIÓN DE EQUIPOS**

Con la disminución del tiempo de tratamiento térmico, habilitación de la granalladora Tumblast, la asignación de personal en Acabados exclusivo para moldes de bolas y el incisivo control de la producción se agilizó el flujo de producción de moldes de bolas. De esta forma se pudo levantar de manera gradual el inventario de moldes terminados, hasta alcanzar 1200 moldes en el almacén.

Asimismo era necesario prepararse para la reubicación de los equipos, esta se iba a ejecutar por etapas, primero comprendía la realización del mantenimiento del Cepillo de Mesa y después la reubicación en sí, lo cual implicaba que no se cepillarían moldes durante 2 meses, con ello 1200

moldes era una cantidad insuficiente. Ante esta situación se tuvo que idear la manera de habilitar otras máquinas herramientas que pudieran realizar el cepillado de los moldes de bola. El Taller de Mecanizado N° 1 cuenta con 2 mandrinos convencionales y un Mandrino CNC, máquinas que por las operaciones que realizan podrían reemplazar al cepillo y maquinar la cara superior de los moldes de bolas, sólo que para esto era indispensable diseñar un dispositivo que sea capaz de habilitar al mandrino para dicha operación. Es así, que realizando un trabajo conjunto con el jefe de Maquinado se diseñó y fabricó una ESCUADRA que serviría como dispositivo para utilizar los mandrinos convencionales en reemplazo de la cepilladora, este dispositivo demoró 2 semanas en su fabricación, y al momento de hacer la prueba en uno de los mandrinos convencionales, el maquinado lo realizó en la mitad del tiempo del cepillo. Con ello el abastecimiento de moldes durante la parada de mantenimiento del cepillo estaba asegurado, ya que al disminuirse a la mitad del tiempo el proceso de maquinado y disponer de 2 mandrinos convencionales, éstos aún contaba con disponibilidad para atender piezas de clientes externos sin impactar significativamente su grado de producción normal.

#### **5.6. REUBICACIÓN DE EQUIPOS EN LA ZONA DE MAQUINADO**

La reubicación de equipos es la última mejora del programa MEPROFUL, proyecto que en su momento fue aprobado por la Gerencia General pero

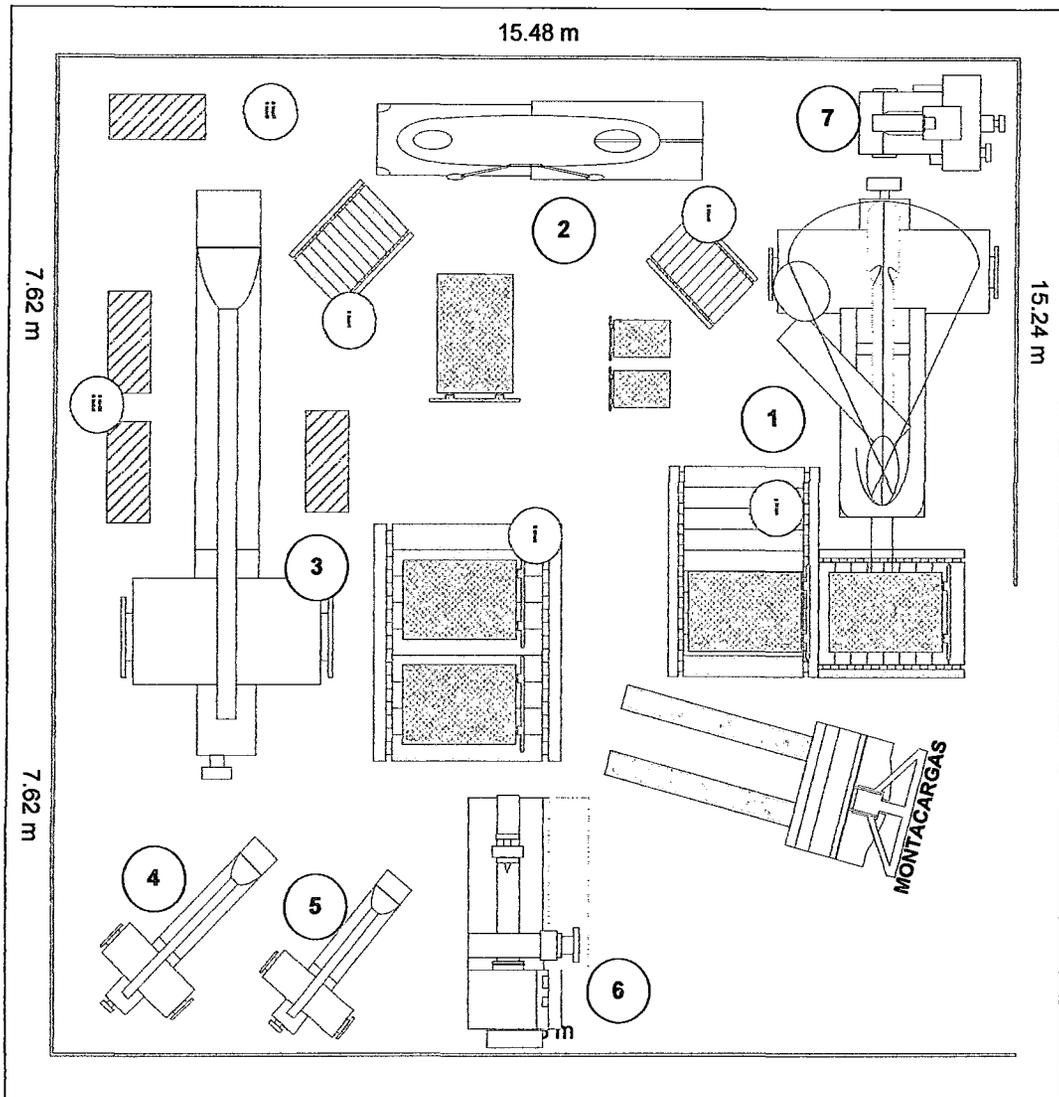
que no ha sido implementado aún por suscitarse cambios organizacionales en la empresa. La mejora al área de maquinado consiste en:

- Agrupar las 3 máquinas herramientas que comprenden el proceso de maquinado en un solo taller, el designado como N° 2. Es decir, trasladar el Cepillo de Mesa BOEHRINGER desde el Taller N° 1 y dar una disposición secuencial a estas 3 máquinas.
- Reubicar los equipos adicionales que se encuentran en el Taller N°2.
- Agregar transportadores de rodillos para disminuir al mínimo la utilización de montacargas.
- Colocar mesas de trabajo para la preparación de las camas del Cepillo.
- Instalar 1 Grúa pescante de 2 toneladas para la preparación de las mesas de moldes de bolas para el cepillo y la repotenciación de las grúas pescantes ya existentes asignadas para la nueva ubicación del DECKEL MAHO y del Taladro Múltiple HECKER.
- Destinar lugares estratégicos para la ubicación de los inventarios en proceso, los cuales varían en capacidad de acuerdo a:
  - a. **Inventario Inicial**, espacio para 3 paletas con capacidad de 30 moldes cada una. Esto es para disminuir la utilización del montacargas y para colocar un buffer a esta pequeña línea.
  - b. **Inventario Intermedio I**, ubicado antes del Taladro Múltiple HECKER, ya que esta máquina pueden maquinar hasta 28 moldes mientras que el cepillo sólo maquina 6 piezas.
  - c. **Inventario Intermedio II**, ubicado antes Cepillo de Mesa BOEHRINGER, aquí se destina un espacio para 48 moldes que

viene a ser una protección de 24 horas para esta máquina herramienta, ya que el plan contempla reducir a un turno el trabajo del Taladro y mantener los 3 turnos del cepillo.

- d. **Inventario Final**, ubicado al final del proceso y lo más próximo a la puerta de salida, para acortar movimientos y manipuleo.

La nueva disposición de equipos se encuentra graficada en la siguiente página.



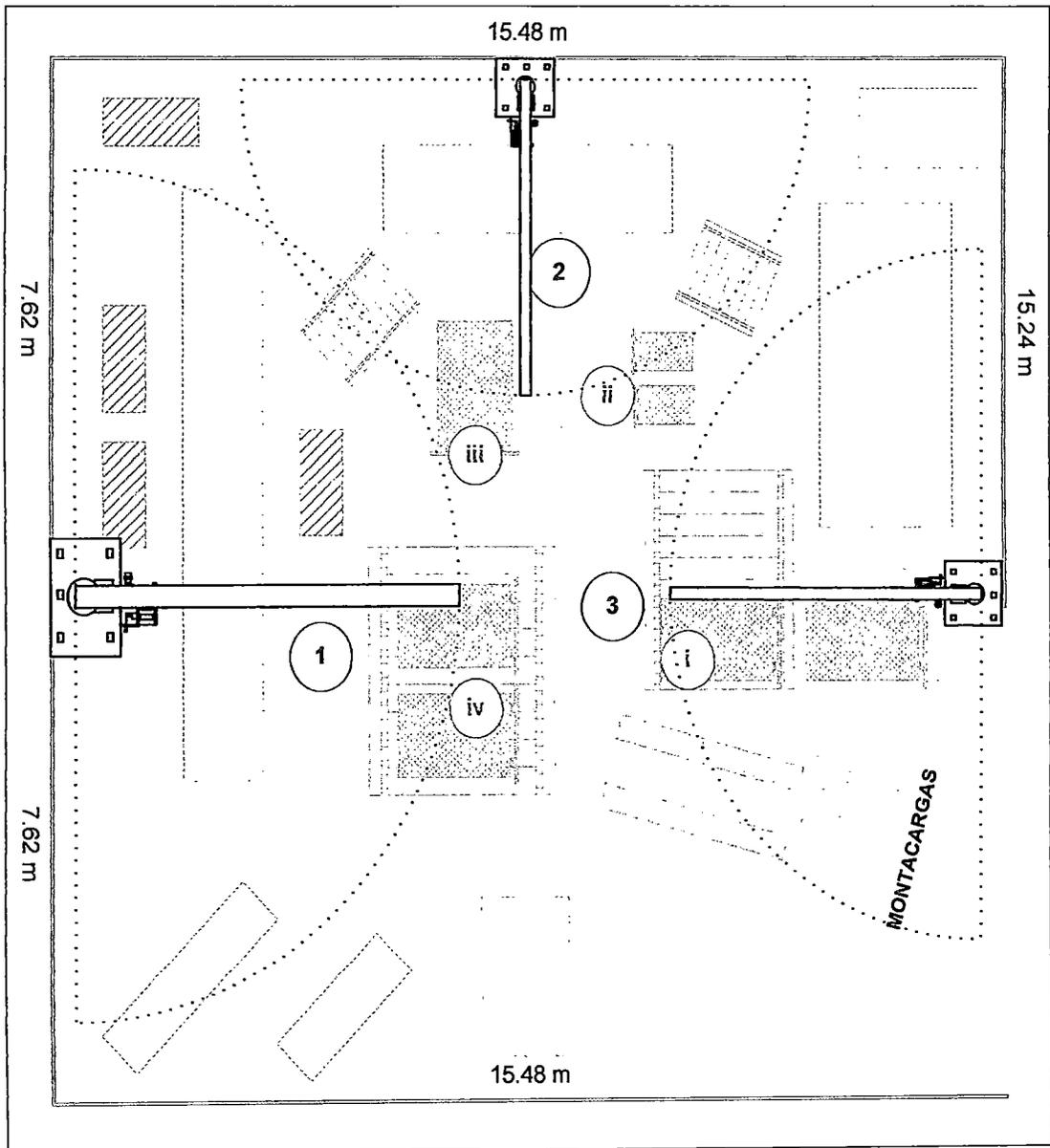
**Figura N° 48:** Reubicación de Equipos en el Taller de Maquinado N°2  
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 26:** Leyenda de la Figura N° 48

