



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISTRIBUCIÓN DE LA MAQUINARIA Y MONTAJE DE UNA PRENSA  
ROTATIVA MEZCLADORA PARA LA FABRICACIÓN DE PISO DE GRANITO  
EN LA EMPRESA RODMOSA**

**Daniel de Jesús Carias Culajay**

Asesorado por el Ing. Hernán Leonardo Cortés Urioste

Guatemala, septiembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISTRIBUCIÓN DE LA MAQUINARIA Y MONTAJE DE UNA PRENSA  
ROTATIVA MEZCLADORA PARA LA FABRICACIÓN DE PISO DE GRANITO  
EN LA EMPRESA RODMOSA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

POR

**DANIEL DE JESÚS CARIAS CULAJAY**

ASESORADO POR EL ING. HERNÁN LEONARDO CORTÉS URIOSTE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

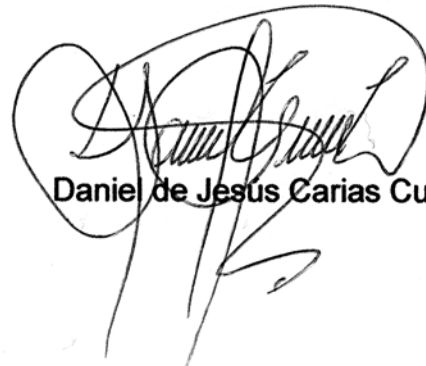
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Gerardo González Castañeda
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADORA	Inga. Gladys Lorraine Carles Zamarripa
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISTRIBUCIÓN DE LA MAQUINARIA Y MONTAJE DE UNA PRENSA ROTATIVA MEZCLADORA PARA LA FABRICACIÓN DE PISO DE GRANITO EN LA EMPRESA RODMOSA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Industrial, con fecha 18 de mayo de 2010.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read 'Daniel de Jesús Carias Culajay'.

**Daniel de Jesús Carias Culajay**

Guatemala, 17 de marzo del 2011

Ingeniero  
César Urquizú, Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Ingeniero Urquizú:

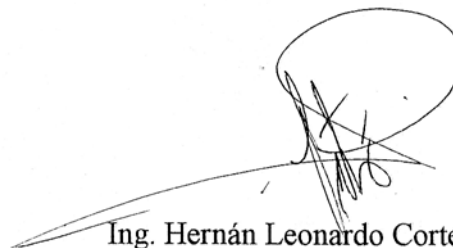
Atentamente me dirijo a usted con el propósito de presentarle el trabajo de graduación titulado "**Distribución de la Maquinaria y Montaje de una Prensa Rotativa Mezcladora para la Fabricación de Piso de Granito en la Empresa Rodmosa**" elaborado por el estudiante Daniel de Jesús Carías Culajay.

En mi calidad de asesor, considero que el trabajo presentado por el estudiante Carías Culajay es un aporte a varios temas de importancia en la Ingeniería Mecánica Industrial, tales como ingeniería de métodos, montaje y mantenimiento de equipo, control de la producción y control de calidad.

Con base en lo anterior ruego a usted se sirva dar el visto bueno para que este trabajo sea presentado ante las máximas autoridades de la Facultad, a fin de que emitan el dictamen correspondiente y si así lo consideran, extiendan el título correspondiente al estudiante mencionado.

Agradeciendo su atención a la presente, aprovecho la oportunidad para reiterarle las muestras de mi consideración.

Atentamente,



Ing. Hernán Leonardo Cortés Urioste  
Colegiado No. 2069

**Hernán Leonardo Cortés Urioste**  
INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL  
COLEGIADO No. 2,069



REF.REV.EMI.076.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISTRIBUCIÓN DE LA MAQUINARIA Y MONTAJE DE UNA PRENSA ROTATIVA MEZCLADORA PARA LA FABRICACIÓN DE PISO DE GRANITO EN LA EMPRESA RODMOSA**, presentado por el estudiante universitario **Daniel de Jesús Carias Culajay**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Renaldo Cirón Alvarado  
INGENIERO INDUSTRIAL  
C.ESEM No. 9077

Ing. Renaldo Cirón Alvarado  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

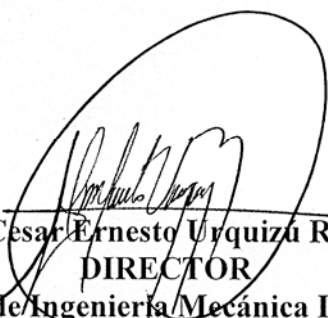
Guatemala, mayo de 2011

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISTRIBUCIÓN DE LA MAQUINARIA Y MONTAJE DE UNA PRENSA ROTATIVA MEZCLADORA PARA LA FABRICACIÓN DE PISO DE GRANITO EN LA EMPRESA RODMOSA**, presentado por el estudiante universitario **Daniel de Jesús Carias Culajay**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, agosto de 2011.

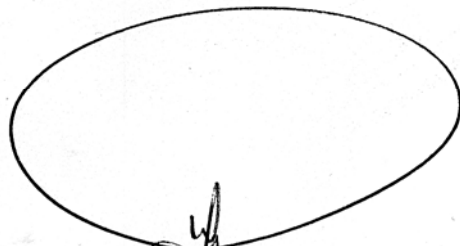
/mgp



DTG. 336.2011.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISTRIBUCIÓN DE LA MAQUINARIA Y MONTAJE DE UNA PRENSA ROTATIVA MEZCLADORA PARA LA FABRICACIÓN DE PISO DE GRANITO EN LA EMPRESA RODMOSA**, presentado por el estudiante universitario **Daniel de Jesús Carias Culajay**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Dymopo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 6 de septiembre de 2011.

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por brindarme la vida a mí y a mis seres queridos día con día, permitiéndonos poder alcanzar objetivos y metas en común. Siendo Dios el dueño de mi vida y mis sueños.
- Mis padres** Daniel Carias y Natalia Culajay por darme su apoyo incondicional durante mi vida y en especial durante el ciclo universitario. Siendo ellos la fuente de guía y sabiduría para poder culminar y alcanzar los objetivos que me he propuesto.
- Mis hermanos** Mainor Carias y Karen Carias siendo ellos muy buenos compañeros de las noches de trabajo y de estudios. Con los cuales he compartido excelentes momentos a lo largo de mi vida, deseándoles éxitos en su vida.
- Mis tíos** Anibal Carías y Argelia Carias, Petronila y Paulina Culajay, por brindarme su amistad, tiempo y cariño que incidieron de buena manera en mi formación.
- Mis primos** José Culajay, Víctor Mendoza, Jennifer Mendoza, Fátima Carias a quienes les deseo que alcancen con éxito sus metas trazadas.

**Mis amigos**

Compañeros de primaria, secundaria y universidad, a quiénes les deseo éxitos en su vida profesional.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**UNIVERSIDAD DE SAN  
CARLOS DE GUATEMALA**

Por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos que me servirán para introducirme en el mundo del conocimiento y el aprendizaje, en el ámbito profesional laboral.

**Facultad de Ingeniería**

La cual es la que me brindó la base para realizar el análisis de los sucesos técnicos en el campo laboral.

**Ing. Hernán Cortés**

Por tomarse la tarea y el tiempo para poder transmitir sus opiniones y conocimientos a cerca de mí trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PISOS DE GRANITO	
1.1. Aspectos técnicos.....	1
1.1.1. Tipos de distribuciones de la maquinaria.....	1
1.1.2. Descripción de la cimentación para una máquina.....	4
1.1.3. Vibraciones de una máquina en funcionamiento.....	7
1.1.4. Tipos de distribución eléctrica para la maquinaria.....	13
1.1.5. Seguridad industrial en las máquina.....	18
1.2. Tipos de materiales necesarios para la fabricación de piso de granito.....	21
1.2.1. Propiedades del cemento portland.....	21
1.2.2. Características del polvo de mármol.....	22
1.2.3. Tipos de colorantes.....	24
1.2.4. Propiedades de los aditivos.....	25
1.2.5. Agregados gruesos.....	25
1.3. Mezcladora de materiales utilizada en el proceso.....	26
1.4. Prensa de materiales en molde utilizada en el proceso.....	27
1.5. Secado de los moldes del producto.....	28
1.6. Pulidora de acabado final del producto.....	28

1.7.	Operarios necesarios en la línea de producción.....	29
1.8.	Riesgos de seguridad existentes en el proceso.....	30
2.	<b>CAPACIDAD ACTUAL DE PRODUCCIÓN</b>	
2.1.	Demanda de piso de granito para RODMOSA.....	33
2.2.	Oferta de piso de granito de RODMOSA.....	35
2.3.	Productividad de la maquinaria.....	37
2.3.1.	Determinación de la cantidad de materia prima necesaria para un lote de productos.....	46
2.4.	Productividad de los operarios.....	49
2.5.	Condiciones de trabajo.....	51
2.6.	Medición del trabajo.....	53
2.6.1.	Tiempo necesario de cada máquina por cada lote de productos.....	66
3.	<b>DISTRIBUCIÓN E INSTALACIÓN DE LA MAQUINARIA</b>	
3.1.	Tipo de maquinaria a instalar.....	71
3.1.1.	Características técnicas.....	74
3.1.2.	Descripción de la eficiencia.....	77
3.2.	Análisis de la distribución de la maquinaria.....	79
3.3.	Análisis de la oferta y la demanda con la nueva línea de producción.....	85
3.3.1.	Descripción de la productividad a alcanzar.....	91
3.3.2.	Análisis de costo beneficio con base en la productividad.....	96
3.4.	Seguridad Industrial.....	105
4.	<b>MONTAJE DE LA PRENSA ROTATIVA</b>	
4.1.	Análisis del suelo.....	115
4.2.	Diseño de la cimentación.....	121

4.3.	Instalación de la alimentación de la energía eléctrica.....	142
4.4.	Distribución de las máquinas auxiliares.....	153
4.5.	Diseño del plan de seguridad industrial para empleados.....	156
4.5.1.	Capacitación de los operarios.....	164
4.5.2.	Inicio de la producción.....	168
5.	CONTROL DE CALIDAD DE LOS PRODUCTOS Y MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LA MAQUINARIA	
5.1.	Manual de mantenimiento predictivo de la prensa rotativa.....	179
5.2.	Implementación del control de calidad.....	191
5.3.	Estrategias para la mejora de la calidad.....	196
5.4.	Mediciones del desempeño.....	206
	CONCLUSIONES.....	211
	RECOMENDACIONES.....	213
	BIBLIOGRAFÍA.....	215
	ANEXOS.....	217



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama de flujo del proceso primera parte.....	41
2.	Diagrama de flujo del proceso segunda parte.....	42
3.	Diagrama hombre máquina.....	69
4.	OPA 650 prensa rotativa mezcladora.....	71
5.	Dispensador automático.....	73
6.	Tren planetario con engranes cilíndricos utilizado para dar giro al conjunto de mesa y molde.....	77
7.	Diagrama de recorrido del proceso actual .....	80
8.	Diagrama de recorrido del proceso mejorado.....	82
9.	Modelo de oferta contra demanda .....	90
10.	Comparación gráfica del beneficio contra costo.....	105
11.	Manipulación de materiales, en el área de bodega de la planta de producción .....	108
12.	Piezas de piso hacia el área de pulido, en el área de secado.....	109
13.	Tabla de propiedades y resistencia a la compresión en arcillas .....	120
14.	Tabla de propiedades y resistencia a la compresión en arenas .....	120
15.	Falla por corte general .....	122
16.	Falla por punzonamiento .....	123
17.	Falla por corte local .....	123
18.	Fuerza que es proclive a levantar la cimentación .....	127



19.	Fuerzas que provocan momentos que generan esfuerzos respecto al punto “O” .....	128
20.	Cimentación reforzada con armazón de acero.....	132
21.	Dimensiones de la cimentación a diseñar.....	136
22.	Cimentación de la máquina parte inferior, vista lateral.....	137
23.	Frecuencia natural de vibración de una cimentación en función del área de contacto.....	138
24.	Amplitud de vibración permisible para cimentaciones.....	140
25.	Diagrama de conexión eléctrica para motores de la máquina OPA 650.....	143
26.	Planta generadora de energía eléctrica ubicada en el área de generación colindante a planta de producción.....	144
27.	Banco de transformadores de distribución trifásica localizados en los linderos de la empresa.....	145
28.	Diagrama de conductores eléctricos.....	147
29.	Tabla de norma eléctrica sobre operación de motores.....	149
30.	Tabla de norma eléctrica para el cálculo del calibre del conductor.....	152
31.	Diagrama de distribución de las máquinas.....	154
32.	Pulidora de piezas de piso en la planta de producción.....	156
33.	Mantenimiento de la mezcladora en la bodega de materiales.....	158
34.	Vista lateral de la máquina con dosificado OPA 650.....	177
35.	Vista en planta de la máquina OPA 650, señalando las 6 estaciones, que utiliza para fabricar el piso.....	185
36.	Tren planetario para dar movimiento a la mesa rotativa de la máquina OPA 650.....	187
37.	Registro de mantenimiento a la maquinaria utilizada en la planta de producción.....	189

38.	Imagen de piezas de piso en mal estado.....	193
39.	Defectos en lotes de productos.....	195
40.	Gráfica de control de no conformidades.....	202
41.	Gráfica de control de no conformidades para operarios.....	203
42.	Bodega de producto terminado y las piezas de piso clasificadas según la materia prima.....	205
43.	Registro de producto no conforme.....	207

## TABLAS

I.	Historial de demanda de piso.....	35
II.	Producción de piso de enero del 2009 a abril del 2011.....	37
III.	Materiales utilizados en la elaboración de mezcla húmeda.....	47
IV.	Materiales utilizados para la elaboración de mezcla seca.....	47
V.	Mezcla húmeda en unidades utilizadas en la producción.....	48
VI.	Mezcla seca en unidades utilizadas en la producción.....	48
VII.	Mediciones de tiempo realizadas en el vibrado y prensado de la operación.....	59
VIII.	Calificación de desempeño, tabla Westinghouse.....	62
IX.	Promedio de tiempos para el ciclo de operaciones para cálculo de tiempo normal.....	63
X.	Suplementos concedidos para operaciones dentro de la planta de producción.....	65
XI.	Pronóstico de fabricación de piezas de piso de enero a septiembre del 2011.....	87
XII.	Demanda insatisfecha de enero del 2009 a abril del 2010.....	89
XIII.	Costos de producción de 400 m <sup>2</sup> de piso por día.....	98

XIV.	Proyección de costos de producción para 9 meses del 2011.....	99
XV.	Proyección de producción de piso de enero a septiembre del 2011.....	100
XVI.	Cálculo de valor presente neto para 9 meses del 2011.....	104
XVII.	Tabla de matriz de asignación de recursos para la planificación de la producción.....	175
XVIII.	Diseño de un programa de mantenimiento a la maquinaria.....	190
XIX.	Proyección de inspección de piezas de piso a realizar en el departamento de producción.....	199