Nombre	Descripción
1	Centro De Mecanizado DECKEL MAHO
2	Taladro Múltiple HECKER
3	Cepillo De Mesa BOEHRINGER
4	Torno Convencional
5	Torno Convencional
6	Cepillo Atlas
7	Cepillo Cincinnati
i	Transportador de Rodillos
ii	Mesa de Trabajo para armado de Cama del Cepillo

**Fuente:** Elaboración propia

En la Figura N° 49 se muestra la ubicación propuesta de las grúas pescantes y de los inventarios en proceso.



**Figura N° 49:** Ubicación de Grúas pescante e Inventarios en proceso.  
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 27:** Leyenda de la Figura N° 49

Nombre	Descripción
1	Nueva Grúa Pescante de 2 t.
2 3	Grúa Repotenciada
i	Inventario Inicial
ii	Inventario Intermedio I
iii	Inventario Intermedio II
iv	Inventario Final

**Fuente:** Elaboración propia

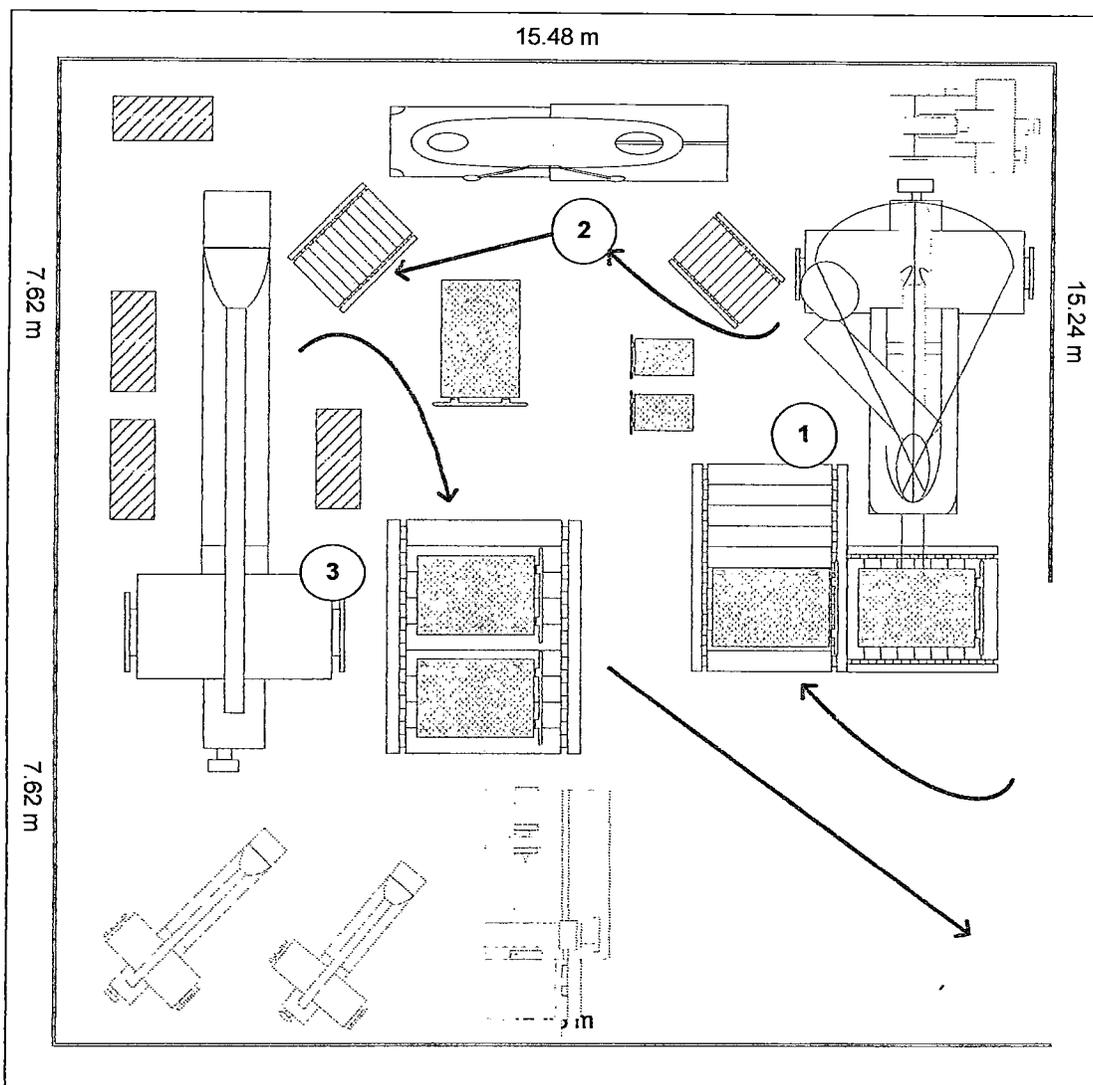
Con la nueva redistribución de equipos el recorrido de los moldes de bolas quedó de la siguiente forma:

1. El montacargas trae de la zona de Acabados las paletas con los moldes de bolas por maquinar y los coloca en una faja de rodillos, que trabaja mecánicamente, ya que las fajas tienen una ligera inclinación con un tope al finalizar la línea de rodillos, de tal forma que las paletas avanzan por gravedad. Estas fajas tienen capacidad para 3 paletas en espera, que equivalen entre 90 a 108 moldes de bolas. La primera operación se realiza en el Centro de Mecanizado DECKEL MAHO y los moldes son levantados con la ayuda de la grúa pescante, una vez terminada esta

operación son colocados en otra faja de rodillos que de igual forma comunica con el Taladro Múltiple HECKER, en esta faja la capacidad es para 12 moldes colocados uno tras otro, que equivalen a 3 operaciones del DECKEL. Si en algún momento sobrepasase su capacidad los moldes podrán ser colocados en una paleta que se encuentra detrás del operario del DECKEL, cerca al Taladro Múltiple.

2. El operario del Taladro Múltiple cogerá los moldes de la faja de rodillo y procederá a realizar la perforación y el roscado de los 4 agujeros, seguidamente los colocará en la faja de rodillos que comunica con la Cepilladora de Mesa, todo inventario adicional que se genere se podrá colocar en paletas dispuestas entre estas 2 máquinas. Este operario puede pivotear ayudando al DECKEL y a la Cepilladora ya que su tiempo de operación es menor que las otras 2 máquinas.
  
3. Aquí el operario se tiene que dedicar a la preparación de las camas para la Cepilladora, la colocación en la bancada de la máquina herramienta en sí y seguidamente el desmontaje de la cama, para colocarlo en la paleta de moldes terminados. La faja de rodillos tendrá capacidad para 2 paletas y se dispondrá de un montacargas que recoja los moldes terminados 2 veces por día.

El nuevo recorrido después de la reubicación de equipos sería de la siguiente forma:



**Figura N° 50:** Nuevo Recorrido de Moldes de Bolas en el Taller de Maquinado  
**Fuente:** Elaboración Propia

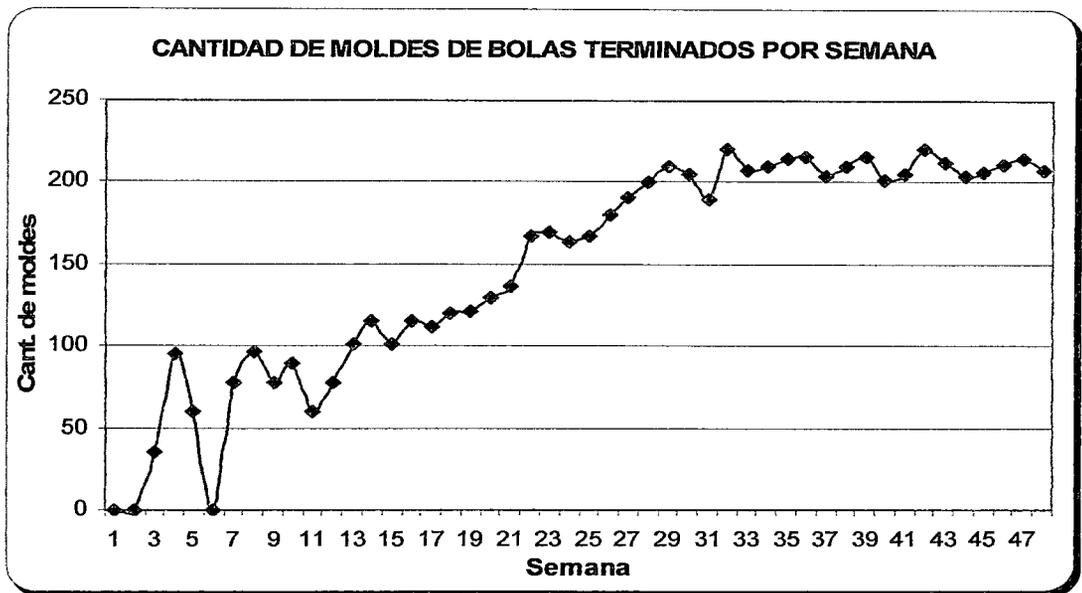
## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Para el análisis de resultados se ha realizado una comparación entre la situación pre y post aplicación del tratamiento MEPROFUL.

#### **6.1. ABASTECIMIENTO DE MOLDES DE BOLAS A U.P. BOLAS**

La cantidad de moldes de bolas terminados entregados a la línea de producción de Bolas fue incrementándose a medida que el programa MEPROFUL fue implementado. La siguiente gráfica muestra el aumento progresivo desde la semana en que se inicia el levantamiento de información hasta conseguir una cantidad estable de entregas antes de la reubicación de equipos en maquinado.



**Figura N° 51:** Cantidad de moldes de bolas terminados por semana.  
**Fuente:** Elaboración propia

En la siguiente tabla se aprecia el aumento en la cantidad de moldes de bolas terminados a consecuencia de la mejora de cada proceso y el paralelo con la evolución del incremento gradual de la producción de Bolas.

**Tabla N° 28:** Comparativo antes y después de la implementación de mejora de cada proceso y el paralelo con la producción de Bolas.

PROCESO MEJORADO	CANTIDAD DE MOLDES TERMINADOS POR MES		PRODUCCIÓN DE BOLAS (t)
	ANTES	DESPUÉS	
Tratamiento Térmico	120	462	3400
Programación y control de la Producción	462	714	3500
Acabados	714	890	4000
Aumento de Inventario de Moldes Terminados	890	1020	4830
Reubicación de equipos en la Zona de Maquinado (Proyectado)	1020	1200	5000

**Fuente:** Elaboración propia

Cabe aclarar que el aumento de la producción de bolas se debió a un conjunto de mejoras aplicadas a todo el proceso productivo realizadas por el Equipo de Estrategias de bolas.

## 6.2. CONTINUIDAD DEL FLUJO PRODUCTIVO

Para verificar la fluidez del proceso productivo se analizó la cantidad de moldes fundidos por semana (inicio del proceso como pieza sólida), el inventario en proceso (zona de acabados y maquinado) y la cantidad de piezas terminadas.

**Tabla N° 29:** Moldes de Bolas por semana al inicio, durante y fin del proceso productivo.

Detalle	Moldes / sem (prom)	
	Antes	Después
Fundición	48	288
Inventario en proceso en Acabados y Maquinado	950	500
Producto terminado	30	270

**Fuente:** Elaboración propia.

### 6.3. TIEMPOS DE CICLO EN EL PROCESO PRODUCTIVO

Durante la implementación del programa MEPROFUL los tiempos de fabricación fueron reduciéndose progresivamente hasta alcanzar una reducción porcentual de 63.71%, con un Lead Time inicial de 62 días para concluir con 22.5 días como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla N° 30:** Comparación de tiempos de proceso antes y después del tratamiento.

<b>PROCESO</b>	<b>Antes (días)</b>	<b>Después (días)</b>	<b>Diferencia (días)</b>
Almas	10.00	6.00	4.00
Moldeo	8.00	1.00	7.00
Fundición - Vaciado	2.00	1.00	1.00
Enfriamiento - Desmoldeo	6.00	2.00	4.00
Acabado Primario	8.00	3.00	5.00
Tratamiento Térmico	7.00	2.00	5.00
Acabados	8.00	4.00	4.00
Maquinado	10.00	3.00	7.00
Inspección	3.00	0.50	2.50
<b>TIEMPO TOTAL DE PROCESO</b>	<b>62.00</b>	<b>22.50</b>	<b>39.50</b>
<b>Diferencia Porcentual</b>	<b>- 63.71%</b>		

**Fuente:** Elaboración propia

#### 6.4. MEJORA DEL PROCESO EN LA ZONA DE MAQUINADO

La reubicación de equipos en la zona de maquinado eliminará el uso de la grúa puente ya que la nueva línea para moldes de bolas contará con sus propias grúas pescantes, con ello los tiempos muertos generados por su falta se reducirán a cero, se minimizará la utilización de montacargas estableciendo horarios fijos y con el mantenimiento correctivo del cepillo de mesa los tiempos muertos por parada técnica desaparecerán. La proyección de estos datos se encuentran resumidos en la siguiente tabla

**Tabla N° 31:** Comparativo de los tiempos muertos en maquinado antes y después de la implementación de MEPROFUL

<b>DETALLE DE TIEMPOS MUERTOS</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Por falta de grúa puente (preferencia a los tornos verticales)	1:08:55	0:00:00	1:08:55
Por falta de montacargas	0:16:48	0:03:00	0:13:48
Por parada técnica no programada del cepillo	0:26:04	0:00:00	0:26:04
<b>Tiempos muertos total promedio por turno</b>	<b>01:51:48</b>	<b>00:03:00</b>	<b>01:48:48</b>
<b>Diferencia Porcentual</b>	<b>97.32%</b>		

**Fuente:** Elaboración propia.

Adicionalmente al reubicar los equipos en un solo taller y colocarlos secuencialmente se disminuirá la distancia recorrida en esta zona, los resultados proyectados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla N° 32:** Comparación de la distancia recorrida por los moldes de bolas en la zona de maquinado

Desde	Hasta	Antes (m)	Después (m)	Diferencia (m)
Zona de moldes por maquinar	Centro de Mecanizado DECKEL	3.46	1.73	1.73
Centro de Mecanizado DECKEL	Perforado de Tetones	4.62	2.65	1.97
Perforado de Tetones	Roscado de Agujeros	3.51	3.51	0.00
Roscado de Agujeros	Zona de moldes por trasladar al cepillo	3.48	2.82	0.66
Zona de moldes por trasladar al cepillo	Puerta del Taller N° 2	8.31		8.31
Puerta del Taller N° 2	Cepilladora Mesa BOEHRINGER	94.60		94.60
Cepilladora Mesa BOEHRINGER	Zona de moldes maquinados	1.00	3.50	-2.50
<b>Total distancia recorrida por los moldes de bolas en la zona de maquinado</b>		<b>118.98</b>	<b>14.21</b>	<b>104.77</b>
<b>Diferencia porcentual</b>		<b>88.06%</b>		

**Fuente:** Elaboración propia

## **CAPÍTULO VII**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

Para el análisis económico de la implementación del programa MEPROFUL se ha recurrido al análisis de los Costo - Beneficio.

#### **7.1. COSTOS DEL PROYECTO**

Para la implementación de todo el programa MEPROFUL no se contrató ningún personal adicional al ya existente, con ello los procesos que van desde el moldeo hasta llegar al desmoldeo, incluyendo la programación y control de la producción no incurrieron a costos pertenecientes a la implementación de este programa de mejoras.

En el caso de Acabados, si bien es cierto que no se contrató personal adicional, se tuvo que destinar 3 personas exclusivas para la línea de moldes, quienes en los días que disminuye la carga (la zona de acabados tiene mayor capacidad que maquinado), se dedican a trabajar piezas de clientes externos. Los costos de esta mano de obra se cargan al costo de producción de los moldes de bolas.

Para el proceso en que se tuvo que invertir de manera relevante fue la Reubicación de Equipos en la zona de maquinado, costos que se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla N° 33:** Presupuesto de la Reubicación de Equipos en la zona de Maquinado

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO	
		UNITARIO	TOTAL
<b>INSTALACIÓN</b>			<b>\$10,000.00</b>
Licitación de Iluminación y Pescantes	1		
Instalación de sistema de iluminación	1	\$3,500.00	\$3,500.00
Instalación, mantenimiento y modificación de grúas Pescantes	1	\$6,500.00	\$6,500.00
<b>CEPILLO CINCINATI</b>			<b>\$1,550.00</b>
Traslado de equipo	1	\$750.00	\$750.00
Instalación eléctrica	1	\$500.00	\$500.00
Cimentación	1	\$300.00	\$300.00
<b>TORNOS CONVENCIONALES</b>			<b>\$3,100.00</b>
Traslado de equipo	2	\$750.00	\$1,500.00
Instalación eléctrica	2	\$500.00	\$1,000.00
Cimentación	2	\$300.00	\$600.00
<b>CEPILLO DE CODO ATLAS</b>			<b>\$1,550.00</b>
Traslado de equipo	1	\$750.00	\$750.00
Instalación eléctrica	1	\$500.00	\$500.00
Cimentación	1	\$300.00	\$300.00

<b>CENTRO DE MECANIZADO DECKEL MAHO</b>			<b>\$3,000.00</b>
Traslado de equipo	1	\$1,000.00	\$1,000.00
Instalación eléctrica	1	\$1,500.00	\$1,500.00
Cimentación	1	\$500.00	\$500.00
<b>CEPILLO DE MESA BOEHRINGER</b>			<b>\$22,500.00</b>
Construcción de base.	1	\$2,000.00	\$2,000.00
Construcción de Ductos	1	\$3,000.00	\$3,000.00
Traslado de Equipos	1	\$1,500.00	\$1,500.00
Instalación de Equipos	1	\$1,000.00	\$1,000.00
Cableado e Instalación Eléctrica	1	\$3,500.00	\$3,500.00
Accesorios de Equipo	1	\$1,000.00	\$1,000.00
Mantenimiento correctivo total	1	\$10,500.00	\$10,500.00
<b>TRANSPORTADOR DE RODILLOS (5 unidades)</b>			<b>\$7,500.00</b>
Diseño de transportador de rodillos	5	\$500.00	\$500.00
Adquisición de materiales	5	\$4,500.00	\$4,500.00
Fabricación e instalación	5	\$2,500.00	\$2,500.00
<b>SUB – TOTAL</b>			<b>\$49,200.00</b>
<b>OTROS IMPREVISTOS 10%</b>			<b>\$4,920.00</b>
<b>TOTAL</b>			<b>\$54,120.00</b>