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\Phi$	Ángulo de fricción interna del suelo
$A_t$	Área de la base de la cimentación
$A$	Área de un conductor eléctrico
$S_1$	Asentamiento de la cimentación
$B$	Coefficiente de ponderación ábaco de Lifson
$Be$	Coefficiente económico del beneficio
$I$	Corriente en circuito
$\rho$	Densidad de masa
$m$	Distancia en metros
$\sigma$	Esfuerzos combinados
$Mpa$	Esfuerzo en mega-pascales
$F_p$	Factor de potencia
$^{\circ}C$	Grados Celsius
$g/cm^3$	Gramos por centímetro cúbico

<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>K</b>	Módulo de reacción del suelo
<b>P<sub>t</sub></b>	Peso de la cimentación
<b>γ<sub>n</sub></b>	Peso volumétrico
<b>P</b>	Potencia en watts de una carga eléctrica
<b>σ<sub>d</sub></b>	Presión dinámica
<b>P<sub>i</sub></b>	Presión intergranular
<b>T</b>	Resistencia al corte del suelo
<b>Test</b>	Tiempo estándar
<b>T<sub>n</sub></b>	Tiempo normal
<b>P<sub>n</sub></b>	Valor presente neto
<b>E</b>	Voltaje

## **GLOSARIO**

<b>Avería</b>	Es el mal funcionamiento repentino que se presenta en una máquina o equipo, derivado de la falla de una o varias piezas que componen el sistema de la máquina o equipo.
<b>Baldosas</b>	Piezas de diferentes tamaños de piso de granito fabricado con varios tipos de materiales, como cemento y arena.
<b>Beneficio</b>	Se deriva de la utilización adecuada de recursos dentro de uno o varios procesos.
<b>Cimentación</b>	Estructura compuesta de cemento, piedra caliza y en ocasiones acero. Diseñada para soportar cargas en distintas direcciones y magnitudes.
<b>Condiciones de trabajo</b>	Son las condiciones laborales que permiten a los operarios de una industria ejecutar tareas sin fatiga.
<b>Control</b>	Es el proceso por el cual una persona, un grupo u organización vigila en forma consciente el desempeño de una operación y toma una acción correctiva para mejorarla.

**Corriente alterna**

Es el tipo de corriente que se produce a través de un conductor cuando la polaridad del voltaje cambia cíclicamente en el tiempo, derivado de un flujo magnético cambiante que lo produce.

**Corriente continua**

Es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial.

**Costo**

Es la utilización de uno o varios recursos dentro de un proceso, con el objetivo de lograr obtener algún tipo de beneficio.

**Demanda**

Se define como la cantidad de bienes y servicios que pueden ser adquiridos a los diferentes precios del mercado por un consumidor.

**Diagrama de flujo**

Es una representación gráfica de la secuencia de todas las operaciones, transportes, inspecciones, esperas y almacenamientos que ocurren durante un proceso. Incluye además la información que se considera deseable para el análisis del proceso representado en el diagrama.

<b>Densidad relativa</b>	Es el resultado de la comparación de la densidad o peso específico de un cuerpo o fluido, con respecto a la densidad o peso específico del agua.
<b>Eficacia</b>	Implica la obtención de resultados deseados y puede ser un reflejo de cantidades, calidad percibida o ambos.
<b>Eficiencia</b>	Se define como la obtención de un resultado deseado con el mínimo de insumos, es decir se genera calidad y cantidad y se incrementa la productividad.
<b>Engranaje</b>	Es un dispositivo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina, se construye principalmente de metales aleados como el hierro y el cromo.
<b>Ergonomía</b>	Es la disciplina que estudia todo lo concerniente a la relación entre el hombre y sus condiciones de trabajo.
<b>Esfuerzo</b>	Es la relación que se obtiene entre la presión ejercida por algún cuerpo o fluido dentro de un área definida, en donde actúa dicha presión.



**Fluido**

Es un cuerpo o medio, líquido o gas, que se deforma ante la aplicación de una presión en el sentido tangencial al movimiento del mismo, la rotación del medio es impredecible cuando está en movimiento, tal es el caso de los gases.

**Fraguado**

Es la reacción química que presenta el cemento al mezclarse con el agua, tendiendo al endurecimiento. Este proceso es llamado hidratación y es una reacción química de minerales como el aluminio ferrito bicálcico.

**Frecuencia de vibración**

Es la magnitud que mide la periodicidad en función del tiempo con que se presenta la vibración en un medio o sistema.

**Mantenimiento predictivo**

Es el tipo de mantenimiento que se le da a un equipo, herramienta o sistema para conservar su funcionamiento, con base en las recomendaciones realizadas por el fabricante.

**Materia prima**

Son los materiales extraídos de diferentes ámbitos de la naturaleza y que se transforman para elaborar bienes de consumo.

<b>Matriz de asignación</b>	Es una tabla que contiene campos horizontales y verticales los cuales sirven para poder realizar un control acerca de la utilización de algún tipo de recurso; es una herramienta para la planificación.
<b>Mecanizado</b>	Es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante remoción de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.
<b>Oferta</b>	Cantidad de bienes y servicios que una empresa puede ofrecer a un segmento del mercado, a un determinado precio.
<b>Peso volumétrico</b>	Es la relación entre el peso de un cuerpo o fluido con respecto a un volumen unitario específico.
<b>Presión dinámica</b>	Los fluidos en movimiento producen un incremento en la presión estática en las superficies de los conductos por donde se mueven chocando en un área perpendicular al movimiento y en función de la densidad y la velocidad del fluido crearán la presión llamada dinámica.

<b>Proceso</b>	Conjunto de operaciones que consisten en un flujo de entradas y salidas, coordinadas y dirigidas al logro de objetivos, establecidos en un programa.
<b>Producción</b>	Es la relación que existe entre la cantidad de productos fabricados y el tiempo utilizado para la fabricación de los mismos.
<b>Productividad</b>	Es el grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles para alcanzar objetivos predeterminados.
<b>Pronóstico de producción</b>	Es la interpretación mediante cálculos sobre la tendencia que ha tenido la fabricación de cierto producto con respecto al tiempo y con base en ello establecer un comportamiento futuro en la producción del producto.
<b>Ritmo de línea</b>	El ritmo de línea de producción es aquella en la cual se ha determinado mediante cálculos la cantidad de productos que se pueden fabricar en un período de tiempo determinado.
<b>Stock</b>	Cantidad de material mínimo que debe poseer un inventario para poder abastecer cierta demanda en un lapso determinado.

**Tiempo estándar**

Es un lapso o período que se toma una línea de producción en la fabricación de un producto, bajo ciertas condiciones previamente establecidas.

**Transformador**

Es un dispositivo eléctrico el cual puede aumentar o disminuir el voltaje y la corriente, en función de la aplicación para el que fue diseñado.

**Válvula**

Es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases. Este dispositivo es movible por los diferentes medios como un fluido u otro dispositivo mecánico, construido generalmente de metales aleados.

**Vibración**

Es la propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo. Las vibraciones generan movimientos de menor magnitud que las oscilaciones en torno a un punto de equilibrio.

**Voltaje**

Es una diferencia de potencial que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito eléctrico cerrado, provocando el flujo de una corriente eléctrica. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por un campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla de un lugar a otro.

**Volumen**

Es una magnitud que define el espacio que ocupa un cuerpo en el medio en donde se encuentra, posee tres dimensiones que son base para definir el espacio ocupado.

## RESUMEN

El contenido de este documento explica de forma detallada los materiales utilizados que intervienen en el proceso de fabricación de piso, así como el tipo de maquinaria que se utiliza para la elaboración de los mismos en sus diferentes tamaños.

Se describen las características de mayor relevancia que posee la máquina a instalar la cual sustituirá al conjunto de máquinas que actualmente realiza el proceso de prensado y vibrado. Derivado de esta información se hace un análisis de la productividad por alcanzar, explicando con ello como el proceso podrá obtener una cantidad mayor en lotes de productos para ofrecer al mercado en donde se encuentra.

Seguidamente se analiza la instalación de una línea de energía eléctrica para poner en funcionamiento la maquinaria nueva. Se da una breve explicación acerca del inicio de la producción que involucra el cálculo de los distintos recursos que se utilizarán para llevar a cabo el proceso, tales como horas productivas y cantidad de operarios necesarios.

Después de la descripción de la instalación de la prensa rotativa se dan las características de mayor relevancia que posee un manual de mantenimiento predictivo aplicado a esta máquina, el cual se orienta al mantenimiento a realizar en la planta de producción. Seguidamente se define qué es calidad presente en el producto y a partir de esto se realiza una planificación para poder controlar el proceso de producción en lo que a calidad se refiere.

Se finaliza con la medición del desempeño de la planta de producción en donde se propone analizar en conjunto la productividad y la calidad que se obtiene luego de aplicar el plan de calidad.

# OBJETIVOS

## General

Aumentar la productividad para satisfacer la demanda de piso de granito que tiene actualmente RODMOSA, posicionándose como una empresa líder dentro del mercado.

## Específicos

1. Realizar la instalación de la maquinaria más adecuada para el proceso de fabricación de pisos de granito.
2. Realizar una distribución idónea de las máquinas auxiliares dentro de la línea de producción.
3. Disminuir los riesgos de trabajo que se generan en la línea de producción actualmente.
4. Involucrar al personal operativo en el manejo y control de la prensa rotativa.
5. Definir el área de trabajo de los operarios para obtener una adecuada utilización de la misma dentro de la línea de producción.
6. Realizar un control de calidad del producto final alcanzando de esta manera un nivel de competitividad alto en el mercado.



7. Aumentar la tasa de productividad de la línea de producción de piso de granito de RODMOSA.

## INTRODUCCIÓN

La implementación de mejoras a la producción en las empresas nacionales ayuda a que las mismas obtengan mayores oportunidades fuera de nuestras fronteras, lo cual genera fuentes de empleo tan necesarias en la actualidad. Ese es el caso de la empresa RODMOSA dedicada a la fabricación de piso de granito. Para que lo anterior suceda es importante diseñar plantas de producción eficientes, lo cual se logra únicamente con el estudio y aplicación técnica basada en la ingeniería. El proyecto que se presenta es relevante debido a que en similares condiciones se encuentran otras empresas de diferente ámbito industrial.

Debido a estos y otros aspectos el proyecto de renovación de maquinaria para obtener una mayor productividad es de vital importancia no sólo para la empresa interesada sino para los estudiantes y sociedad en general, los cuales deseen realizar dichas mejoras y no cuentan con asesoría para realizar dicho proyecto.

El proyecto de renovación de maquinaria se estructura de tal forma que al inicio se da a conocer el tipo de proceso de producción de piso de granito, sus diferentes elementos, así como la cantidad de operarios necesarios y los riesgos a los que están sometidos. Seguidamente se desarrollan algunos análisis que tienen como fin determinar la capacidad productiva de la línea actual de producción, específicamente la eficiencia individual de cada máquina. A continuación se describe el tipo de máquina a instalar, analizando en función de la misma la capacidad de producción que se obtendrá así como la eliminación de riesgos de trabajo para los operarios.

Seguidamente se describe la fase de instalación del equipo seleccionado detallando los aspectos de mayor relevancia como el diseño de la cimentación, la instalación eléctrica, y la capacitación de los operarios entre otros. Estos aspectos se relacionan directamente con el inicio de la producción de piso de granito en la nueva línea de producción. Finalizando con el control de calidad al que se debe someter la nueva línea de producción para obtener productos con alta calidad, paralelamente se presenta un manual de mantenimiento predictivo que ayuda a disminuir la probabilidad de paros repentinos por fallos en la maquinaria.

# **1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PISOS DE GRANITO**

## **1.1. Aspectos técnicos**

Para poder entender el tipo de proceso que se lleva a cabo en la fabricación de piso se debe conocer los elementos que conforman al proceso, en tal caso es necesario primero definir el tipo de maquinaria, el tipo de distribución de las mismas así como los materiales utilizados.

### **1.1.1. Tipos de distribuciones de maquinaria**

La distribución de la maquinaria está en función de la segmentación de la planta de producción la que se basa en el concepto de grupos tecnológicos.

El concepto que se basa en el sistema de grupos tecnológicos parte de las siguientes premisas:

- Las piezas producidas por una fábrica tipo taller tienen formas, acabados, operaciones y en general, características que pueden ser clasificadas en pocas categorías.
- Se puede aprovechar la similitud entre piezas de una familia para agrupar máquinas que puedan realizar todas las operaciones necesarias en ella.

La preparación de las máquinas requiere menos tiempo, ya que es posible aprovechar la preparación de una máquina para producir varios tipos de piezas similares. Algunos autores sostienen que este sistema ha logrado romper la barrera del tiempo de reparación.

- Distribución por línea

En el sistema de producción por línea, la maquinaria se coloca de acuerdo con la secuencia de operaciones que necesite el proceso, si es necesario, se aplica el equipo para que no se regrese el material, y así se logra la gran ventaja de este sistema que es producir mucho volumen en corto tiempo.

- Distribución funcional

En el sistema funcional, el equipo se agrupa de acuerdo con las funciones que realiza. Así por ejemplo, todos los taladros están en un departamento y los tornos en otro. La pieza va asignándose al departamento que corresponde de acuerdo con su hoja o guía de trabajo. Es fácil notar que se representa la necesidad de resolver un manejo de material altamente complejo, pues simultáneamente varias piezas pueden estar en espera de ser enviadas al siguiente departamento. Si se trazan en un plano las trayectorias que siguen las piezas se llega a tener una idea de lo complejo que resulta operar y controlar las piezas en este sistema.

En los grupos tecnológicos, las máquinas comunes para la fabricación de una familia de piezas se colocan en el orden de las operaciones más frecuentes. Hasta cierto punto si la familia de piezas no es disímil, se podría afirmar que la distribución de maquinaria es una variable casi irrelevante.

Por ejemplo, si una familia necesita de un rectificado, torneado y fresado, se deberían colocar estas máquinas en una misma área, de acuerdo con la distribución más conveniente. Se puede dividir en tres los pasos a seguir para una distribución idónea según los grupos tecnológicos, los cuales se describen brevemente a continuación.

- Especificación de las familias de piezas

Una característica fundamental que debe existir en la empresa que desee aplicar este sistema es que existan piezas con características comunes de tal manera que se puedan agrupar en familias. Cada familia, debido a que tiene preparación y operaciones similares, permite que se trabaje en un grupo de máquinas específicas. Posteriormente a la formación de familias se debe asignar un número de código en el cual cada dígito proporciona una descripción de la parte. Todas aquellas partes con números de codificación adyacentes pertenecen a la misma familia.