**Fuente:** Área de Mantenimiento de "ZXY"

## 7.2. BENEFICIOS DEL PROYECTO

### 7.2.1. BENEFICIOS DE LA MEJORA EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO

Un beneficio económico relevante se obtuvo como consecuencia de reducir la utilización de los hornos de tratamiento térmico, ya que una carga de moldes de bolas ocupaba antes de las mejoras

implementadas, 24% de la disponibilidad semanal de un horno para reducirse a 8.3% después del cambio de Esferoidizado a Normalizado. Esta reducción originó un ahorro en el consumo de gas natural que se ve reflejado en la siguiente tabla:

**Tabla N° 34:** Ahorro mensual de consumo de Gas Natural generado por la mejora del proceso de Tratamiento Térmico

<b>Detalle</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Cantidad de horas por T.T.	36	14	22
<b>Cantidad de T.T. por semana para moldes de bolas</b>	<b>Total horas ahorradas por mes</b>	<b>Costo de GN \$/hora</b>	<b>Ahorro Mensual</b>
3	264	\$4.50	\$1,188.00

**Fuente:** Elaboración propia

Adicionalmente como ya se ha manifestado, el proceso de Tratamiento Térmico es Cuello de Botella de la línea de piezas, y según TOC cada hora ahorrada en este proceso generará una hora de throughput para todo el sistema, con lo cual adicionalmente al ahorro del consumo de GN, esta mejora ayudará a incrementar el throughput como se aprecia en la tabla N° 35:

Determinación del throughput de T.T.

$$\text{Throughput de T.T.} = (\text{PV} - \text{CV}) / t \text{ de T.T.}$$

PV: Precio venta.

CV: Costo Variable

t de T.T.: Total de horas tratadas por horno de T.T. en un mes

**Tabla N° 35:** Throughput Total generado por la línea de piezas a consecuencia de la mejora en el proceso de T.T.

Total horas ahorradas por mes	Throughput \$/hora	Throughput Total Mensual
264	\$200	\$52,800

**Fuente:** Área de Costos de "ZXY" en Nov 2010

El total de ahorro mensual generado por la mejora en Tratamiento Térmico se resume en la siguiente tabla:

**Tabla N° 36:** Resumen de beneficios obtenidos de la mejora en el proceso de Tratamiento Térmico.

Detalle	Monto / Mes
Ahorro por consumo de Gas natural	\$1,888.00
Throughput generado por la línea de piezas	\$52,800.00
<b>Total de beneficios mensuales</b>	<b>\$54,688.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

## 7.2.2. BENEFICIOS DE LA MEJORA EN EL PROCESO DE MAQUINADO

Con la Reubicación de Equipos en la zona de maquinado se proyecta incrementar las entregas de moldes de bolas terminados de 210 a 270 por semana que es la meta propuesta. Si la mejora propuesta no se implementara, la empresa tendría que tercerizar el servicio de maquinado de los moldes de bolas, razón por la cual para calcular el beneficio de la inversión, se contempló el ahorro de maquinar 60 moldes por semana en un taller externo. Esto comprendía tener un inventario externo de 120 moldes ya que 60 se encontrarían en tránsito de un local al otro, mientras que otros 60 se encontrarían en proceso en el taller tercerizado.

**Tabla N° 37:** Ahorro Mensual Proyectado de la mejora en Maquinado

<b>Detalle</b>	<b>Monto / Sem</b>	<b>Monto / Mensual</b>
Ahorro por Servicio de Maquinado externo	\$600.00	\$2,520.00
Ahorro por Alquiler de Transporte para los moldes	\$300.00	\$1,260.00
Ahorro por Gastos Administrativos	\$120.68	\$506.85
<b>Total de Ahorros</b>	<b>\$1,020.68</b>	<b>\$4,286.85</b>

**Fuente:** Costos de "ZXY" y Cotización de Taller Crisalkim

El detalle de esta tabla N° 37 se encuentra en el Anexo N° 16

**Tabla N° 38:** Ahorro por mantener Inventario Externo

<b>Costo de moldes hasta Acabados</b>	<b>Moldes en inventario Externo</b>	<b>Ahorro</b>
\$110	120	\$13,200

**Fuente:** Costos de "ZXY"

- **FLUJO DE CAJA NETO DE LA INVERSIÓN**

La inversión del proyecto de la Reubicación de equipos en la zona de maquinado tiene el siguiente flujo de caja.

**Tabla N° 39:** Flujo de Caja Neto de la propuesta de la mejora en Maquinado

<b>Mes</b>	<b>Flujos a Valor presente</b>	<b>Saldo de recuperó de Inversión a valor actual</b>
<b>0</b>	(54,120.00)	(54,120.00)
<b>1</b>	17,285.35	(36,834.65)
<b>2</b>	4,188.15	(32,646.50)
<b>3</b>	4,139.65	(28,506.85)
<b>4</b>	4,091.72	(24,415.13)
<b>5</b>	4,044.34	(20,370.79)
<b>6</b>	3,997.51	(16,373.28)
<b>7</b>	3,951.22	(12,422.06)
<b>8</b>	3,905.47	(8,516.59)
<b>9</b>	3,860.25	(4,656.35)
<b>10</b>	3,815.55	(840.80)
<b>11</b>	3,771.37	<b>2,930.56</b>
<b>12</b>	3,727.70	6,658.26

**Fuente:** Elaboración propia

- **CÁLCULO DEL PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN**

Al analizar el flujo de caja neto se puede apreciar que en el onceavo mes la inversión se torna positiva generando, a partir de allí, beneficios. Es decir, el tiempo de recuperación es de 11 meses.

- **CÁLCULO DEL VAN DE LA INVERSIÓN**

Para el cálculo del VAN se han tomado las siguientes consideraciones:

- ✓ **Costo de capital anual asumido por la empresa:** El costo de capital del sector industrial – energía es 10.25%<sup>7</sup>, pero se asume un mayor costo de capital como margen de seguridad por riesgo del sector fundición, razón por la cual se ha asumido para la presente investigación un costo de capital anual del 15.0%.
- ✓ **Costo de Capital mensual (TEM):** o tasa equivalente mensual ya que se realiza el análisis en meses

$$\text{TEM} = (1 + i)^{1/12} - 1$$

$$\text{TEM} = (1 + 15.0\%)^{1/12} - 1$$

$$\text{TEM} = 1.17\%$$

---

<sup>7</sup> Teoría Financiera y Costo de Capital, Sergio Bravo Orellana, ESAN, Ediciones 2008

- ✓ **Valor Actual Neto (VAN):** Con los datos anteriores se determina el VAN del proyecto

$$VAN = -A + \sum_{i=1}^{12} [Q_n / (1 + TEM)^n]$$

Donde

A = Valor de la inversión inicial del proyecto.

Qn = Valor neto de los distintos flujos de caja.

TEM = Tasa equivalente mensual

**Tabla N° 40:** Flujos a Valor presente

<b>Mes</b>	<b>Flujo de Caja Neto (Qn)</b>	<b>Flujos a Valor Presente</b>
<b>1</b>	17,487.85	17,285.35
<b>2</b>	4,286.85	4,188.15
<b>3</b>	4,286.85	4,139.65
<b>4</b>	4,286.85	4,091.72
<b>5</b>	4,286.85	4,044.34
<b>6</b>	4,286.85	3,997.51
<b>7</b>	4,286.85	3,951.22
<b>8</b>	4,286.85	3,905.47
<b>9</b>	4,286.85	3,860.25
<b>10</b>	4,286.85	3,815.55
<b>11</b>	4,286.85	3,771.37
<b>12</b>	4,286.85	3,727.70
<b>Sumatoria</b>		<b>60,778.26</b>

**Fuente:** Elaboración propia

$$\text{VAN} = - 54,120 + 60,778.26$$

$$\text{VAN} = 6,658.26$$

- **CÁLCULO DEL TIR DE LA INVERSIÓN**

La TIR, tasa interna de retorno viene a ser la tasa exigida de la inversión a la cual no se gana ni pierde y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{TIR} = \sum_{i=0}^{12} [Q_n / (1 + i)^n] = 0$$

$$\text{TIR} = 3.5\%$$

En resumen, para tomar la decisión de invertir en la reubicación de equipos en la zona de maquinado se ha elaborado la siguiente tabla en donde se encuentra resumido los cálculos hallados.

**Tabla N° 41:** Resumen del análisis de inversión del proyecto de Reubicación de Equipos en la zona de maquinado.

<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
Valor Actual Neto (VAN)	<b>\$ 6,658.26</b>
Tasa Interna de Retorno de la Inversión mensual (TIR)	<b>3.5%</b>
Tasa Interna de Retorno de la Inversión anualizada	<b>51.5%</b>
Periodo de Recuperación de la Inversión	<b>11 meses</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

### 7.3. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Para el análisis Costo Beneficio se ha considerado todo el programa de implementación del MEPROFUL. Como periodo de análisis se ha tomado los 12 primeros meses del proyecto una vez ya implementado.