- Examen de la maquinaria existente

Paralelamente a la codificación de las partes, se realiza un estudio de la maquinaria. Este estudio comprende la identificación de las máquinas herramientas con sus características y capacidades. Conviene hacer una lista de estas características para lograr una adaptación eficiente de la maquinaria a los grupos de las piezas que se hayan obtenido. Conjuntamente se hace un análisis de la herramienta y aditamentos necesarios por equipo.

- Resultados obtenidos

En primer lugar se logra un control de producción más fácil y se puede mantener perfectamente definida la responsabilidad.

Al trabajar con piezas similares, se logra tener una pieza común a varios diseños. El manejo de material se simplifica ya que la materia prima llega y sale como producto terminado, ya sea directamente a ensamble o a almacén.

Se logra especializarse en la producción de partes y para las nuevas piezas se puede asignar a un grupo tecnológico que procese una familia con características semejantes.

### **1.1.2. Descripción de una cimentación para máquina**

La cimentación de las máquinas requiere de especial atención del diseñador ya que la operación del equipo genera fuerzas y momentos dinámicos que no poseen un adecuado balance. La cimentación de la maquinaria transmite las cargas dinámicas al suelo de desplante (suelo en contacto directo con la máquina) y éstas se adicionan a las cargas estáticas debidas a la combinación del peso de la maquinaria y del bloque de soporte. Esta es la consideración que distingue a las cimentaciones de máquinas de otras ordinarias, y hace necesarios procedimientos especiales de diseño.

El comportamiento del suelo de desplante es considerado generalmente elástico, esto es razonable para el intervalo de niveles de vibración asociados a un buen diseño de la cimentación.

Los dos parámetros más importantes que deben ser determinados en cualquier diseño dinámico de una cimentación son: la frecuencia natural y la amplitud de vibración del sistema maquinaria-cimentación-suelo, en condiciones normales de operación.

El costo inicial de la construcción de una cimentación para maquinaria es generalmente una pequeña fracción del costo de la misma máquina, de los accesorios y de la instalación. Sin embargo la falla de una cimentación, por causa de un diseño incorrecto o una defectuosa construcción, pueden interrumpir la operación del equipo y ocasionar importantes pérdidas económicas.

El estudio de la cimentación para maquinaria debe resolver tres principales problemas:

- Los movimientos de la maquinaria y cimentación no sean excesivos, ya que originarán fallas y desperfectos en la operación propia del equipo.
- Los asentamientos debidos a los efectos dinámicos estén dentro de los límites permisibles.
- Disminuir, o en su caso, se eliminen las vibraciones transmitidas a través del suelo, que pudieran afectar a personas, edificios o a otra maquinaria.

Con base en lo anterior, la práctica común en el diseño y construcción de cimentaciones para maquinaria fue la de proporcionar grandes masas de concreto para controlar las amplitudes de vibración. Aunque resultó satisfactorio durante algún tiempo, actualmente se buscan las soluciones más eficientes y económicas.



Esto debido a que los espacios para la colocación de equipos en las industrias son cada vez más escasos y pequeños, lo que representa un factor importante en el dimensionamiento de la cimentación, por lo que no resulta adecuado controlar las amplitudes de vibración mediante un gran bloque de concreto, siendo entonces necesaria la utilización de otros medios más económicos y eficientes que aseguren el control de las vibraciones.

Uno de esos medios puede ser la colocación de aisladores de vibración, teniendo en cuenta que si la maquinaria es atornillada rígidamente a su cimentación, el movimiento vibratorio en si mismo puede ser reducido, pero la vibración transmitida a la cimentación puede ser mayor. Esto producirá efectos perjudiciales aún a una distancia considerable del origen de la vibración.

De otra manera si se coloca un soporte flexible bajo la maquinaria o en la cimentación, la vibración transmitida será considerablemente reducida, pero esto puede causar un movimiento significativo en la maquinaria durante su operación normal o durante el encendido y apagado del equipo; por tanto es necesario lograr un equilibrio entre estos dos requerimientos.

Así es como se ha extendido el uso de los sistemas de aisladores de vibración, con la idea fundamental de reducir las amplitudes y tener menores masas de concreto en la cimentación. Esto origina algunas variantes en la conceptualización de los modelos de análisis, los cuales son diferentes a los convencionales ya que se agregan los parámetros adicionales del aislador. De esta manera resulta necesario solucionar analíticamente los modelos matemáticos que consideren el aislamiento, para así tener un precedente que permita evaluar en forma conveniente la eficiencia de esta alternativa en la solución de cimentaciones para maquinaria.

### 1.1.3. Vibraciones de una máquina en funcionamiento

Se describen a continuación las diferentes vibraciones, sus causas y sus consecuencias, lo cual ayuda a determinar el tipo de vibración que se presenta y buscar así la debida corrección de las mismas.

- Vibración debida a desbalance:

El desbalance de la maquinaria es una de las causas más comunes de la vibración. En muchos casos, los datos arrojados por un estado de desbalance indican que:

- La frecuencia de vibración se manifiesta a razón de una vez por las revoluciones por minuto (rpm) de la pieza desbalanceada.
- La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance.
- La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical (en las máquinas con ejes horizontales).
- El análisis de fase provee lecturas de fase inestables.
- La fase se desplazará  $90^\circ$  si se desplaza el indicador de vibración en  $90^\circ$ .

El desbalance de un rotor saliente a menudo tiene como resultado una gran amplitud de la vibración en sentido axial, al mismo tiempo que en sentido radial.

- Vibración debida a falta de alineamiento

En la mayoría de los casos los datos derivados de una condición de falta de alineamiento indican lo siguiente:

- La frecuencia de vibración es de una vez las rpm de la máquina; también 2 y 3 veces las rpm en los casos de una grave falta de alineamiento.
- La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento.
- La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.
- El análisis de fase muestra lecturas de fase inestables.

La falta de alineamiento, aun con acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

Uno de los indicios más importantes de problemas debidos a la falta de alineamiento y a ejes torcidos es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta, hay un buen motivo para sospechar de la existencia de un problema de alineamiento o eje torcido.

- Vibración debida a excentricidad

La excentricidad es otra de las causas comunes de vibración en la maquinaria rotativa. Excentricidad en este caso no significa ovalización, sino que la línea central del eje no es la misma que la línea central del rotor, es decir, el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica.

La excentricidad es en realidad una fuente común de desbalances, y se debe a un mayor peso de un lado del centro de rotación que del otro. Una manera de diferenciar entre desbalance y excentricidad en los tipos de motores es medir la vibración con filtro afuera mientras el motor está funcionando bajo corriente.

La excentricidad en rodets o rotores de ventiladores, sopladores, bombas y compresores puede también crear fuerzas vibratorias. En esos casos las fuerzas son el resultado de fuerzas aerodinámicas e hidráulicas desiguales que actúan contra el rotor.

- Vibración debida a elementos rodantes defectuosos

Los defectos en las pistas, en las bolas o en los rodillos de rodamientos de elementos rodantes ocasionan vibración de alta frecuencia, frecuencia que no es necesariamente un múltiplo integral de la velocidad de rotación del eje. La amplitud de la vibración dependerá de la gravedad de la falla del rodamiento.

- Vibración debida al aflojamiento mecánico

El aflojamiento mecánico y la acción de golpeo resultante producen vibración a una frecuencia que a menudo es dos veces las rpm de la máquina, y también múltiplos más elevados, de las rpm. La vibración puede ser resultado de pernos de montaje sueltos, de holgura excesiva en los rodamientos, o de fisuras en la estructura o en el pedestal de soporte.

La vibración característica de un aflojamiento mecánico es generada por alguna otra fuerza de excitación, como un desbalance o una falta de alineamiento. Sin embargo, el aflojamiento mecánico empeora la situación, transformando cantidades relativamente pequeñas de desbalance o falta de alineamiento en amplitudes de vibración excesivamente altas. Corresponde por lo tanto decir que el aflojamiento mecánico permite que se den mayores vibraciones de las que ocurrirían de por sí, derivadas de otros problemas.

- Vibración debida a las bandas de accionamiento

Las bandas de accionamiento del tipo en V gozan de mucha popularidad para la transmisión del movimiento puesto que tienen una alta capacidad de absorción de golpes, choques y vibraciones.

Los problemas de vibración asociados con las bandas en V son clasificados generalmente por:

- Reacción de la banda a otras fuerzas, originadas por el equipo presente, que causan alteraciones.
- Vibraciones creadas por problemas de la banda en sí.

Las bandas en “V” son consideradas a menudo como fuente de vibración porque es tan fácil ver las bandas que saltan y se sacuden entre poleas. Por lo general, el reemplazo de las bandas es una de las primeras tentativas de corrección de los problemas de vibración.

Sin embargo es muy posible que la banda esté sencillamente reaccionando a otras fuerzas presentes en la máquina. En tales casos la banda es solamente un indicador de que hay problemas de vibración y no representa la causa misma.

La frecuencia de vibración de las bandas es el factor clave en la determinación de la naturaleza del problema. Si la banda está sencillamente reaccionando a otras fuerzas de alteración, tales como desbalance o excentricidad en las poleas, la frecuencia de vibración de la banda será muy probablemente igual a la frecuencia alterante.

- Vibración debida a problemas de engranaje

La vibración que resulta de los problemas de engranaje es de fácil identificación porque normalmente ocurre a una frecuencia igual a la frecuencia de engrane, es decir, la cantidad de dientes del engranaje multiplicada por las rpm del engranaje que falla.

Algunos de los problemas comunes de los engranajes, que tienen como resultado vibración a la frecuencia de engrane, comprenden el desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallas de lubricación y materias extrañas atrapadas entre los dientes.

La amplitud y frecuencia de vibración debida a los engranajes pueden también parecer erráticas a veces. Dicho tipo de vibración errática ocurre normalmente cuando un conjunto de engranajes está funcionando en condiciones de carga muy liviana. En tales condiciones la carga puede desplazarse repetidamente de un engranaje a otro de modo irregular.

- Vibración debido a fallas eléctricas

Este tipo de vibración es normalmente el resultado de fuerzas magnéticas desiguales que actúan sobre el rotor o sobre el estator. Dichas fuerzas desiguales pueden ser debidas a que:

- o El rotor no es redondo
- o Las chumaceras del inducido son excéntricas
- o La falta de alineamiento entre el rotor y el estator
- o Perforaciones elípticas existentes en el estator
- o Los devanados están abiertos o en corto circuito
- o El hierro del rotor está en corto circuito

En líneas generales, la frecuencia de vibración resultante de los problemas de índole eléctrica será de una vez las rpm, y por tanto parecerá un desbalance. Una manera sencilla de hacer la prueba para verificar la presencia eventual de una vibración eléctrica es observar el cambio de la amplitud de la vibración total (filtro fuera) en el instante en el cual se desconecta la corriente de esa unidad.

Si la vibración desaparece en el mismo instante en que se desconecta la corriente, el problema con toda posibilidad será eléctrico. Si sólo decrece gradualmente, el problema será de naturaleza mecánica.

Las vibraciones ocasionadas por los problemas eléctricos responden generalmente a la cantidad de carga colocada en el motor. A medida que se modifica la carga, la amplitud o las lecturas de fase pueden indicar cambios significativos. Esto explica por qué los motores eléctricos que han sido probados y balanceados en condiciones sin carga muestran cambios drásticos de los niveles de vibración cuando vuelven a ser puestos en servicio.

#### **1.1.4. Tipos de distribuciones eléctricas para la maquinaria**

- Corriente continua

En los cálculos de las instalaciones para circuitos de corriente continua y alterna que se basan en la determinación del tamaño apropiado de un conductor influyen ciertos factores. Excepto para distancias cortas, no puede usarse el tamaño o diámetro mínimo de conductor recomendado por la National Board of Fire Underwriters de Estados Unidos (Junta nacional de instalaciones eléctricas seguras contra incendios) y otras asociaciones de electricidad.



Dichas consideraciones se presentan en forma de tablas basadas en la corriente máxima permisible para cada tipo de aislamiento.

El tamaño del conductor debe ser mayor que la caída IR (en donde I es la corriente y R la resistencia) de voltaje pero no debe ser demasiado grande, por economía. En los ramales o circuitos derivados que alimenten una carga de lámparas incandescentes, así como en los ramales combinados desde la toma más lejana de la fuente de energía.

La caída de voltaje no debe exceder en un porcentaje mayor a 5% del total del valor de la corriente. La resistencia de un circular mil por pie de cobre comercial puede considerarse igual que 10.8 ohms. La resistividad expresada por un circular mil se refiere a la resistencia de un alambre conductor de 1 pie de longitud. Un circular mil es el área de un círculo de 0.001 pulgada de diámetro. Para determinar el área transversal de un alambre en circular mil se debe saber que 1 pulgada = 1000 mils. Este sistema de unidad se ha utilizado por fabricantes estadounidenses teniendo sus respectivas conversiones.

La resistencia de un conductor de cobre puede expresarse como  $R = 10,8 \cdot l/A$ , en donde l = longitud en pies, y A = área en circular mils. Si se expresa la longitud en función de la distancia d de transmisión (dado que los conductores, por lo general, se tienden paralelos), la caída IR de voltaje hasta el extremo del circuito es:

$$e = 21,6 * \frac{l*d}{A}$$

Y el tamaño del conductor, en circular mils, que es necesario para dar la caída e permisible de voltaje es:

$$A = 21,6 * \frac{I*d}{e}$$

Si se expresa “e” como un porcentaje “X” del voltaje “E” entre conductores, entonces.

$$A = 21,6 * \frac{I*d}{X*E}$$

El cálculo del tamaño de conductor para circuitos de corriente continua de tres conductores se hace, prácticamente en la misma forma. Con un circuito equilibrado no pasa la corriente en el conductor neutro y la intensidad de cada alambre externo será igual a la mitad de la suma de las corrientes consumidas por todos los receptores conectados entre, el cable que conduce la polaridad neutral y los alambres externos mas la suma de las corrientes tomadas por los receptores conectados entre los alambres externos.

Con el uso de esta corriente total e ignorando el conductor neutro se hacen los cálculos del tamaño de los alambres externos por medio de las fórmulas anteriores. El conductor neutro debe tener la misma sección transversal que los conductores externos de la instalación anterior.

- Corriente alterna

Los cálculos de la instalación para circuitos de corriente alterna son, en esencia, los mismos que para los circuitos de corriente continua; pero hay que considerar otros factores, como el factor de potencia, la reactancia y el efecto superficial. El efecto superficial sólo se vuelve pronunciado cuando se utilizan conductores muy gruesos para la corriente alterna. Para instalaciones interiores no se deben usar conductores de más de 700 000 *circular mils* y muchos prefieren no emplear conductores mayores de 300 000 mils. Si la sección transversal requerida en el cobre excede de estos valores, puede utilizarse cierto número de conductores en paralelo.