**Tabla N° 42:** Total de beneficios netos por mes

<b>Beneficios</b>	<b>Mes 1</b>	<b>Meses sucesivos</b>
En Tratamiento térmico	\$ 54,688.00	\$ 54,688.00
En maquinado	\$ 17,285.35	\$ 4,286.85
<b>Total de Beneficios netos</b>	<b>\$ 72,175.85</b>	<b>\$ 58,974.85</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 43:** Total de costos de la implementación del MEPROFUL

<b>Costos</b>	<b>Valor</b>
Reubicación de Equipos	\$ 54,120
<b>Total de Costos</b>	<b>\$ 54,120.</b>

**Fuente:** Área de Mantenimiento de "ZXY"

**Tabla N° 44:** Flujo de Caja Neto del programa MEPROFUL

<b>Mes</b>	<b>Flujos a Valor presente</b>	<b>Saldo de recupero de Inversión a valor actual</b>
<b>0</b>	-54,120.00	-54,120.00
<b>1</b>	71,340.11	17,220.11
<b>2</b>	57,616.99	74,837.09
<b>3</b>	56,949.82	131,786.92
<b>4</b>	56,290.39	188,077.30
<b>5</b>	55,638.59	243,715.89
<b>6</b>	54,994.33	298,710.22
<b>7</b>	54,357.54	353,067.76
<b>8</b>	53,728.12	406,795.87
<b>9</b>	53,105.98	459,901.86
<b>10</b>	52,491.06	512,392.91
<b>11</b>	51,883.25	564,276.16
<b>12</b>	51,282.48	615,558.64

**Fuente:** Elaboración propia.

Haciendo los cálculos del indicador C/B:

$$C/B = \frac{\text{Valor presente de los Beneficios}}{\text{Inversión Inicial}}$$

$$C/B = \frac{669,678.64}{54,120.00} = 12.37$$

Por cada dólar que la empresa invierta en el programa MEPROFUL, éste genera beneficios netos en un año de \$ 12.37.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

Después de haber implementado el programa MEPROFUL en la fundición “ZXY” para asegurar el abastecimiento de moldes de bolas, se puede mencionar las siguientes conclusiones:

- ✓ La implementación del programa MEPROFUL ha asegurado el abastecimiento de moldes de bolas que satisfacen la necesidad de la línea de fabricación de bolas para la molienda, entregando 1200 moldes por mes.
  
- ✓ MEPROFUL incrementó la continuidad del flujo productivo, fundiendo de 5 a 6 coladas por semana que equivalen a un rango entre 240 a 288 piezas semanales, manteniendo un inventario mínimo en proceso de 600 unidades y entregando un acumulado de 270 moldes terminados al finalizar la semana.

- ✓ El tratamiento aplicado redujo los tiempos del proceso productivo alcanzando una disminución porcentual de 63.71% con un Lead Time inicial de 62 días y de 22.5 días al concluir la implementación.
- ✓ La reubicación de equipos en la zona de maquinado mejoró este proceso con una reducción de tiempos muertos del 97.32%, ya que de 01h 51m 48s al inicio, terminó con 3 minutos en promedio que hacen referencia a las posibles demoras del montacargas según el horario ya establecido.
- ✓ Se eliminó por completo la utilización de grúas puente y se redujo el manipuleo al acortar distancias entre las máquinas herramientas y ubicarlas secuencialmente. La distancia recorrida por los moldes de bolas disminuyeron de 118.98 a 14.21 metros, equivalente a una disminución del 88.06%.
- ✓ Al reducirse los tiempos de procesos y asegurar el flujo productivo la implementación del programa MEPROFUL se torna viable técnicamente.
- ✓ El tiempo de recuperación de la inversión del proyecto de reubicación de equipos es 11 meses, por ser un periodo menor de un año, la inversión es segura.
- ✓ Al tener un VAN de \$6,658.26 y un TIR igual a 3.5%, el proyecto es realizable y económicamente viable.

- ✓ El programa MEPROFUL es beneficioso económicamente para la empresa ya que por cada dólar que ésta invierta en el programa, se genera beneficios netos en un año de \$ 12.37.

## **RECOMENDACIONES**

Durante el proceso de la investigación se han recogido las siguientes recomendaciones:

- ✓ Es recomendable implementar la Reubicación de Equipos en la zona de maquinado, ya que como se ha demostrado, la mejora en mención es técnica y económicamente viable.
- ✓ Una vez implementado todo el programa MEPROFUL es importante continuar con el ciclo mejora continua, en que nuevamente hay que preguntarse ¿qué mejorar?
- ✓ Para los procesos de fundición por lotes en general es muy recomendable adaptar la metodología de programación y control de la producción mostrada en la presente investigación.
- ✓ Es necesario que las empresas establezcan equipos de trabajo con objetivos concretos para determinar oportunidades de mejora

## GLOSARIO

- **ALEACIÓN**, mezcla homogénea de 2 ó más metales.
- **ALMAS**, partes sueltas del molde, empleadas para obtener cavidades en la pieza.
- **APISONADOR**, máquina neumática manual empleada para compactar la mezcla de arena en el molde.
- **APISONAR**, o ramear, reparar el material plástico refractario utilizando un apisonador a alta presión.
- **AUTORREVENIDO**, tiempo de enfriamiento conjunto de las bolas variable en función al diámetro de la bola.
- **BUFFER**, amortiguados, tiempo adicional que se le asigna a un proceso como protección para poder cumplir con la fecha de compromiso.
- **CAJAS DE ALMAS**, modelos para la fabricación de las almas.
- **CAMA DE TRATAMIENTO TÉRMICO**, superficie compuesta de varias parrillas, en donde se colocan las piezas para ser tratadas.

- **CLIENTE EXTERNO**, todo cliente fuera de “ZXY”.
- **CLIENTE INTERNO**, todo usuario perteneciente a “ZXY”.
- **CHATARRA**, hierro o cualquier otro metal de desecho. Materia prima para fundición.
- **COLADA**, carga de metal líquido fundido dentro del horno.
- **CONSOLIDAR**, agrupar un conjunto de moldes a fundir de la misma aleación para llegar a un peso entre 4500 y 5600 kgs. Con el fin de optimizar el proceso de fundición.
- **DEFECTO DE LA MAQUINA**. eventos en los equipos que no impiden su funcionamiento, pero a corto o largo plazo pueden provocar su indisponibilidad.
- **DEFECTOS DE FUNDICIÓN**, desviaciones presentes en las piezas, adquiridas durante el proceso de fundición.
- **ESCORIA**, sustancia vítrea que flota en el crisol de los hornos de fundir metales, que procede de las impurezas.
- **ESMERILADO**, acción de desbaste de la protuberancia o material sobrante no deseado de la superficie de una pieza.
- **ESPECTÓGRAFO**, aparato empleado para medir la presencia de los isótopos en una mezcla.

- **EVENTOS DEPENDIENTES**, serie de eventos que deben llevarse a cabo antes de que otro pueda comenzar, es decir el evento subsecuente depende de los anteriores a él.
- **FALLA.**, finalización de la habilidad de un ítem para desempeñar una función requerida.
- **FERROALEACIONES**, insumo utilizado para el ajuste de la composición química en la fabricación de los aceros.
- **FLUCTUACIONES ESTADÍSTICAS**, variaciones que sufre una información de una instancia a la siguiente cuando es difícil predecirlas con precisión.
- **GRANALLADORA**, máquina utilizada para limpiar de arena las piezas, utilizando granalla.
- **INGENIERÍA DE DESGASTE**, ingeniería que estudia el desgaste de los materiales.
- **LEAD TIME**, tiempo total de proceso de fabricación. Es igual a la suma del touch time más el buffer.
- **MOLDES REPARADOS**, moldes ya utilizados y que son reparados para una siguiente reutilización con el fin de aminorar costos.
- **MOLDE LAVADO**, moldes que ya han sido granallados.
- **MUÑECO ALIMENTADORES**, parte metálica del sistema de alimentación de almas de bolas.

- **P.C.P.**, área de planeamiento y control de la producción
- **PERA**, bloque de acero de gran tamaño utilizado para el impacto de materiales cuyas medidas se quieren modificar.
- **PIEZA AS CAST**, pieza fundida, que aún no ha sido tratada térmicamente.
- **PINTURA REFRACTARIA**, empleada en el moldeo, sirve de aislante entre el metal líquido y el molde de arena mejorando el acabado superficial del producto.
- **PIROMETRO**, instrumento utilizado para registrar la temperatura, puede ser óptico, digital, láser, analógico, infrarrojo, etc.
- **RISUELLO**, también llamado alimentador o manguito, se encuentra ubicado en la parte superior del molde, siendo utilizado para alimentar el cuerpo de la pieza al momento de la solidificación del metal.
- **ROPE, CUERDA**. tiempo que debe transcurrir desde que se inicia un proceso hasta que se llega al cuello de botella incluyendo su buffer.
- **SISTEMA DE ALIMENTACIÓN**, diseño que ayuda a contrarrestar la contracción volumétrica por solidificación del metal. Para ello se hace uso de manguitos, galletas de corte, enfriadores, arena cromita, mazarotas y risuellos.

- **SISTEMA DE COLADA**, diseño que permite la entrada del metal líquido en la cavidad del molde Para realizar este diseño se hace uso de manguitos, galletas de corte, enfriadores, arena cromita, risuellos.
- **TAMBOR, DRUM**, lista de pedidos por trabajarse en el cuello de botella los cuales marcan el paso de la producción.
- **TIR**, tasa interna de retorno, tasa a la cual una inversión es recuperada por los ingresos generados por un proyecto. Operativamente, consiste en llevar a 0 la suma del flujo futuro de fondos.
- **TDD. TROUGHPUT DOLAR DIA**, indicador que se traduce como la cantidad de dinero que la empresa deja de percibir por cada día de atraso con respecto a la fecha de entrega comprometida con un cliente.
- **TERMOCUPLA**, accesorio de cartón de forma cilíndrica que contiene un sensor en uno de sus extremos que permite medir la temperatura del acero.
- **TRATAMIENTO TERMICO**, comprende el cambio de estructura y, por tanto, el cambio de las propiedades de la aleación. que se consigue mediante el calentamiento hasta una determinada temperatura, por un determinado tiempo y el enfriamiento ulterior a una determinada velocidad.
- **TROUGHPUT**, velocidad a la cual el sistema genera dinero a través de las ventas

- **TOUCH TIME, TIEMPO DE TOQUE** tiempo en que un producto está siendo trabajado (transformado), sin incluir tiempos de espera.
- **U. P. BOLAS**, Unidad de Producción de Bolas.
- **U. P. PIEZAS - MOLDEO**, Unidad de Producción de Piezas correspondiente a las áreas de Modelería, moldeo, vaciado y desmoldeo.
- **U. P. PIEZAS - ACABADOS**, Unidad de Producción de Piezas correspondiente a las áreas de Acabado primario, Tratamiento térmico, acabado final y Soldadura (reparación).
- **U. P. PIEZAS - MAQUINADO**, Unidad de Producción de Piezas correspondiente al área de Maquinado.
- **VAN**, Valor actual neto es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

## BIBLIOGRAFÍA

- Dirección De Operaciones, Aspectos estratégicos en la producción y Servicios. José A. Domínguez Machuca, José Álvarez, Ángel Domínguez, Santiago García y Antonio Ruiz, 1ra Edición en español 1995, Editorial Mc Graw Hill
- Guía Para Una Gestión Basada En Procesos, Instituto Andaluz de Tecnología, España 2009
- La Carrera, En busca de las ventajas competitivas. Eliyahu M. Goldratt, 1ra Edición en español, Buenos Aires 2009, Editorial Granica.
- La Meta, Un proceso de mejora continua. Eliyahu M. Goldratt, 2da Edición en español, 1998. Ediciones Castillo.
- Materiales Y Procesos De Fabricación, vol 2. E. P. DeGarmo, J. T. Black, R. A. Kohser, 2da Edición, España 2002, Editorial Reverté.