Para voltajes menores de 5 000 “V”, puede ignorarse el efecto de la capacitancia de la línea. Con instalaciones interiores monofásicas normales, en que puede ignorarse el efecto de la reactancia de la línea y en donde el factor de potencia de la carga es casi 100 %, los cálculos se efectúan igual que para los circuitos de corriente continua.

Los circuitos trifilares de corriente alterna, de longitud normal, con cargas de lámparas incandescentes se determinan también en la misma forma. Cuando la carga no es de lámparas incandescentes, es necesario conocer el factor de potencia de la carga para efectuar los cálculos. Cuando no pueda determinarse con exactitud el factor de potencia, puede utilizarse los siguientes valores aproximados: para lámparas incandescentes, de 0,95 a 1,00; para lámparas y motores de 0,75 a 0,85; para motores de 0,5 a 0,80. La siguiente fórmula da el valor de la corriente en un circuito monofásico.

$$I = \frac{(P * 1\ 000)}{(E * pf)}$$

En donde I = corriente, en amperes; P = kW; E = voltaje de la carga y pf = factor de potencia de la carga. Después se determina el tamaño del conductor sustituyendo este valor de I en las fórmulas anteriores. Para circuitos trifásicos, trifilares, de corriente alterna, la corriente por conductor es:

$$I = 1\,000 * \frac{P}{\sqrt{3} * E * pf} = \frac{580 * P}{E * pf}$$

Por lo general, los cálculos de caída de voltaje se hacen por conductor. Por tanto, si se ignora la reactancia, la sección transversal del conductor en circular mils es la mitad de la dada por:

$$A = \frac{10,8 * I * d}{e}$$

En donde “e” es la caída de voltaje por conductor o alambre. La caída de voltaje entre dos conductores cualesquiera es  $(3e)^{1/2}$ . El porcentaje de caída de voltaje debe ser en función del voltaje al neutro. Es decir, que la caída en porcentaje es:

$$\left[ \frac{\frac{e}{\left(\frac{E}{\sqrt{3}}\right)}}{\left(\frac{E}{\sqrt{3}}\right)} \right] * 100 = \left[ \frac{\sqrt{3} * e}{E} \right] * 100$$

### **1.1.5. Seguridad industrial en máquinas**

La seguridad industrial dentro de una planta de producción debe ser diseñada para brindar la protección adecuada a los operarios que manipulan la maquinaria que en el proceso se encuentre. Por tal motivo para llevar a cabo una planificación adecuada de seguridad industrial se debe contemplar instalar protecciones en las máquinas para protección de los operarios. Una protección de máquina se define de la siguiente forma.

- Protección de la maquinaria: toda máquina está compuesta por elementos dotados de movimiento montados sobre un soporte fijo o móvil

Todo elemento móvil, sea cual sea su forma, dimensiones, velocidad y clase de movimiento es potencialmente peligroso. La clase de movimiento es un factor fundamental en la peligrosidad de un elemento de la máquina. Los tipos de movimientos que generan riesgo en una máquina pueden ser:

- Movimiento simple: rotación, traslación rectilínea
- Movimientos compuestos: combinaciones de movimientos simples
- Tipos de agresiones mecánicas: los mecanismos móviles de las máquinas al entrar en contacto con el hombre, le causan a menudo lesiones graves. El tipo de posible lesión dependerá sobre todo de:
  - o El tipo de movimiento del mecanismo agresor
  - o La forma del mecanismo agresor

o La relación con otros mecanismos

- Uso de resguardos en la seguridad industrial: para que los resguardos y dispositivos de seguridad sean eficaces, el personal ha de saber trabajar con ellos y sobre todo saber respetarlos. Por ello antes de confiar a un operario el manejo de una máquina es necesario proporcionar la adecuada instrucción sobre la forma de manejarla.

Es necesaria la inspección periódica de los resguardos, para comprobar su estado, funcionamiento, ajuste correcto y especialmente si se encuentran en su lugar. Cuando un resguardo no funciona bien, el operario prescindirá de él. La revisión de los resguardos, debe incluirse en el programa de mantenimiento preventivo.

Los resguardos cuyas dimensiones, carrera o ajuste sean importantes para su función protectora, se considerarán como instrumentos de precisión, por lo que se verificarán con más frecuencia.

- Resguardos fijos: esencialmente consisten en un cerramiento total y permanente de las zonas peligrosas. La obligada ventana de alimentación no debe permitir la fácil entrada en la zona peligrosa, por lo que dicha ventana será de reducidas dimensiones. Es el tipo ideal de prevención por su elevada garantía de seguridad.

Su inmovilidad la hace inaplicable en muchos casos, especialmente en la zona de operación por el problema de alimentación de la máquina. Es en cambio muy adecuado y casi siempre factible para la protección de los sistemas de transmisión.

No debe poder ser retirado más que por el personal especialmente autorizado para determinadas labores de mantenimiento que lo hagan necesario. La máquina no debe poder funcionar en estas condiciones.

Este sistema puede presentar una variante, consistente en que el resguardo sea de dimensiones ajustables, dentro de límites relativamente pequeños. De esta forma puede usarse como protector del punto de operación, para trabajos similares, ajustando la abertura o la distancia de acuerdo con las necesidades del trabajo. El límite de ajuste debe ser establecido y aún en la posición de máxima abertura ofrecerán una protección suficiente.

- Materiales para resguardos: el material más conveniente para los resguardos en general, es el metal tanto para la estructura como para el material de relleno. Los más comúnmente empleados son los de estructuras.
- Resguardo de estructuras: se utilizan comúnmente ángulos de acero, tubo de acero, pletina de acero, para material de relleno, tela de alambre, metal desplegado, metal perforado, planchas o láminas de metal, tiras cruzadas de metal o madera, láminas de plástico, vidrio irrompible o inastillable.

## **1.2. Tipos de materiales necesarios para la fabricación de pisos de granito**

La materia prima es uno de los elementos de mayor relevancia que se tiene que conocer para poder analizar a profundidad el proceso de fabricación de piso, debido a la utilización eficiente de la materia prima es fundamental para poder controlar el proceso.

### **1.2.1. Propiedades del cemento portland**

Se usa mezclado con arena para formar el dorso de las baldosas y en algunos casos en la cara vista. El cemento debe cumplir los requisitos establecidos en las normas específicas, siendo recomendable utilizar cementos de resistencia media para el dorso y de resistencia alta para la cara vista.

La clase de un cemento viene determinada por su resistencia mínima a compresión en mega pascales (MPa) ( $1 \text{ MPa} \approx 10 \text{ kgf/cm}^2$ ) a los 28 días, medida en probetas de hormigón normalizado según se especifica en la Norma NTC (norma técnica de construcción) 673.

- Cemento portland blanco: se utiliza junto con los agregados, el polvo de mármol, los colorantes y el agua para formar la cara que queda expuesta. El cemento blanco debe cumplir los requisitos establecidos en la Norma NTC 1362 y pertenecer al tipo 1.

El cemento portland blanco es un conglomerante hidráulico que respecto a sus propiedades mecánicas resistentes no es distinta de los cementos grises de su misma clase y categoría.



Para la fabricación del piso de granito, estos cementos deben tener un elevado índice de blancura característica especial de este tipo de cemento, facilidad para ser trabajados y alcanzar una resistencia mecánica mínima a la compresión de 25 MPa a los 28 días.

En la dosificación de la cara vista del piso de granito de calidad pueden utilizarse proporciones de una parte de cemento por 1 ó 1,5 partes de polvo de mármol.

### **1.2.2. Características del polvo de mármol**

El polvo de mármol que se mezcla con el cemento blanco para formar el mortero de cara vista de los pisos de granito, se obtiene, generalmente, a partir de triturados finos de mármol, cuya composición química corresponde a la del carbonato cálcico cristalizado.

Para obtener pisos uniformes es imprescindible usar un polvo de mármol uniforme tanto en finura como en color y además libre de impurezas. El polvo de mármol desempeña un papel decisivo en el comportamiento de la mezclas de la cara vista, el cual está relacionado con la distribución y el tamaño de las partículas que lo constituyen, que han de pasar en su totalidad por el tamiz NTC 1,41 mm y del 75 al 80% quedar retenidas en el tamiz 88  $\mu$  de acuerdo con la Norma NTC 32.

Para orientarse sobre las características del polvo de mármol conviene determinar su composición o análisis granulométrico. En general, la cantidad de impalpables (partículas que pasan por el tamiz 88  $\mu$ ) en el polvo de mármol no debe exceder el 30% del peso del cemento que interviene en la mezcla polvo cemento.

No es recomendable utilizar polvo de mármol de tamaño mayor de 1 mm, porque esto ocasiona pintas visibles en la parte del mortero, dando mal aspecto al piso terminado. Hay que tener en cuenta que el mortero contiene cemento, que, en su casi totalidad, pasa por el tamiz 0,088 mm de la Norma NTC 32, lo que aumenta el contenido de impalpables del mortero. Por eso, para obtener una curva ideal es necesario que el polvo de mármol contenga menos del 28% de impalpables cuando se usa polvo de mármol de tamaño máximo de 1 mm.

Se ha encontrado en la práctica que la cantidad óptima de impalpables en el polvo de mármol se encuentra entre el 15 y 20% cuando se usa una dosificación de 100 a 120% de polvo de mármol en relación con el cemento.

El exceso de impalpables o finos menores de 0,088 (tamiz No. 170 ó 88  $\mu$ ) milímetros tiene muchas desventajas:

- Disminuye la resistencia del cemento (produce un piso de menor calidad)
- El piso pulido queda menos brillante por la pérdida de cohesión entre el polvo de mármol y el cemento
- Aumenta la impermeabilidad de la cara vista (quedan zonas más oscuras por tardar el piso mucho en secar)
- Cambian los tonos del piso cuando se usan colorantes (a mayor cantidad de impalpables, mayor dilución del color, dando un tono más claro)
- Hace la pasta más plástica, dificultando el asentamiento por vibración (mala compactación, diferencias de espesor en la pasta blanca y huecos)

- Impide el paso de agua al reverso del piso en el prensado. En este caso hay un exceso de agua en la cara vista y falta de agua en el revés, originando una baja resistencia del piso.

Es por eso que se debe insistir bastante sobre la importancia de la granulometría del polvo de mármol y su correcta dosificación en la manufactura y calidad del piso.

### **1.2.3. Tipos de colorantes**

Los pigmentos o colorantes son los que modifican el color del mortero de la cara vista. Estos han de ser químicamente compatibles con la cal liberada en la hidratación del cemento y su composición química no debe influir en las reacciones de hidratación y endurecimiento del cemento. Deben ser estables y no sufrir alteraciones al ser expuestos a la intemperie, por lo que no es aconsejable utilizar colorantes de naturaleza orgánica, ya que éstos no tienen la estabilidad suficiente.

El colorante está molido muy finamente y por ello se comporta en la mezcla con el cemento como polvo impalpable. Debe tener gran poder colorante con el fin de consumir la menor proporción posible, para no aumentar la cantidad de impalpables presentes en la mezcla.

La proporción de colorantes a utilizar puede llegar hasta el 2,5 o 3%, en casos normales, del peso de cemento. Mayor cantidad, por tratarse de compuestos muy finamente molidos, podrían rebajar la resistencia de la mezcla.

Los pigmentos deben estar convenientemente homogeneizados para que no se produzca una coloración irregular, por lo tanto es conveniente mezclarlos con el cemento en seco antes de preparar la pasta.

#### **1.2.4. Propiedades de los aditivos**

Se podrán utilizar aditivos siempre que se justifique, mediante los ensayos oportunos, que la substancia agregada en las proporciones previstas produce el efecto deseado sin perturbar las demás características del concreto o mortero. Los más utilizados en la fabricación del piso son los hidrófugos.

#### **1.2.5. Agregados gruesos**

Los agregados pétreos utilizados para la cara vista noble del piso proceden de rocas naturales y deben ser objeto de una especial atención para asegurarse que reúnan la resistencia mecánica suficiente y la estabilidad química necesaria.

Se deben considerar las características de dureza, resistencia y densidad, que en principio son factores muy importantes y de acuerdo con estas características, se fija la presión de la prensa.

Estos productos se deben utilizar lavados para evitar el polvo adherido, las impurezas de arcilla y otros materiales perjudiciales que puedan afectar la adherencia del cemento, el fraguado, el endurecimiento o la coloración.

Los agregados utilizados en la fabricación del piso abarcan desde el polvo hasta los trozos de mármol de 15 a 20 cm (centímetros) de lado. En caso de utilizar estos últimos, el espesor de las plaquetas puede llegar a ser del orden de 3/4 del espesor de la pieza. El tamaño máximo de los granos no debe exceder de la mitad del espesor total de la baldosa sin pulir para agregados de tamaño inferior a 20 mm (milímetros).

Según la naturaleza y el tamaño de los agregados empleados, se puede establecer una división entre distintos tipos de baldosas de piso, que varía según cada fabricante. Así se puede hablar de piso granítico, basáltico, calizo etc., o bien piso micrograno (grano de hasta 2,5 mm.), aglomerado (de 25 a 35 mm.), travertino (grandes trozos de mármol), etc.

Es importante señalar que los agregados del mismo color pero de distinta procedencia pueden poseer características físicas y mecánicas muy diferentes. El fabricante, es quien debe saber seleccionar el tipo más idóneo de agregado según el uso al cual se destine el piso.

### **1.3. Mezcladora de materiales utilizada en el proceso**

La mezcla de los componentes de la cara vista del piso se puede efectuar tanto en una mezcladora de eje horizontal como en una de eje vertical, lo importante es que se consiga una homogeneidad en toda la pasta.

La dosificación por peso para obtener una buena resistencia y compactación es la siguiente: 1 parte de cemento, 1 a 1,2 partes de polvo de mármol (con 20% máximo de impalpables), 4 ó 5 partes de agregado.

#### **1.4. Prensa de materiales en molde utilizada en el proceso**

Esta es la primera fase en la fabricación del producto y en ella se define la pieza en cuanto a tamaño y demás características geométricas. Se realiza en prensas compuestas por una gran mesa giratoria, sobre la que van colocados varios moldes en los cuales se pueden fabricar un número variable de piezas en función del tamaño de las mismas. La mesa gira y se detiene en diferentes posiciones, llamadas estaciones. En la primera estación, se vierte sobre el molde el material de la cara noble o cara vista (según las proporciones y composiciones vistas anteriormente).

A continuación, existen varias estaciones en las que el material contenido en el molde experimenta una vibración, con el fin de que la pasta quede bien repartida y sin burbujas de aire en su interior, con lo que se elimina la posibilidad de que existan poros producidos por la salida del aire.