- Mejora Continua de los Procesos – Herramientas y Técnicas, Elsie Bonilla, Beatriz Díaz, Fernando Kleeberg, María Teresa Noriega, 1ra Edición, Perú 2010, Fondo de Editorial.
- Mejora De La Calidad De Piezas Fundidas, Josefa Fernández, Manuel Fernández y Marciano Tovar, Madrid 1974.
- Metodología De La Investigación, R. Hernández, C. Fernández, P. Baptista, 1997, Editorial. McGraw-Hill.
- Proyectos, Producción y Logística – Técnicas de Aplicación, Renato Gibellini, Sergio Sato, 4ta Edición, Perú 1999, Fondo de Desarrollo Editorial.
- Análisis, Evaluación Y Mejora De Procesos Logísticos De Ingreso De Mercadería Bajo Régimen De Depósito Autorizado En Un Operador Logístico, Teoría Y Ejemplo Aplicativo, María Giuliana Loaiza Dávila, Tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial de la PUCP, Lima 2007
- Mejora de Proceso Productivo en una Planta de Fundición, Edith Ramsay Saldarriaga, Trabajo de suficiencia profesional para optar el título de Ingeniero Industrial de la UNFV, Lima 1997

- Mejora de Procesos y Redistribución de Almacén de Avios de una empresa de Confecciones, Juan Jo, Juan Pablo Barrenechea. Tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial de la UNI, Lima 2008.
- Redisposición de Planta, Mejoras del Mantenimiento General y de los Métodos de Trabajo en la fabricación de Bolas de Acero para la molienda en una empresa de Fundición, Luis Carlos Marsano Moyano, Tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial de la U. Lima, Lima 1999.
- Confiabilidad.net. *Estrategias de Mantenimiento* (en línea), PD Ingeniero González Prado, Editor: Asociación de Profesionales para el mantenimiento. Dirección URL  
[http://www.confiabilidad.net/invitados/estrategias\\_de\\_mantenimiento.htm](http://www.confiabilidad.net/invitados/estrategias_de_mantenimiento.htm)  
 Consulta: 20 febrero de 2010
- Gestipolis.Com, Teoría de restricciones, Iván Escalona Moreno  
<http://www.gestipolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/tociem.htm>  
 Consulta 01 Agosto 2010.
- Inherentsimplicity.Com, Consultora TOC, Using DBR in Rapad Response Projets, Eli Schragenheim

<http://www.inherentsimplicity.com/materials/Using%20SDBR%20in%20Rapid%20Response%20Project.pdf>

Consulta 01 Agosto 2010

- Ingeniería De Sistemas Educativo, Curso de Procesos de Manufactura Tema XV Cepillo, - Tema XIII Taladro.,

[http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2\\_VIII.html](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2_VIII.html)

Consulta 02 Agosto 2010

- Impress, Supporting Education Across Europe. Propiedades mecánicas

[http://www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/Mechanical%20Properties/Question\\_Mechanical\\_Properties\\_28.html](http://www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/Mechanical%20Properties/Question_Mechanical_Properties_28.html)

Consulta 15 Setiembre 2010

- Metalúrgia, Materiales Y Soldadura, Revista del Capítulo de Ingeniería Metalúrgica CIP – CD Lima, Edición N° 8, pág. 8

<http://www.ciplima.org.pe/Metalurgia/Revista%20metalurgia%20N%C2%B08.pdf>

Consulta: 15 febrero de 2010

- Metalúrgia, Materiales Y Soldadura, Revista del Capítulo de Ingeniería Metalúrgica CIP – CD Lima, Edición N° 9, pág. 23

<http://www.ciplima.org.pe/Metalurgia/Revista%20metalurgia%20N%C2%B09.pdf>

Consulta: 15 febrero de 2010

- Medio Empresarial, Revista Electrónica especializada en Economía y Finanzas, ""*Teoría de las Restricciones*", Ing. Roland Leidinger.

[http://cdiserver.mbasil.edu.pe/mbapage/BoletinesElectronicos/Medio%20Empresarial/6%20n57%20may.04/empresa\\_teoriarestric.htm](http://cdiserver.mbasil.edu.pe/mbapage/BoletinesElectronicos/Medio%20Empresarial/6%20n57%20may.04/empresa_teoriarestric.htm)

Consulta 01 Agosto 2010

- Simplified Drum Buffer Rope, A Whole System Approach to High Velocity Manufacturing, - Eli Schragenheim y William Dettmer

<http://www.goalsys.com/books/documents/S-DBRPaper.pdf>

Consulta 14 Octubre 2010

- Ciencia y Técnica Administrativa, Biblioteca. *Evaluación de inversiones: de la teoría a la práctica*

[http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/van\\_tir/c\\_1.htm](http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/van_tir/c_1.htm)

Consulta 02 Diciembre 2010

## **ANEXOS**

### **Anexo N° 1:**

#### **MATRIZ DE CONSISTENCIA**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipotesis	Operacionalización			Metodo
			Variable	Definición conceptual	Indicadores	
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿En qué medida el programa "MEPROFUL" (Mejora de procesos de fundición por lotes) asegurará el abastecimiento de moldes de bolas que satisfagan la necesidad de la línea de fabricación de bolas para la molienda?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Determinar en qué medida el programa "MEPROFUL" asegurará el abastecimiento de moldes de bolas que satisfagan la necesidad de la línea de fabricación de bolas para la molienda</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>Si se implementa el programa "MEPROFUL" entonces se asegurará el abastecimiento de moldes de bolas que satisfagan la necesidad de la línea de fabricación de bolas para la molienda</p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p><b>X</b></p> <p>Programa de mejora de Procesos</p>	<p>Es la planificación ordenada de actividades a realizar para optimizar procesos.</p>	<p>X1: Implementar SDBR en Planeamiento y Control de la producción</p> <p>X2: Reducción de tiempos en el proceso de Tratamiento Térmico</p> <p>X3: Redistribución de planta en la zona de maquinado de moldes de bolas</p>	<p><b>1. Tipo y Nivel de investigación:</b></p> <p>Investigación aplicada</p> <p>Descriptiva en un primer momento, para luego pasar a ser exploratoria.</p>
<p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>1. ¿En qué medida el programa "MEPROFUL" incrementará la continuidad del flujo productivo?</p> <p>2. ¿En qué medida el programa "MEPROFUL" favorecerá a reducir los tiempos en el proceso productivo?</p> <p>3. ¿En qué medida el programa "MEPROFUL" mejorará el proceso en la zona de maquinado de moldes de bolas?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>1. Determinar en qué medida el programa "MEPROFUL" asegurará a la continuidad del flujo productivo.</p> <p>2. Determinar en qué medida el programa "MEPROFUL" favorecerá a reducir los tiempos en el proceso productivo.</p> <p>3. Determinar en qué medida el programa "MEPROFUL" mejorará el proceso en la zona de maquinado de moldes de bolas.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>1. Si se implementa el programa "MEPROFUL", entonces se asegurará la continuidad del flujo productivo.</p> <p>2. Si se implementa el programa "MEPROFUL", entonces se reducirán los tiempos en el proceso productivo.</p> <p>3. Si se implementa el programa "MEPROFUL", entonces mejorará el proceso en la zona de maquinado de moldes de bolas.</p>	<p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p><b>Y</b></p> <p>Abastecimiento de Moldes de Bolas</p>	<p>Es el conjunto de procesos que se realizan con el objeto de fabricar los moldes de bolas que la empresa requiere, para operar de acuerdo a los niveles de producción establecidos por ella misma.</p>	<p>Y1: Cantidad de moldes en proceso/área</p> <p>Y2: Tiempo del flujo de fabricación</p> <p>Y3: Cantidad de moldes producidos/mes</p> <p>Y4: Inventario Real / Inventario Objetivo de Moldes de Bolas Terminados</p>	<p><b>2. Poblacion</b></p> <p>Línea de Producción de moldes de bolas</p> <p><b>3. Muestra</b></p> <p>Procesos de Planeamiento y Control de la producción, Tratamiento Térmico y Maquinado</p> <p><b>3. Método</b></p> <p>Experimental</p> <p><b>4. Tecnicas e Instrumentos:</b></p> <p>Observación Sistemática, Levantamiento de información y análisis.</p>



ANEXO N° 3

CRONOGRAMA DE FABRICACIÓN DE MOLDES DE BOLAS PARA UN LOTE DE 120 UNIDADES

PARA BUFFER = TOUCH TIME

PROCESO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Almas	■	■	■	■																													
Moldeo			■	■	■																												
Fundición - Vaciado			■	■	■																												
Enfriamiento - Desmoldeo				■	■	■	■																										
Acabado Primario					■	■	■	■																									
Tratamiento Térmico									■	■																							
Acabados											■	■	■																				
Maquinado												■	■	■																			
Inspección																■	■																
Buffer																	■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■