En la operación del vibrado se deben tener presentes los siguientes cuidados: los moldes de la prensa y el sistema de vibrado deben estar bien nivelados para que al accionarlas no se acumulen los agregados, en el mortero o ambos, en alguna esquina del molde.

El prensado del material, es conveniente realizarlo en dos etapas: un prensado previo a unos 5 MPa de presión y un segundo prensado que se debe realizar a partir de 16 MPa. El prensado se efectúa entre 16 y 18 MPa de presión, según el tamaño de los moldes. Cuando se usa una compresión previa, ésta se efectúa a 5 MPa.

La pre-compresión ayuda notablemente al perfecto formado del piso y evita los defectos de pegado escurrido por el borde inferior del molde. El prensado debe durar como mínimo de cinco a seis segundos, al igual que la vibración en cada una de las estaciones. En el caso del vibrado, se da tiempo a un perfecto asentamiento de la pasta, y en el caso del prensado, se da tiempo al paso del agua excedente de la pasta blanca al mortero del revés quedando el piso perfectamente formado, sobre todo en sus cantos. En ambos casos es necesario para dejar salir las burbujas de aire.

### **1.5. Secado de los moldes del producto**

Esta operación consiste en dejar que la pieza endurezca para obtener una resistencia suficiente que le permita ser colocada sin alteraciones y soportar las tensiones a las que se verá sometida posteriormente. Es necesario que el piso esté continuamente húmedo hasta el momento de efectuar el pulido. Se debe empezar a regar el piso cuando el endurecimiento inicial esté completo y el piso aún fresco (más o menos 8 horas después de prensado). No se debe olvidar que uno de los principales componentes es el cemento y que, por lo tanto, debe realizar su reacción de hidratación de forma adecuada para obtener las características precisas. El curado es muy importante y determina en gran medida la calidad y dureza posterior del piso, e influye en el tiempo necesario para efectuar el pulido.

### **1.6. Pulidora de acabado final del producto**

El proceso de pulido es muy importante, porque en él se reflejan los errores o aciertos de la fabricación. En esta fase de la fabricación, la pieza se rectifica para dejarla perfectamente nivelada, pulida o brillada y para que adquiera el aspecto característico de la cara vista, sin presentar rugosidades.

El pulido se efectúa con unas muelas montadas en un plato giratorio que va rozando el material en sucesivas pasadas. Las muelas son de carborundo o diamante mezclado con otros elementos, como suele ser la piedra pómez, el cemento y recientemente las resinas. La dureza de la muela debe estar en consonancia con la del piso con el objeto de maximizar su uso.

Las pulidoras suelen ser de dos tipos: rotativas o lineales. En todas ellas, se inicia el desbaste con un grano de muela grande de 24, 36, 60 (terminado), para ir disminuyendo según el acabado que se precisa hasta granos de 120, 400 (afinación) y 800 (brillado). La clasificación de los granos de las muelas está basada en una serie de 5 tamices normalizados con los que se controla el tamaño de los granos que formarán las muelas. A partir de las muelas de grano 230 este control se efectúa según un proceso basado en la velocidad de sedimentación de las partículas especificado en la Norma FEP (federación europea de productos abrasivos) 42 F.

### **1.7. Operarios necesarios en la línea de producción**

Generalmente los operarios que son necesarios para la fabricación de piso de granito varía conforme el número de máquinas que existen en la planta de producción, así como de la disponibilidad de espacio en cada máquina.

Se puede presentar que para la operación de mezclado se necesiten dos operarios, para la operación de prensado se necesiten entre uno y dos operarios y para la operación de pulido se necesiten dos operarios en tanto que pueden ser o no los mismos que transportan el producto en sus distintas etapas de operación. En relación con la planta de producción en donde se realiza el presente análisis, la misma cuenta con 6 operarios.



## **1.8. Riesgos de seguridad existentes en el proceso**

Existe un riesgo importante en el uso de cualquier maquinaria, éste es el contacto físico no deseado entre el hombre y la máquina. Este riesgo se evidencia en un gran número de accidentes de trabajo, en especial en procesos donde se manipule maquinaria que tenga que efectuar presiones y cortes en materiales de gran resistencia.

Durante la fabricación del piso, se realizan operaciones relativamente peligrosas, las cuales si no se tiene el cuidado y la atención suficiente pueden provocar accidentes graves. Por lo tanto es necesario incluir normas generalizadas de otras empresas o industrias en lo relativo a seguridad dentro de la planta de producción. Parte de ello es alguna de las siguientes consideraciones que se presentan.

En la actualidad la filosofía de la prevención de accidentes en general, y de las maquinarias en particular, se basan en las siguientes premisas:

- Es la máquina, sus mecanismos en movimiento los culpables activos del accidente
- El hombre es sujeto pasivo
- Es la máquina, sus mecanismos, los que hay que encerrar, clausurar, para que no puedan dañar al hombre, aunque éste tenga a veces movimientos desordenados.

Es esencial, el descubrimiento de los puntos peligrosos de las máquinas para estudiar la forma de mantenerlos encerrados. Los tipos más corrientes de lesiones debido a la interacción con máquinas en estos procesos son:

- Acción de atrapamiento o aplastamiento entre dos elementos:
  - o Giratorios (rodillos de laminador y otro.)
  - o Con movimientos de traslación (prensas y otro.)
- Acción cortante o lacerante: cuchillas, sierras, cizallas y otro.
- Acción proyectiva: con heridas producidas por la proyección de partículas que pueden ser agresivas por su velocidad, temperatura, naturaleza corrosiva (rotura de muelas, correas, sierras, caídas de objetos, virutas, chispas y otro.)



## **2. CAPACIDAD ACTUAL DE PRODUCCIÓN**

### **2.1. Demanda de piso de granito**

La demanda de piso de granito para la planta de producción se basa en una estimación del número de pedidos que se realizan cuando la empresa inicia planes de mercadeo a nivel nacional, así como del número de ventas que realiza la competencia, quienes cuentan con una mayor capacidad de producción.

En función de la experiencia de ventas con otras empresas dedicadas a la producción del piso de granito y la demanda que se estima se obtendrá, se realiza un pronóstico para los meses siguientes a la instalación de la máquina y a la campaña publicitaria que se realizará.

Para realizar dicho pronóstico se hace un breve análisis a nivel nacional en la tasa de construcción de viviendas, apartamentos y locales comerciales que se presenta en Guatemala a partir de dos años atrás. Esto con la finalidad de poder determinar el comportamiento de la construcción, así como de la influencia y comportamiento de la competencia a nivel nacional.

Para el primer cuatrimestre del año 2008 el número de licencias de construcción autorizadas bajó en 34,3% con respecto al mismo periodo del año 2007, mientras que los metros cuadrados autorizados en un 29%. La construcción en el medio nacional posee cifras del mes de enero 2010 las cuales muestran una reducción del 29,6% en permisos aprobados y del 41,9% en cantidad de metros cuadrados, en relación a igual período del año anterior. Datos del Banco de Guatemala reflejan además que en el caso exclusivo de viviendas la reducción en el número de permisos aprobados fue del 41,2%.

Así mismo la reducción de construcciones en Guatemala influye en el consumo de toda clase de productos para dicho fin, esto aunado al incremento de los materiales, tales como cemento y concreto útiles en la fabricación de piso tienden a elevar el precio del producto final. Con lo anterior la demanda a simple vista reflejaría una baja en la mayoría de empresas que se dedican a dicho ramo. Observando dicho inconveniente desde el punto de vista de calidad y productividad se puede obtener un beneficio que solo se logrará alcanzar produciendo en masa, esto supone reducir significativamente los costos de producción por unidad.

Se debe obtener una reducción notable en costos de producción para lograr reducir o mantener el precio de los productos en el mercado, paralelamente se debe aumentar la calidad del producto, para poder competir a nivel nacional con proveedores que importan productos internacionales. La planta de producción puede incursionar en mercados que a pesar de la crisis representan una buena opción, ya que a un precio sostenido con buena calidad en un mercado tendiente al alza de precios, hace que los oferentes disminuyan; esta tendencia se generaliza a todos los niveles socioeconómicos.

La demanda que tiene el producto en el sector capital donde se encuentra la empresa se muestra en la siguiente tabla la cual muestra la cantidad de producto por mes, datos obtenidos de estimación del departamento de ventas de la empresa, según incorporaciones de ventas de la competencia.

Tabla I. **Historial de demanda de piso**

Demanda de piso en tamaño 30 del mes de enero del 2009 al mes de abril de 2010			
Mes	Metros cuadrados	Mes	Metros cuadrados
Enero	4 121	Octubre	6 806
Febrero	3 465	Noviembre	12 363
Marzo	11 616	Diciembre	4 986
Abril	4 999	Enero	4 245
Mayo	4 804	Febrero	5 207
Junio	5 395	Marzo	4 258
Julio	4 719	Abril	4 039
Agosto	6 208		
Septiembre	6 494		

Fuente: elaboración propia

## 2.2. **Oferta de piso de granito para RODMOSA**

La oferta de piso de granito que tiene la planta de producción se basa en la producción diaria de lotes de productos o piezas que en este caso son piezas de piso de granito.

Las piezas producidas en la planta varían conforme la requisición del cliente, así como las necesarias para mantener un stock en bodegas, las que con regularidad se fabrican son las de formato 30 y 40, en sus distintos colores, que poseen un tamaño de 30 cm por 30 cm y 40 cm por 40 cm respectivamente.

Generalmente la pieza que se produce con mayor frecuencia es la de formato 30, cuya forma de producción tiene como base la utilización de una línea de producción, dentro de la cual existen 3 máquinas, 2 mezcladoras y una prensa hidráulica vibradora.

Las piezas de formato 40 son producidas en otra línea la cual posee dos mezcladoras y una prensa hidráulica rotativa que además posee dispositivos como un vibrador neumático, entre otros incorporados a la prensa.

El número de piezas producidas generalmente para mantener un stock dentro de bodega es de 100 metros cuadrados al día, así mismo esto puede variar en función de la demanda del cliente. La forma de producción de cada pedido es variable dado que cada cliente tiene diferentes necesidades y gustos lo cual supone producir piezas en distinto color y textura, manteniendo la forma de producir en todas ellas.

Dado que toda la producción de piso de granito tiene similares operaciones, es fácil describir en forma de tablas la oferta que presenta la planta. La oferta se estima con base en el número de ventas en cantidad de lotes producidos, es decir, número de metros cuadrados producidos, que el cliente solicita, incluyendo algunos producidos para mantener en *stock*.

Tabla II. **Producción de piso en tamaño 30 de enero del 2009 a abril de 2010**

Mes	Metros cuadrados producidos	Mes	Metros cuadrados producidos
Enero	634	Octubre	1 047
Febrero	533	Noviembre	1 902
Marzo	1 787	Diciembre	767
Abril	769	Enero	653
Mayo	739	Febrero	801
Junio	830	Marzo	655
Julio	726	Abril	408
Agosto	955		
Septiembre	999		

Fuente: elaboración propia

### 2.3. Productividad de la maquinaria

Para lograr introducirse de una forma adecuada en el análisis del proceso se define la productividad como el grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles para alcanzar objetivos predeterminados.

En este caso el objetivo es la fabricación de piezas de piso a un menor costo, a través del empleo eficiente de los recursos primarios que se tienen como: los materiales, los operarios y la maquinaria.



La productividad no es una medida de la producción ni de la cantidad que se ha fabricado, sino de la eficiencia con que se han combinado y utilizado los recursos para lograr los resultados específicos deseados. Para realizar un análisis mayor se debe introducir algunos conceptos entre ellos los indicadores más importantes de la productividad los cuales son: eficacia y eficiencia.

Desde un punto de vista sistemático a nivel general tanto el personal como todas las áreas de una planta de producción, sin importar sus puestos deben funcionar adecuadamente pues la productividad es el punto final del esfuerzo y combinación de todas las operaciones.

La eficacia implica la obtención de los resultados deseados y puede ser un reflejo de cantidades, calidad percibida o ambos. La eficiencia se logra cuando se obtiene un resultado deseado con el mínimo de insumos: es decir, se genera cantidad y calidad. Entonces la productividad se puede definir como:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Eficacia}}{\text{Eficiencia}}$$

La eficiencia es la capacidad disponible en horas-hombre y horas-máquina para lograr la productividad y se obtiene según los turnos que trabajaron en el tiempo correspondiente. Las causas de tiempos muertos tanto en horas-hombre como en horas-máquina son las siguientes: falta de material, falta de energía, falta de personal, falta de mantenimiento, falta de producción, falta de calidad.

Entonces se puede definir las siguientes ecuaciones útiles para llevar a cabo la medición.

$$\text{Capacidad usada} = (\text{capacidad disponible} - \text{tiempo muerto})$$

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \left( \frac{\text{capacidad usada}}{\text{capacidad disponible}} \right) * 100$$

$$\text{Porcentaje de eficacia} = \left( \frac{\text{Producción real}}{\text{producción programada}} \right) * 100$$

Conociendo la forma de estimar los indicadores de productividad en general, se adecuan los mismos, para determinar de esta forma la productividad de la maquinaria que se tiene. Como segundo paso es necesario conocer el proceso y las operaciones que realiza la maquinaria en la línea de producción, en tal caso se elige la línea que será analizada y mejorada con base en los cambios que se describen después. La línea a analizar es la que produce piezas de piso del formato 30.

El proceso de fabricado de piezas de piso de granito de formato 30 es el siguiente: al inicio del proceso un operario vierte la mezcla húmeda que contiene granito, polvo de mármol, cemento y agua en la mezcladora destinada para esa mezcla. Paralelamente otro operario realiza la misma operación en la mezcladora asignada para la mezcla seca que contiene cemento, arena blanca, selecto, polvo de piedra.

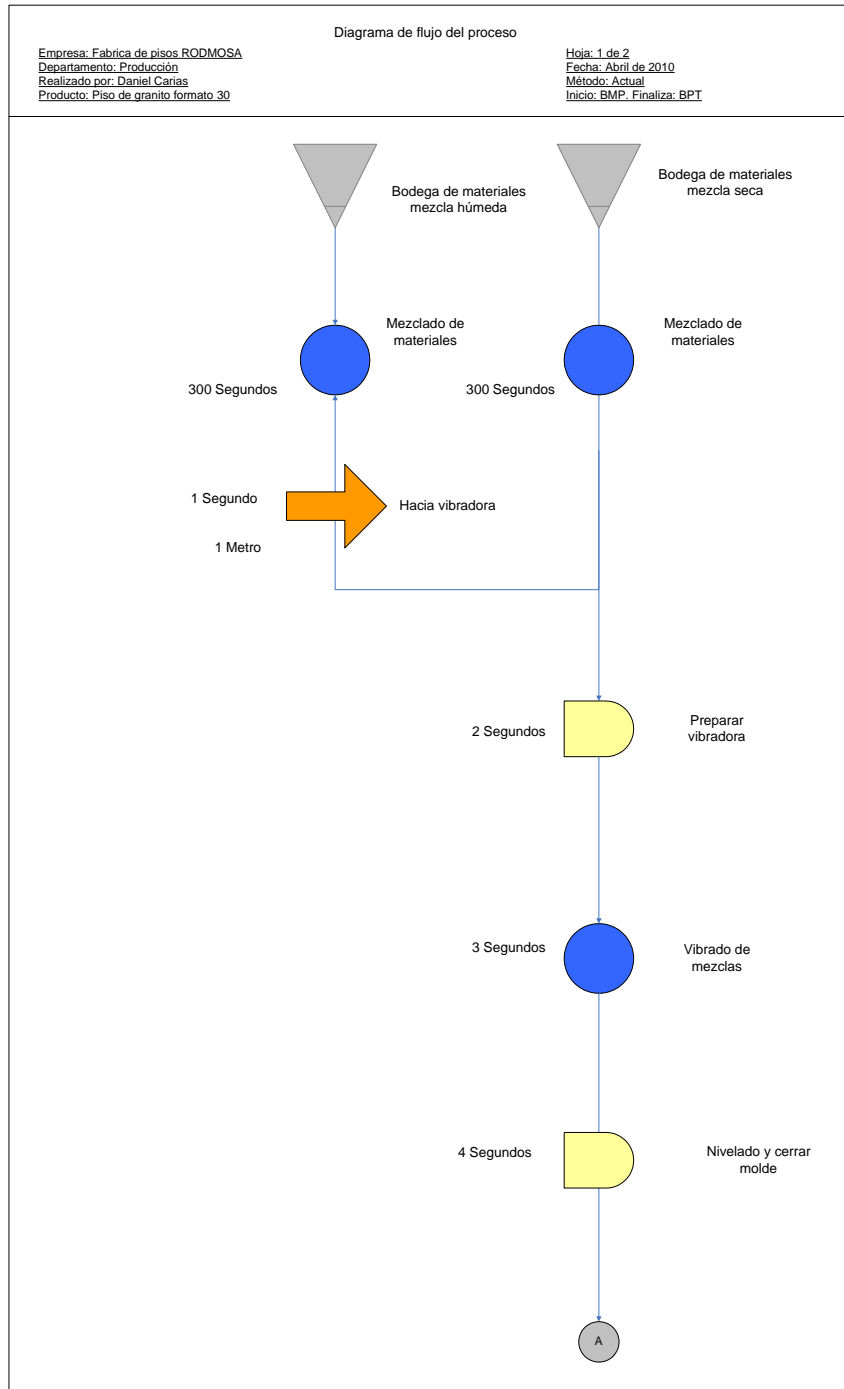
Se finaliza con ambas operaciones al cabo de cinco minutos, luego de que el operario de la mezcladora que contiene la mezcla húmeda vierte en el molde de la máquina vibradora la mezcla húmeda, mientras que el operario de la otra mezcladora acciona la vibradora y luego de esto el mismo operario vierte la mezcla seca en el molde de la vibradora.

El operario de la mezcladora húmeda nivela la cantidad de mezcla en el molde sacando el excedente de ambos, mientras el operario de la otra mezcladora prepara otra cantidad de mezcla para verter que sirve en otra pieza. El operario de la mezcladora húmeda cierra el molde y ambos operarios empujan el molde hacia la prensa hidráulica. El operario de la mezcladora seca prepara y acciona la prensa, mientras que el otro operario prepara su siguiente porción de la mezcla.

Se realizan aproximadamente de una a tres prensadas por pieza. Concluyendo con esta operación, un tercer operario conjuntamente con el operario de la mezcladora seca, sacan el molde de la prensa y proceden a sacar la pieza del molde. Finalizan las operaciones cuando el tercer operario traslada y acomoda o apila la pieza en el área de secado, para luego de cierto tiempo introducir las piezas al área de pulido, en donde se realiza el desbastado con la pulidora de tres piedras finalizando así el proceso.

El estudio de la productividad en la maquinaria existente en la planta de producción indica que es necesario separar las operaciones realizadas por hombres y máquinas para analizarlas individualmente. Se describe a continuación el diagrama de flujo del proceso, que sirve para dar una idea gráfica de las operaciones realizadas, y que es base para realizar posteriormente el diagrama de distribución o recorrido de la planta de producción.

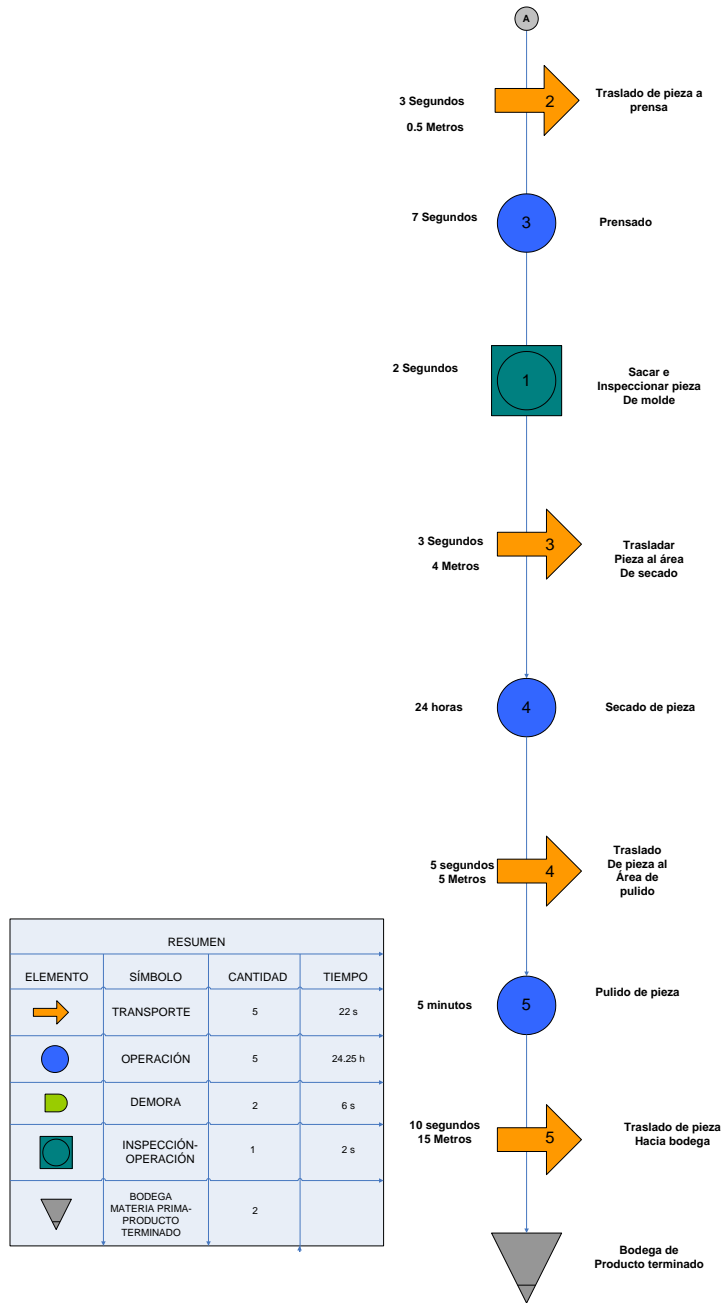
Figura 1. Diagrama de flujo del proceso primera parte



Fuente: elaboración propia

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso segunda parte

Empresa: Fabrica de pisos RODMOSA Departamento: Producción Realizado por: Daniel Carías Producto: Piso de granito formato 30	Diagrama de flujo del proceso	Hoja: 2 de 2 Fecha: Abril de 2010 Método: Actual Inicio: BMP. Finaliza: BPT
---	-------------------------------	--



Fuente: elaboración propia

- Operaciones realizadas por las máquinas.
  - Mezclado de materiales (mezcla húmeda)
  - Mezclado de materiales (mezcla seca)
  - Vibrado de mezcla húmeda
  - Prensado de ambas mezclas.

Para calcular la eficiencia y eficacia se calculan parámetros útiles tales como el tiempo muerto siendo el siguiente:

Horas trabajadas = Jornada diurna normal

$$\text{Jornada diurna} = 8 \text{ horas} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} = 480 \text{ minutos} - 60 \text{ minutos} - 15 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo disponible} = 405 \text{ minutos} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} = 24300 \text{ segundos}$$

Tiempo muerto por operación = 8 segundos

El tiempo muerto se debe a causas asignables a la máquina, un ejemplo de ello puede ser que sea necesario realizar la operación de prensado en una misma pieza dos o tres veces consecutivamente, esto debido a que con solo un prensado no se obtiene el resultado deseado.

Por tanto es necesario estimar el tiempo real que los operarios laboran para obtener el estándar. El estándar de la empresa en fabricación es de 100 metros cuadrados de piso al día, dado que en cada 5 metros de piso hay 55 piezas y por cada pieza el promedio de tiempo en fabricado es de 30 segundos con un tiempo muerto de 8 segundos. Entonces se procede a realizar el cálculo de la siguiente forma:

$$\text{Tiempo real} = \frac{100 \text{ metros}}{1} * \frac{55 \text{ piezas}}{5 \text{ metros}} * \frac{30 \text{ segundos}}{1 \text{ pieza}} = 33\,000 \text{ segundos}$$

$$\text{Tiempo muerto} = 1\,100 * 8 \text{ segundos} = 8\,800 \text{ segundos}$$

Donde 1 100 es las veces que se realiza la operación en el conjunto de máquinas para producir 100 metros cuadrados de piso. La capacidad usada se calcula de la forma siguiente:

$$\text{Capacidad usada} = (33\,000 - 8\,800) \text{ segundos}$$

$$\text{Capacidad usada} = 24\,200 \text{ segundos}$$

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \left( \frac{24\,200}{33\,000} \right) * 100$$

$$\Rightarrow \text{Porcentaje de eficiencia} = 73,33 \%$$

El cálculo de la eficacia se basa en el tipo y calidad de piso que se obtiene luego de la operación de prensado, dado que es la operación que se está analizando conjuntamente con el vibrado del mismo. La operación de pulido no se introduce dentro del análisis debido a que en esta máquina no presenta defecto alguno del producto. Entonces el cálculo de eficacia se realiza de la siguiente forma:

En la fabricación de 165 piezas de piso, equivalentes a 15 metros cuadrados, se obtuvieron 110 piezas en buen estado, es decir, 10 metros cuadrados, por lo que:

$$\text{Porcentaje de eficacia} = \left( \frac{10 \text{ metros}}{15 \text{ metros}} \right) * 100$$

$$\text{Porcentaje de eficacia} = 66,67 \%$$

Debido a que la vibradora y la prensa hidráulica no se encuentran en óptimas condiciones producen piso de baja calidad, el que se vende como producto de segunda lo que produce pérdidas para la empresa. Solo el operario más experimentado logra obtener mejores resultados y en ocasiones es necesario detener la producción y realizar un mantenimiento correctivo.

La productividad de las operaciones de vibrado y prensado es la siguiente:

$$\text{Productividad} = \frac{66,67 \%}{73,33 \%}$$

$$\text{Productividad} = 0,9091$$



### **2.3.1. Determinación de la cantidad de materia prima necesaria para un lote de productos**

La cantidad de materia prima necesaria para producir piezas de piso se determina por lote de productos, siendo distinto el requerimiento de materia prima dependiendo del diseño de piso y su tamaño, así como de las distintas características físicas que se le quiera dar, es decir su aplicación dentro de la construcción.

Básicamente los materiales utilizados para obtener las piezas de piso de granito son: granito, polvo de mármol, cemento, agua, arena blanca, selecto y polvo de piedra. En forma general se describirá las unidades de materiales que compra la empresa para obtener un lote de productos el cual contiene cincuenta y cinco piezas, las cuales se fabrican mediante los procesos ya descritos anteriormente.

Para fabricar las piezas de piso es necesario contar con dos tipos de mezclas las cuales son mezcla húmeda y mezcla seca, cada una de las cuales posee materiales similares con diferentes aplicaciones, así como distintas proporciones. La cantidad de materiales que se compra para un lote de productos se describe en las siguientes tablas.

Tabla III. **Materiales utilizados para elaboración de piso, mezcla húmeda**

Materiales para mezcla húmeda		
Material	Cantidad	Unidad de compra
Granito	2,7	bolsa
Polvo de mármol	1	bolsa
Cemento	0,5	bolsa
Agua	0,019	m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia

Tabla IV. **Materiales utilizados para elaboración de piso, mezcla seca**

Materiales para mezcla seca		
Material	Cantidad	Unidad de compra
Cemento	0,5	bolsa
Arena Blanca	0,07	m <sup>3</sup>
Selecto	0,009	m <sup>3</sup>
Polvo de piedra	0,019	m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia

La cantidad de materia prima que se compra para la fabricación de piezas por parte de la empresa es grande debido al descuento que se obtiene al realizarlo de esta forma. Las tablas anteriores muestran únicamente el material necesario para un lote, pero lo anterior no se puede presentar a los operarios, es decir, no se le puede pedir a un operario verter en la mezcla 0,07m<sup>3</sup> de arena, por lo que se tienen medidas en volúmenes de cada material.

Dichos volúmenes se miden en botes conteniendo 5 galones, cada uno equivalente a  $0,0037\text{m}^3$  en unidades de medida de Estados Unidos. Dichos botes se utilizan como unidad de medida para verter en la mezcladora. Las siguientes tablas muestran que cantidad de botes se vierten para realizar cada una de las mezclas.

Tabla V. **Materiales utilizados para elaboración de piso, mezcla húmeda, en unidades utilizadas en la producción**

Materiales para mezcla húmeda	
Material	Cantidad en volumen
Granito	3,5 botes
Polvo de mármol	1,3 botes
Cemento	1 bote
Agua	1 bote

Fuente: elaboración propia

Tabla VI. **Materiales utilizados para elaboración de piso, mezcla seca, en unidades utilizadas en la producción**

Materiales para mezcla seca	
Material	Cantidad en volumen
Cemento	1 bote
Arena Blanca	3,5 botes
Selecto	0,5 bote
Polvo de piedra	1 bote

Fuente: elaboración propia

## **2.4. Productividad de los operarios**

Conocidas ya las operaciones de la maquinaria, es decir, cuando la misma funciona automáticamente sin intervención de los operarios, es necesario conocer ahora la productividad de los mismos, para obtener un análisis acerca del tiempo empleado en cada operación.