Anexo N° 4

CHATARRA GENERADA POR DESGASTE DE MOLDES DE BOLAS CON  
TRATAMIENTO TÉRMICO DE NORMALIZADO  
(Septiembre 2007 a Diciembre 2007)

1½	DESPLAZADA	REBARBA	TOTAL
SEPTIEMBRE	3.20	4.00	7.20
OCTUBRE	2.00	2.20	4.20
NOVIEMBRE	3.10	3.80	6.90
DICIEMBRE	3.50	3.50	7.00
<b>PROMEDIO MENSUAL</b>			<b>6.33</b>

2	DESPLAZADA	REBARBA	TOTAL
SEPTIEMBRE	4.20	2.50	6.70
OCTUBRE	5.40	4.30	9.70
NOVIEMBRE	2.99	3.10	6.09
DICIEMBRE	5.40	3.70	9.10
<b>PROMEDIO MENSUAL</b>			<b>7.90</b>

2½	DESPLAZADA	REBARBA	TOTAL
SEPTIEMBRE	3.20	4.10	7.30
OCTUBRE	3.30	3.20	6.50
NOVIEMBRE	5.20	4.50	9.70
DICIEMBRE	5.30	2.10	7.40
<b>PROMEDIO MENSUAL</b>			<b>7.87</b>

<b>3</b>	<b>DESPLAZADA</b>	<b>REBARBA</b>	<b>TOTAL</b>
SEPTIEMBRE	5.80	6.10	11.90
OCTUBRE	5.10	7.20	12.30
NOVIEMBRE	4.80	3.70	8.50
DICIEMBRE	4.20	2.70	6.90
<b>PROMEDIO MENSUAL</b>			<b>9.23</b>

<b>3½</b>	<b>DESPLAZADA</b>	<b>REBARBA</b>	<b>TOTAL</b>
SEPTIEMBRE	6.00	6.40	12.40
OCTUBRE	2.11	1.08	3.19
NOVIEMBRE	2.90	4.09	6.99
DICIEMBRE	1.60	0.90	2.50
<b>PROMEDIO MENSUAL</b>			<b>4.23</b>

- Todos los pesos están expresados en toneladas
- Información proporcionada por Control de Calidad
- No se realizó campaña con bola de 4"

**CHATARRA GENERADA POR DESGASTE DE MOLDES DE BOLAS CON  
TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESFEROIDIZADO**

**(Marzo 2008 a Abril 2008)**

<b>1½</b>	<b>DESPLAZADA</b>	<b>REBARBA</b>	<b>TOTAL</b>
MARZO	3.50	4.10	7.60
ABRIL	2.30	2.50	4.80
<b>PROMEDIO MENSUAL</b>			<b>6.20</b>

<b>2</b>	<b>DESPLAZADA</b>	<b>REBARBA</b>	<b>TOTAL</b>
MARZO	3.74	2.64	6.38
ABRIL	5.20	3.90	9.10
<b>TOTAL EN LOS MESES</b>			<b>7.74</b>

<b>2½</b>	<b>DESPLAZADA</b>	<b>REBARBA</b>	<b>TOTAL</b>
MARZO	2.80	3.50	6.30
ABRIL	4.30	3.80	8.10
<b>TOTAL EN LOS MESES</b>			<b>7.20</b>

<b>3</b>	<b>DESPLAZADA</b>	<b>REBARBA</b>	<b>TOTAL</b>
MARZO	4.20	3.00	7.20
ABRIL	5.30	4.90	10.20
<b>TOTAL EN LOS MESES</b>			<b>8.70</b>

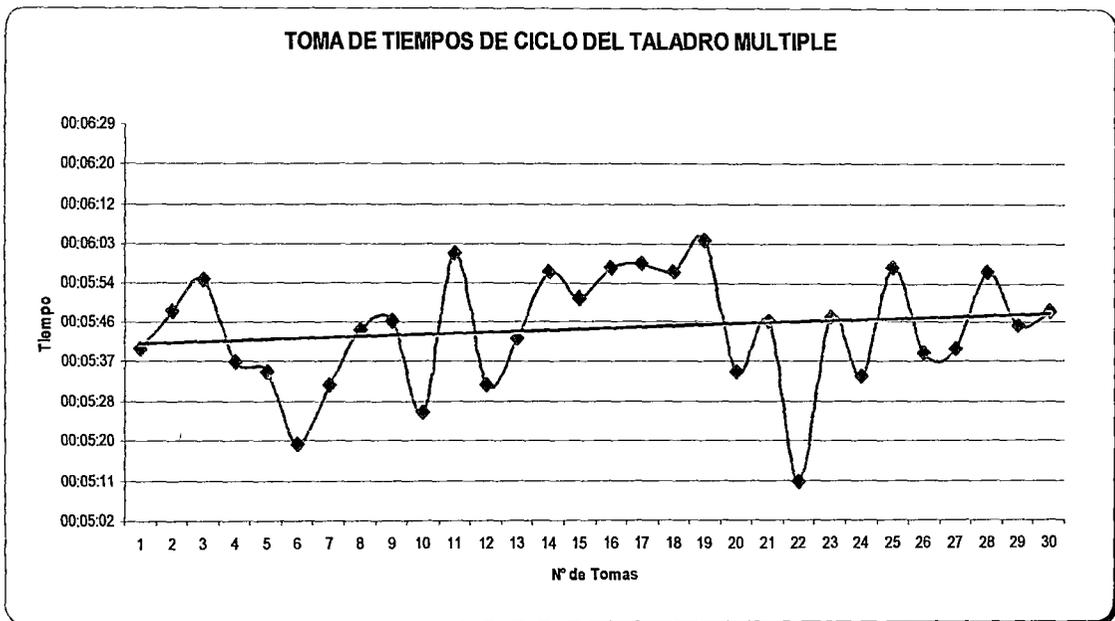
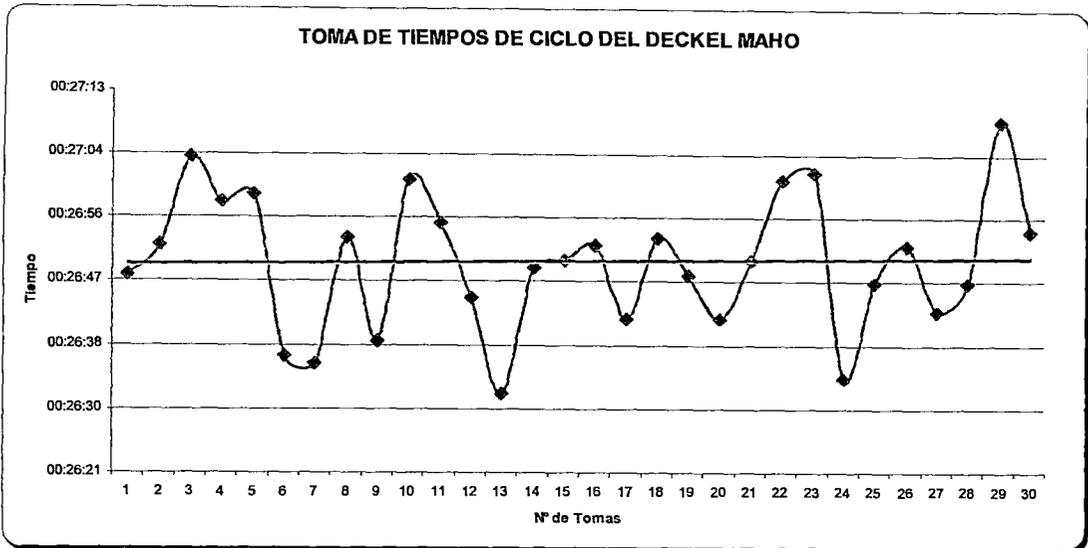
<b>3½</b>	<b>DESPLAZADA</b>	<b>REBARBA</b>	<b>TOTAL</b>
MARZO	4.20	3.00	7.20
ABRIL	3.50	3.20	6.70
<b>TOTAL EN LOS MESES</b>			<b>6.95</b>

<b>4</b>	<b>DESPLAZADA</b>	<b>REBARBA</b>	<b>TOTAL</b>
MARZO	5.30	4.00	9.30
ABRIL	2.11	1.08	3.19
<b>TOTAL EN LOS MESES</b>			<b>6.25</b>

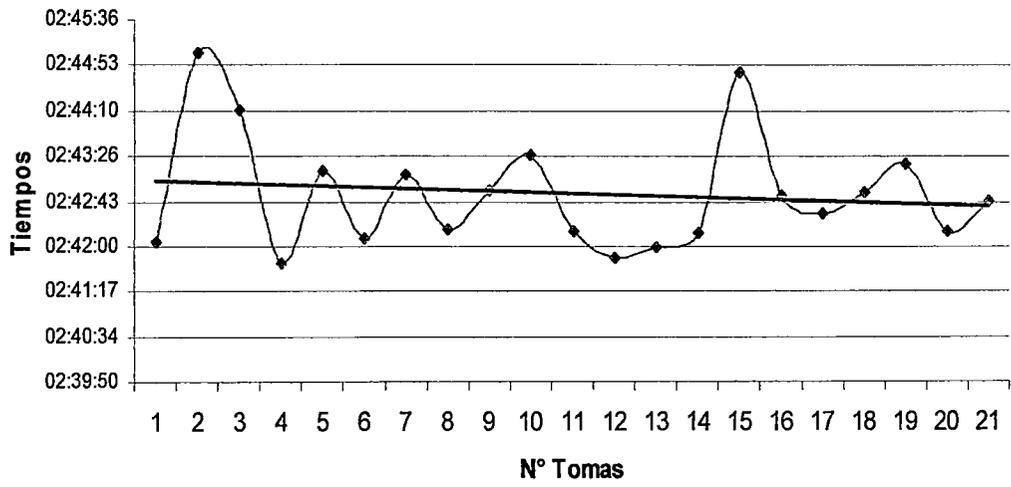
- Todos los pesos están expresados en toneladas
- Información proporcionada por Control de Calidad