Las operaciones realizadas por lo operarios son las siguientes:

- Preparación
- Vaciado de la mezcla húmeda en el molde de la vibradora
- Vaciado de la mezcla seca en el molde de la vibradora
- Nivelado de la mezcla
- Cierre del molde y traslado a la prensa
- Accionar la prensa
- Sacar la pieza del molde
- Transporte de la pieza al área de secado

La operación de la maquinaria conjuntamente con la de los operarios ya se ha descrito anteriormente, por lo que se procederá a describir el tiempo empleado en las operaciones que implican únicamente a operarios.

En las operaciones que se ejecutan para fabricar el piso de granito, las que comprenden del mezclado al prensado así como el traslado, son necesarios 3 operarios, quienes cumplen el objetivo de producir un número estándar determinado por la planta de producción. La línea de producción cuenta con 4 y si es necesario 5 operarios los cuales serían utilizados en su totalidad si se reemplazara la prensa hidráulica y vibradora por una máquina de mayor capacidad.

Entonces el porcentaje de eficiencia para operarios que tiene la línea de producción es:

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \left( \frac{3 \text{ operarios}}{4 \text{ operarios}} \right) * 100$$

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = 75 \%$$

La eficacia para los operarios es la misma que para la maquinaria dado que se alcanza el mismo número de metros de piso con cierta calidad. Dado que los operarios y la maquinaria obtienen resultados similares se puede decir que:

$$\text{Porcentaje de eficacia} = \left( \frac{10 \text{ metros}}{15 \text{ metros}} \right) * 100$$

$$\text{Porcentaje de eficacia} = 66,67 \%$$

$$\text{Productividad} = \frac{66,67 \%}{75 \%}$$

$$\text{Productividad} = 0,8889 \text{ ó } 88,89\%$$

La productividad de los operarios es un tanto menor al de la maquinaria debido a que la capacidad instalada de la maquinaria no permite utilizar a dos o más operarios por ciclo de operación, lo que si podría hacerse si se contara con máquinas de mayor porcentaje de productividad.

## **2.5. Condiciones de trabajo**

Se define primeramente qué es una condición de trabajo, lo que servirá para tener una idea aproximada de lo que tiene que existir como mínimo en el área de producción de cualquier planta productiva. Una condición de trabajo idónea es aquella que ha sido diseñada ergonómicamente, es decir, que se ha involucrado la comodidad necesaria para que el trabajador pueda realizar la labor sin lastimarse.

Por lo tanto lo primero que se debe hacer cuando se trata de mejorar los métodos de trabajo en una industria o planta de producción, es crear las condiciones laborales que permitan a los obreros ejecutar sus tareas sin fatiga, así mismo de no estar sometidos a riesgos de accidentes laborales.

Las malas condiciones de trabajo figuran entre las principales causas de tiempo improductivo por deficiencias de dirección. Se pierde tiempo y además se origina una proporción excesiva de trabajo defectuoso con desperdicio de material o pérdida de producción.

Las condiciones de trabajo en los locales dependen principalmente de los siguientes factores: limpieza, agua potable, orden, calidad en intensidad de iluminación, ventilación, vibraciones y ruido. Las condiciones descritas anteriormente son las que afectan directamente a la planta de producción por lo que se analizan con un poco más de amplitud a continuación.

Orden: favorece la productividad de la planta y ayuda a reducir el número de accidentes. En el caso de la planta de producción tienen en los pasadizos, pilas de materiales y objetos que ayudan a otros procesos, generando con ello pérdidas de tiempo cuando se apartan para el traslado del producto o pieza en proceso de una máquina a otra.

Intensidad de la iluminación: la buena iluminación acelera la producción, es necesaria para la salud, seguridad y eficiencia de los trabajadores, ya que sin una buena iluminación aumentan los accidentes así como el desperdicio de material, disminuyendo la producción. En el caso de la planta de producción de piso, la iluminación que existe es de buena calidad dado que el diseño del edificio permite el ingreso de la iluminación natural casi todo el día debido al área amplia que tiene en las paredes para dicho fin.

Poseen así mismo, otra entrada de iluminación al centro de la planta, esto es, cielo descubierto, lo que ayuda a toda la planta en los otros procesos que allí se realizan.

Ventilación: se ha comprobado de manera experimental que las necesidades de oxígeno para la respiración humana aumentan casi proporcionalmente con la intensidad del trabajo. Por eso es necesario dotar a las plantas de producción de ventilación natural adecuada y si no fuera suficiente, se deberá forzarla por medio de ventiladores o extractores de aire puro, necesario para su respiración, y para la renovación periódica de la atmosfera de la fábrica, viciada por gases y polvos procedentes de las operaciones que se realizan.

Las operaciones realizadas en la producción de piso son fuente de muchas emanaciones de polvos que son dañinos para la salud si se aspiran en gran cantidad. Las condiciones de ventilación en la planta son realizadas naturalmente y se consideran adecuadas dado que la mayoría de polvo sale por el escape e introducción de iluminación en el centro de la planta. Se puede mejorar la condición de aspiración de oxígeno de los operarios, proveyéndolos de equipos para su protección respiratoria, como mascarillas en sus distintas clases. Dado que es la pulidora de piso la que genera estos polvos, podría ser instalado un extractor de polvos en esta parte de la planta de producción.

## **2.6. Medición del trabajo**

La medición del trabajo es un método investigativo basado en la aplicación de diversas técnicas para determinar el contenido de una tarea definida fijando el tiempo que un trabajador calificado invierte en llevarla a cabo con arreglo a una norma de rendimiento preestablecida. Dos son los objetivos que se pueden satisfacer con la medición: incrementar la eficiencia del trabajo, proporcionar estándares de tiempo que servirán de información a otros sistemas de la empresa, como el de costos de programación de la producción y de supervisión entre otros.

La medición del trabajo es la parte cuantitativa del estudio del trabajo, que indica el resultado del esfuerzo físico desarrollado en función del tiempo permitido a un operador para terminar una tarea específica, siguiendo a un ritmo normal un método predeterminado.



El tiempo estándar es el patrón que mide el tiempo requerido para terminar una unidad de trabajo, mediante el empleo de un método y equipo estándar, por un trabajador que posee la habilidad requerida, que desarrolla una velocidad normal que pueda mantener día tras día sin mostrar síntomas de fatiga.

Las aplicaciones del tiempo estándar son múltiples entre las cuales se pueden citar: determinación del salario devengable por esa tarea, apoyo a la planeación de la producción, facilidad de supervisión, ayuda para la formulación de un sistema de costos estándar, determinación de costos estimados, ayuda para entrenar a nuevos trabajadores.

- Selección de la operación

Para iniciar un estudio de tiempos en una línea de producción, es necesario determinar qué operación se va a medir. En primer lugar la decisión de elegir una operación depende del objetivo general que se persigue con el estudio de medición. No obstante se puede emplear los siguientes criterios para hacer la elección:

- El orden de las operaciones según se presenten en el proceso
- La posibilidad de ahorro que se espera en la operación, en relación con el costo anual de la operación que se estudia.

La selección de la operación dentro de la planta de producción se ha realizado a un conjunto de máquinas que realizan las operaciones de mezclado, vibrado y comprimido de las piezas de piso. Dichas operaciones son realizadas en tres máquinas.

Siguiendo la descripción realizada en las operaciones ejecutadas por los operarios, se explica el orden de las mismas llevadas a cabo en el área de fabricación de la siguiente forma:

- Orden de las operaciones en el proceso:
  - Mezclado de materiales;
  - Vaciado de la mezcla húmeda en el molde de la vibradora;
  - Vibrado de la mezcla;
  - Vaciado de la mezcla seca en el molde de la vibradora;
  - Nivelado de las mezclas en el molde;
  - Cierre del molde con mezclas y traslado a la prensa hidráulica;
  - Prensado de la mezcla en la prensa hidráulica;
  - Sacar la pieza del molde;
  - Transporte de la pieza al área de secado.

- Se espera analizar las operaciones realizadas por las máquinas y por los hombres para poder estimar el tiempo ocupado por los mismos, con el objetivo de poder aumentar la eficiencia en las operaciones. Se puede disminuir el tiempo de las operaciones de las máquinas renovando las mismas, lo que se verificará con el análisis de tiempo.

- Selección del trabajador

Cuando se debe elegir al operador es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Habilidad. Elegir a un trabajador o grupo de trabajadores con habilidad promedio.
- Deseo de cooperar. Nunca seleccionar a un trabajador que se opone a la realización del estudio.
- Temperamento. No debe elegirse a un trabajador nervioso.
- Experiencia. Es preferible elegir a un trabajador con experiencia.

La selección de las operaciones implica elegir a los trabajadores u operarios que realizan la mayoría de veces las mismas, en tal caso se realiza la medición del tiempo cuando los operarios están operando a plena carga. La cantidad de operarios que intervienen en las operaciones anteriormente descritas son tres.

- Actitud frente al trabajador
  - El estudio nunca debe hacerse en secreto.
  - El analista debe observar las políticas de la empresa y cuidar de no criticarlas ante el trabajador.
  - No debe discutir con el trabajador ni criticar su trabajo sino pedir su colaboración.

La medición del tiempo se realizó cuando los trabajadores operaban la maquinaria, solicitando el permiso correspondiente al jefe de la planta, con pleno consentimiento de los mismos operarios. Se solicitó al jefe de planta que explicara a fondo las operaciones y la experiencia que los operarios tienen al fabricar piezas de piso, si no se tiene la adecuada experiencia por el estado de la maquinaria se obtiene un producto de baja calidad.

- Análisis de comprobación del método de trabajo

Nunca debe cronometrarse una operación que no haya sido normalizada. La normalización de los métodos de trabajo es el procedimiento por medio del cual se fija en forma escrita una norma de método de trabajo para cada una de las operaciones que se realizan en una fábrica.

Un trabajo normalizado significa que la calidad de la materia será siempre entregada al operador en la misma condición y que él será capaz de ejecutar su operación a través de una cantidad definida de trabajo con los movimientos básicos mientras utilice el mismo equipo bajo las mismas condiciones de trabajo.

La planta de producción posee las operaciones normalizadas debido a que cuando llegan nuevos operarios se les instruye en la forma de operar las máquinas así como la forma de realizar las actividades manuales, la preparación de la materia prima y la condición de la maquinaria para fabricar el producto.

- Método continuo de lectura de cronómetro

Cuando se emplea este método, una vez que el reloj se pone en marcha permanece en funcionamiento durante todo el estudio. Las lecturas se hacen de manera progresiva y solo se detendrá una vez que el estudio haya concluido. El tiempo para cada elemento se obtendrá restando la lectura anterior de la lectura inmediata siguiente.

- Observaciones necesarias para calcular el tiempo normal

En gran medida, la extensión del estudio de tiempos depende de la naturaleza de la operación individual. El número de ciclos que deberá observarse para obtener un tiempo medio representativo de una operación se determina mediante los siguientes procedimientos:

- Fórmulas estadísticas;
- Ábaco de *Lifson*;
- Tabla Westinghouse.

Se utilizará el ábaco de *Lifson*, que es un método gráfico el cual posee valores en los ejes horizontal y vertical. Estos valores se hacen coincidir basado en una serie de números, en porcentajes, que se encuentran en la parte inferior de la gráfica. Dichos números se calculan con base en la utilización de las fórmulas estadísticas, con ello se puede estimar el número de observaciones necesarias. Para ejemplificar se tienen los siguientes valores de un total de 10 mediciones realizadas en la operación seleccionada.

Tabla VII. **Medición de tiempo en el vibrado, prensado de materiales**

Mediciones realizadas en la operación	
No.	Segundos
1	29
2	31
3	25
4	28
5	27
6	26
7	29
8	30
9	24
10	29

Fuente: García Criollo Roberto. Estudio de tiempos. p.208

Con base en estas mediciones se calcula el número de observaciones necesarias a partir de las 10 lecturas, siendo la superior 31 segundos y la inferior 24 segundos estimando un riesgo de 3% y un error de 3% del valor. La fórmula para realizar el cálculo del coeficiente de ponderación del ábaco de *Lifson* (B) es la siguiente:

$$B = \frac{S - I}{S + I}$$

En donde:

S = El tiempo superior

I = El tiempo inferior

Entonces:

$$B = \frac{31 - 24}{31 + 24} = 0,1274$$

Se inicia el cálculo en el ábaco con los siguientes valores:

$$e = 3\%$$

$$R = 0,03$$

$$B = 0,127$$

El ábaco de *Lifson* es un modelo gráfico el cual contiene en el eje vertical valores de riesgo posicionados en la parte inferior, superior a los mismos se encuentran los valores "N", que representan el número de lecturas a realizar.

En relación con los 2 ejes horizontales que posee la gráfica, el primero posee valores de error admisibles siendo el eje inferior a los valores “N” y el segundo eje presenta los valores “B” ya descritos que se encuentran en la parte superior de toda la gráfica. Los valores de error admisible se hacen coincidir con los valores de riesgo y luego con los valores “B” para finalmente por intersección obtener los valores “N”.

Con base en el análisis realizado con el ábaco de *Lifson* se puede estimar que son necesarias 30 observaciones para poder estimar el tiempo normal.

- Tiempo normal

Para obtener un tiempo normal de las operaciones es necesario calcular un promedio estadístico de las observaciones realizadas, en el caso de la planta de producción el promedio a obtener es de 30 observaciones. Seguidamente se debe incluir un multiplicador a dicho promedio, el cual se obtiene con base en un método de calificación. Dicho método de calificación consiste en la observación de algunas características que presenta el operario en el puesto, entre las que se tiene habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia. Para cada clase de observación realizada existe una calificación dada por las tablas *Westing House*.



Utilizando la tabla *Westing House* se obtienen los siguientes valores:

Tabla VIII. **Calificación de desempeño tabla Westinghouse**

Calificación de desempeño de operarios		
Habilidad	Bueno	0,06
Esfuerzo	Bueno	0,02
Condiciones	Regulares	-0,03
Consistencia	Promedio	0
Total		0,05

Fuente: García Criollo Roberto. Estudio de tiempos. p. 210

La calificación de desempeño es aplicada al grupo de operarios debido a que son tres los que llevan a cabo las operaciones, realizando en grupo el proceso y no individualmente. El tiempo normal a encontrar es el del conjunto de operaciones para la obtención de una pieza de piso.

La fórmula de tiempo normal es la siguiente:

$$T_n = T_e (\text{valor de calificación en \%})$$

Donde:

$$T_e = \text{Promedio de observaciones}$$

El promedio de observaciones se obtiene de la siguiente tabla de datos recopilados en la planta de producción, por ciclo de operaciones dentro del proceso descrito anteriormente.