Anexo N° 5

TOMA DE TIEMPOS POR CRONÓMETRO LEVANTADOS EN LA ZONA DE  
MAQUINADO



### TOMA DE TIEMPOS DE CICLO DEL CEPILLO DE MESA



Anexo N° 6

TIEMPOS MUERTOS EN MAQUINADO POR FALTA DE EQUIPOS DE MA NIPULEO Y PARADAS DEL CEPILLO DE MESA BOEHRINGER

DETALLE	16/06/2009	16/06/2009	18/06/2009	18/06/2009	23/06/2009	23/06/2009
	Turno B	Turno C	Turno B	Turno C	Turno B	Turno C
Por falta de grúa puente (preferencia a los tornos verticales)	0:12:09	0:15:04	2:39:48	0:54:29	0:53:13	0:07:21
Por falta de montacargas	0:08:59	0:49:15	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
Por parada técnica no programada del cepillo	00:18:26	00:08:06	00:15:04	0:00:00	00:43:18	00:37:29
<b>Tiempos muertos total por turno</b>	<b>00:39:34</b>	<b>01:12:25</b>	<b>02:54:52</b>	<b>00:54:29</b>	<b>01:36:31</b>	<b>00:44:50</b>

DETALLE	23/06/2009	25/06/2009	25/06/2009	30/06/2009	30/06/2009	TIEMPO PROMEDIO
	Turno C	Turno B	Turno C	Turno B	Turno C	
Por falta de grúa puente (preferencia a los tornos verticales)	0:07:21	0:26:47	0:52:47	2:47:37	2:19:58	1:08:55
Por falta de montacargas	0:00:00	0:56:29	0:53:17	0:00:00	0:00:00	0:16:48
Por parada técnica no programada del cepillo	00:37:29	0:00:00	00:58:12	0:54:20	0:25:48	0:26:04
<b>Tiempos muertos total por turno</b>	<b>00:44:50</b>	<b>01:23:16</b>	<b>02:44:16</b>	<b>03:41:57</b>	<b>02:45:46</b>	<b>01:51:48</b>







**ANEXO N° 9**

<b>ZXY</b>	<b>PROGRAMA DE FUNDICIÓN DE MOLDES DE BOLAS</b>	Código:	PCP-PRG-001
		Versión:	001
		Fecha de	08/07/2008
		Elaboración:	

**MES 1 - MES 2**

Diámetro de molde	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
	1 ½"					
2"						
2 ½"						
3"						
3 ½"						
4"						
<b>Entrega semanal Moldes</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Elaborado por:

R. Teruya

Fecha de elaboración:

dd/mm/aaaa

## ANEXO N° 10

ZXY	PROGRAMA DE ENTREGA DE MOLDES DE BOLAS DE ACABADOS	Código:	PRG-002
		Versión:	1
		Fecha de Elaboración:	08/07/2008

PRIORIDAD	SEM 1		SEM 2		SEM 3		SEM 4		SEM 5	
	DIAM	CANT								
1										
2										
3										
TOTAL	0		0		0		0		0	

### ENTREGAS REALIZADAS EN LA SEMANA 1

DIAM	ENTREGA	COMPROMISO	PENDIENTE SEM 0	PEND. ANTERIOR	ACUMULADO
1 1/2"					
2"					
2 1/2"					
3"					
3 1/2"					
4"					
TOTAL	0	0	0	0	0

TOTAL ENTREGADO EN LA SEMANA	0
------------------------------	---

Elaborado por R. Teruya  
 Actualizado al dd/mm/aaaa

**ANEXO N° 11**

<b>ZXY</b>	<b>PROGRAMA DE ENTREGA DE MOLDES DE BOLAS DE MAQUINADO</b>	Código:	PRG-003
		Versión:	1
		Fecha de Elaboración:	08/07/2008

PRIORIDAD	SEM 1		SEM 2		SEM 3		SEM 4		SEM 5	
	DIAM	CANT								
1										
2										
3										
<b>TOTAL</b>	0		0		0		0		0	

**ENTREGAS REALIZADAS EN LA SEMANA 1**

DIAM	ENTREGA	COMPROMISO	PENDIENTE SEM 0	PEND. ANTERIOR	ACUMULADO
1 1/2"					
2"					
2 1/2"					
3"					
3 1/2"					
4"					
<b>TOTAL</b>	0	0	0	0	0

<b>TOTAL ENTREGADO EN LA SEMANA</b>		<b>0</b>
-------------------------------------	--	----------

Elaborado por R. Teruya  
 Actualizado al dd/mm/aaaa

**ANEXO N° 12**

<b>ZXY</b>	<b>PROGRAMA DE REQUERIMIENTO DE MOLDES DE BOLAS</b>	Código:	PCP-PRG-004
		Versión:	001
		Fecha de Elaboración:	08/07/2008

**MES 1 - MES 2**

Diámetro de molde	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
	1 ½"					
2"						
2 ½"						
3"						
3 ½"						
4"						
<b>Entrega semanal Moldes</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Elaborado por:

R. Teruya

Fecha de elaboración:

dd/mm/aaaa

ANEXO N° 13

<b>ZXY</b>	<b>INVENTARIO DIARIO DE MOLDES DE BOLAS</b>	Código:	PRG-005
		Versión:	1
		Fecha de Elaboración	08/07/2008

FECHA: dd/mm/aaaa

MOLDES	STOCK APT						TOTAL
	NUEVOS	USADOS	1 REP	2 REP	3 REP	4 REP	
1 1/2							0
2							0
2 1/2							0
3							0
3 1/2							0
4							0
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

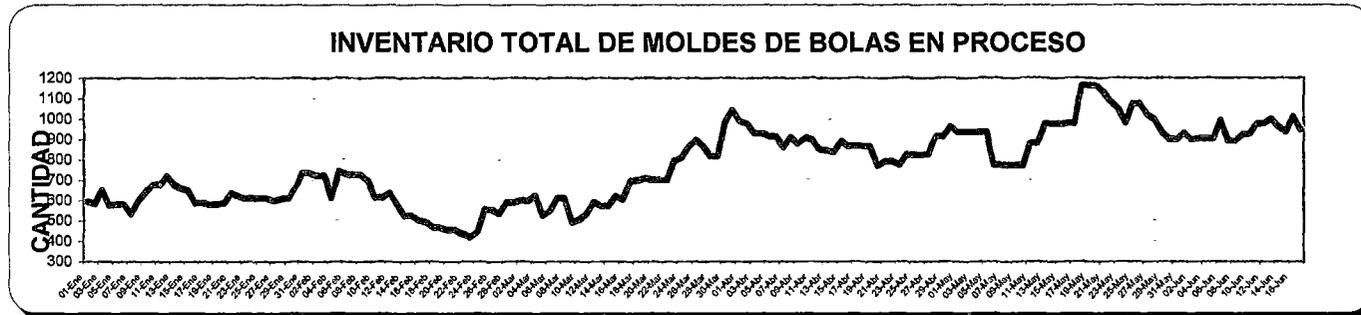
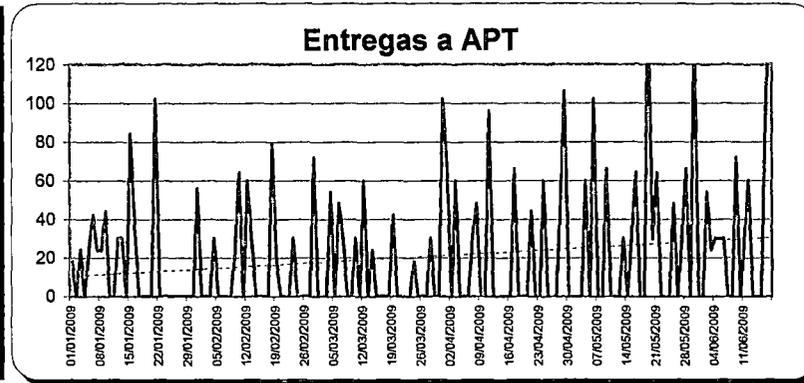
EN MAQ	ACABADO PRIMARIO	CON T.T.	TOTAL PROCESO
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>0</b>		



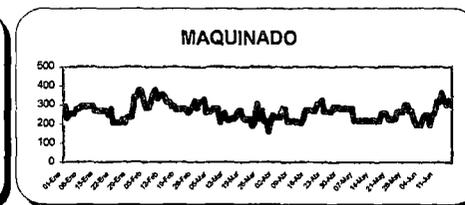
## Anexo N° 15

ZXY	CONTROL DE MOLDES DE BOLAS EN PROCESO Y ENTREGAS A APT	Código:	PCP-PRG-007
		Versión:	001
		Fecha de Elaboración:	08/07/2008

MOLDES	Moldes	Coladas
1 1/2		
2		
2 1/2		
3		
3 1/2		
4		
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>



### INVENTARIO POR ETAPAS DE MOLDES DE BOLAS EN PROCESO



\*En cada proceso se debe mantener como máximo:

Acabado primario: 150 moldes // Acabado Final: 200 moldes // Maquinado 250 moldes

Anexo N° 16

DETALLE DEL AHORRO POR NO TERCERIZAR EL SERVICIO DE MAQUINADO DE  
MOLDES DE BOLAS

AHORRO SEMANAL POR EL SERVICIO DE MAQUINADO

Costo de maquinado por molde			Moldes por semana a Tercerizar	Ahorro por semana
Tercero	"ZXY"	Diferencia		
\$42	\$32	\$10	60	\$600

DETALLE DEL AHORRO SEMANAL POR GASTOS ADMINISTRATIVOS

Detalle	Monto / Sem
Cotización - Emisión de la O/C	\$26.79
Seguimiento y Control	\$22.32
Inspección de Calidad	\$31.25
Transporte del inspector de C. Calidad	\$40.32
<b>Total Gastos Administrativos</b>	<b>\$120.68</b>