Tabla IX. **Promedio de tiempos para el ciclo de operaciones para cálculo de tiempo normal**

Datos obtenidos por ciclo de operaciones			
No.	Segundos	No.	Segundos
1	25	16	25
2	28	17	28
3	27	18	26
4	30	19	27
5	21	20	22
6	25	21	24
7	26	22	25
8	27	23	29
9	29	24	27
10	31	25	26
11	25	26	24
12	26	27	25
13	28	28	27
14	30	29	31
15	30	30	30
		Promedio	25,53

Fuente; elaboración propia

Entonces:

$$T_n = (25,53 \text{ segundos})(1,05)$$

$$T_n = 26,80 \text{ segundos / pieza}$$

- Tiempo estándar

El tiempo estándar en el ciclo de operaciones se obtiene multiplicando el tiempo normal calculado por un factor variable de suplementos. Los suplementos son retrasos que pueden concederse en el área de trabajo así como en la operación propia. Existen tres clases de suplementos que se pueden conceder entre los cuales se tiene: suplementos por retrasos personales, por fatiga, por retrasos especiales lo que incluye supervisiones y concesiones temporales entre otros.

Para determinar la tolerancia de los suplementos que pueden concederse existe un método que utiliza una tabla de valorización la cual incluye a hombres y mujeres con sus distintas características, publicada por la Organización Internacional del Trabajo.

Utilizando la tabla de suplementos se obtiene el siguiente resultado para el ciclo de operaciones, sabiendo que, las operaciones son realizadas de pie por un grupo de hombres.

Tabla X. **Suplementos concedidos para operaciones dentro de la planta de producción**

Suplementos concedidos en el ciclo de operaciones		
Hombre		Observaciones
Suplemento constante	9%	Necesidades
Trabajar de pie	2%	Jornada completa
Uso de energía muscular	1%	5 kilogramos
Tipo de iluminación	0%	Idónea
Calor y humedad	0%	Normal
Ruido intermitente	2%	Sensible
Trabajo monótono	1%	
Total de suplementos	15%	

Fuente: García Criollo Roberto. Estudio de tiempos p. 228

La fórmula del tiempo estándar es:

$$Test = T_n (1 + \text{tolerancias})$$

Entonces el tiempo estándar del ciclo de operaciones es:

$$Test = 26,80 \text{ segundos}(1,15)$$

$$Test = 30,82 \text{ segundos / pieza}$$

El tiempo estándar calculado con base en la calificación de concesiones y suplementos para fabricar una pieza de piso de formato 30 es de 30,82 segundos por pieza, realizado en un conjunto de operaciones en donde participan tres operarios con las funciones ya definidas anteriormente.

### **2.6.1. Tiempo necesario de cada máquina por cada lote de productos.**

Para poder determinar el tiempo necesario de cada máquina que interviene en la fabricación de pisos de granito de formato 30 es necesario conocer su operación dentro del conjunto de operaciones que forman el proceso. Dentro de las máquinas que operan en el proceso se tiene dos mezcladoras, una para cada tipo de mezcla operada cada una por un operario, paralelo a ello opera una vibradora de mezclas que está incorporada o es parte de la prensa hidráulica. Esta última posee un carril móvil que sirve para desplazar un molde que se encuentra en la vibradora al inicio de cada ciclo o fabricado de la pieza.

El tiempo aproximado que individualmente cada máquina tarda en su operación es determinada cronometrándola cuando está en producción la línea. Las operaciones de la maquinaria se muestran en un diagrama hombre-máquina el cual ayudará a determinar el tiempo muerto que se tiene en el proceso. Dicho tiempo muerto se representa en la tabla resumen al final del diagrama hombre-máquina el cual tiene como objetivo estimar el tiempo empleado por las máquinas en el proceso o el conjunto de operaciones.

Se detalla nuevamente el algoritmo de operaciones que son realizadas en la estación de trabajo por tres operarios los cuales cumplen con el objetivo de fabricar las piezas de piso.

Operaciones realizadas por las máquinas.

- Mezclado de materiales (mezcla húmeda),
- Mezclado de materiales (mezcla seca),
- Vibrado de mezcla húmeda,
- Prensado de ambas mezclas.

Las operaciones realizadas por lo operarios son:

- Preparación de los materiales en la mezcladora,
- Vaciado de la mezcla húmeda en el molde de la vibradora,
- Vaciado de la mezcla seca en el molde de la vibradora,
- Nivelado de la mezcla,
- Cierre del molde y traslado hacia la prensa,
- Accionar la prensa,
- Sacar la pieza del molde,
- Transporte de la pieza al área de secado.

La preparación de los materiales en las mezcladoras se incluye en el diagrama debido a que es el inicio del primer ciclo de fabricación de un lote de piezas. No así en la sumatoria para obtener el ciclo de trabajo, ya que esta operación es realizada una única vez, no siendo repetitiva en los ciclos de trabajo, sino hasta que se introduzca otro lote, ya que cada lote posee características distintas, como por ejemplo el color de la pieza.

El ciclo completo está compuesto por 30 segundos, conformado por operaciones en dos máquinas las cuales poseen tiempos muertos, debidos a la preparación de material y a las deficiencias de la propia máquina. Entre estas deficiencias pueden estar la necesidad de reutilizarla en una misma pieza para obtener una calidad sino excelente, al menos aceptable para su venta.

Figura 3. Diagrama hombre máquina del proceso

Diagrama Hombre - Máquina														
Operación: Fabricación de piezas de piso de granito						Pág. No.: 1 de 1								
Máquina tipo: Industrial múltiple hidráulica y eléctrica						Fecha: Abril de 2010								
Departamento: Producción						Hecho por: Daniel Carias								
Operario	Operario	Operario	Operario	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina		
300	300			300	300									
Mezclar materiales	Mezclar materiales			25	Mezcla	Mezcla								
3 Verter mezcla en vibradora										3 Carga de materiales				
	2 Arrancar vibradora									2 Inicio de vibrado				
	3 Verter mezcla seca en vibradora									3 Vibrado de mezclas				
2 Nivelado de mezclas en molde de vibradora	2 Preparación de mezcla para pieza nueva									2 Tiempo muerto				
2 Cerrar molde	2 Cerrado de molde									2 Cierre de molde				
3 Trasladar molde	3 Trasladar molde									3 Traslado de molde				
3 Preparar mezcla para pieza nueva	3 Accionar prensa										3 Arranca prensa			
	7 Prensar pieza										7 Prensado			
	2 Retirar molde de prensa y sacar pieza del molde	2 Retirar molde de prensa y sacar pieza del molde									2 Retiro de molde de prensa			
	3	3 Traslado y acomodo de pieza en el área de secado												
3 Verter mezcla en vibradora											3 Carga de materiales			
RESUMEN		TIEMPO DEL CICLO			Acción			Ocio			Utilización			
	Actual	Propuesto	Ahorro		Actual	Propuesto	Ahorro	Actual	Propuesto	Ahorro	Actual	Propuesto	Ahorro	
OPERARIOS	30 segundos										15 segundos			
MÁQUINAS	30 segundos						8 segundos			15 segundos				

Fuente: elaboración propia





### 3. DISTRIBUCIÓN E INSTALACIÓN DE LA MAQUINARIA

#### 3.1. Tipo de maquinaria a instalar

El tipo de máquina a instalar en la planta de producción, es del tipo semiautomática dado que puede convertirse en automática en un dado caso, es decir, si se necesita producir un gran número de lotes de piezas de piso de un mismo tipo. Dicha máquina es de la marca OCEM modelo OPA-650, de origen italiano, la cual sustituirá en el proceso de fabricado de pisos de granito a la maquinaria que se utiliza actualmente. Las 3 operaciones de fabricación de piso han sido descritas con anterioridad. La máquina OPA-650 sustituirá a la prensa hidráulica, la vibradora y las dos mezcladoras.

Figura 4. **OPA 650 prensa rotativa mezcladora**



Fuente: imagen del catálogo del distribuidor para Centro América, p. 3

Para poder sustituir a la maquinaria actual se deberá realizar una nueva distribución de la planta de producción, debido a que dicha máquina es de mayores dimensiones que la que posee en la actualidad la suma de las máquinas vibradora y prensa hidráulica. Se debe considerar de esta forma la cercanía a tomas de aire comprimido que posee la planta así como la instalación eléctrica que se debe realizar.

Las operaciones que se realizarán por la máquina a instalar y que ejecuta automáticamente el proceso, se dan en orden consecutivo como sigue:

- Mezclado de materiales;
- Distribución de mezclas en los moldes;
- Vibrado de mezclas;
- Distribución de segunda mezcla;
- Nivelado;
- Prensado de moldes;
- Dispensado de moldes con la pieza terminada.

La prensa **OPA-650** dispone de 6 estaciones de trabajo: desmolde automático, tolva de alimentación automática del revés, vibradores en cada una de las estaciones de trabajo, cierre neumático de los moldes, potencia de prensado regulable y dispensado de la pieza terminada.

Dicha prensa puede producir baldosas de 150x150 mm, de 500x500 mm, y 600x400 mm, con posibilidad de ser automatizada totalmente. Se ha determinado por el manual del fabricante e información del distribuidor en Centroamérica (GRUPEXCUATRO) que la máquina es capaz de producir 650 piezas por hora, es decir, alrededor de 400 metros cuadrados al día de piso de granito en su formato 30, además que posee adaptadores para formatos mayores.

Debido a esta gran capacidad productiva de la maquinaria será necesario realizar nuevas disposiciones de personal, así como modificar el proceso del secado de las piezas de piso. Esto último se debe a que la planta de producción obtendrá un índice de producción cuatro veces mayor al que tiene, y si se satura el área de secado con el producto se deberá detener la producción por falta de espacio. Este análisis se describirá con mayor amplitud en secciones posteriores.

Figura 5. **Dispensador automático**



Fuente: imagen de catálogo del distribuidor para Centro América, p.3

### **3.1.1. Características técnicas**

Entre las características técnicas que posee la máquina a instalar en la planta de producción se tiene las siguientes:

- Fuerza máxima de trabajo 300 toneladas;
- Vibración de los moldes de elevada intensidad en 3 estaciones;
- Mesa de seis estaciones en hierro fundido;
- Central neumática en armario cerrado;
- Central hidráulica con bombas internas, filtrado y refrigeración adecuadamente dimensionados;
- Peso 16000kg con dosificador y moldes incluidos;
- Potencia instalada 28Kw con dosificador;
- Cilindro de prensado en acero forjado de alta lubricación;
- Cierre neumático regulable de los moldes;
- Central eléctrica con cuadro de mando automático-manual, en armario de tipo pupitre con circuitos auxiliares a 24 voltios;
- Rotación de la mesa con corona dentada y piñón.

Los dispositivos mecánicos de mayor utilidad como la vibradora, y la mesa rotatoria son accionados utilizando energía eléctrica. La prensa utiliza una bomba de presión hidráulica; la niveladora y el conformado final utilizan dispensadores eléctricos automatizados, así como mecanismos neumáticos que ayudan a conformar las piezas con una mayor exactitud debido a la regulación realizada por el operador.

La construcción de la máquina es realizada con base en el alcance de una mayor productividad, dado que ejecuta una operación en línea en una sola estación de trabajo, necesitando únicamente la supervisión de un operario quien es el que retira del dispensador la pieza terminada. Así mismo los dosificadores necesitan un reabastecimiento de materia prima constantemente lo cual hace necesario tener uno o dos operarios en dicho lugar abasteciendo el dosificador, dado que el mezclado de materiales lo realiza la propia máquina.

La cantidad escalar de la presión ejercida por la máquina es regulable, y puede estar en función de las recomendaciones hechas por el fabricante de la máquina, el tipo de piso de granito a fabricar, la experiencia del jefe de planta y de los operarios.

Antes de conocer qué es una central neumática es necesario conocer o comprender lo que involucra la palabra neumática. Neumática en términos sencillos trata lo relacionado con la aplicación de gases en este caso aire a una determinada presión, con un cierto volumen específico dentro de un sistema cerrado en particular, obteniendo con ello un trabajo. Una central neumática consta de una serie de dispositivos mecánicos dispuestos para poder utilizarse conjuntamente con otros dispositivos como servomotores, válvulas de regulación, y conductos de aire entre otros.

Cuando se necesita obtener volúmenes grandes de aire comprimido se utilizan máquinas externas fuera de la propia máquina, tal es el caso de los compresores de aire en sus distintos tipos. Obteniendo la fuente de aire comprimido se puede hacer circular el fluido en conductos hacia válvulas de paso que elevan o reducen la presión del sistema inicial, logrando con ello someter a una diferencia de presiones a un servomotor o mecanismo mecánico de accionamiento para que el mismo ejecute un trabajo. El mecanismo sometido a este proceso neumático es el embalaje y cierre de moldes para su posterior prensado en la máquina OPA-650.

Otro de los mecanismos importantes que utiliza la maquinaria y del cual es necesario tener un conocimiento es el tren planetario que utiliza la máquina para realizar giros de la mesa que contiene los moldes de piezas. Dicho dispositivo está conformado por un par de engranajes helicoidales rectos, los cuales deben estar libres de materias extrañas como pueden ser material del proceso entre otros. Dichos engranajes poseen características especiales, no solo en función de su tamaño y su diseño sino en el tipo de construcción y tratamiento térmico realizado para su fabricación, ya que cada fabricante debe estimar el tipo de dureza, tenacidad, resistencia, que desea alcanzar en su pieza.

Por estos y otros motivos es necesario realizar un mantenimiento preventivo a la máquina con el objetivo de mantener los parámetros estipulados de vida dentro de los rangos determinados por el fabricante.

Figura 6. **Tren planetario con engranes cilíndricos utilizado para dar giro al conjunto de mesa y molde**



Fuente: imagen de catálogo del distribuidor para Centro América. p.4

### **3.1.2. Descripción de la eficiencia**

La eficiencia de la línea de producción se incrementa notablemente cuando se instala una máquina que realiza operaciones consecutivamente sin intervención de los operarios, eliminando operaciones en las que se tienen tiempos muertos por falta de material en el dispensador de la máquina en cada paso de la operación.

La eficiencia que se alcanza con la nueva máquina se basa fundamentalmente en la mejora del nivel de producción que se tiene por día, debido a que con las operaciones realizadas por tres máquinas se produce una cantidad de 100 metros de piso. Esto se logra utilizando entre tres y cuatro operarios dependiendo del requerimiento, aunque generalmente son tres.

Con la capacidad de producción de la máquina OPA-650 se fabricarán diariamente 400 metros de piso utilizando de 3 a 5 operarios, esto en función de los requerimientos de los dosificadores y los dispensadores de materiales.



En función del tiempo, la máquina OPA-650 es cuatro veces más eficiente en comparación con la maquinaria instalada en la planta de producción. En términos de consumo de energía, para su funcionamiento consume en un porcentaje mayor, debido a las aplicaciones neumáticas y eléctricas.

Con el nivel de producción que se alcanza se pretende cumplir con la demanda insatisfecha que se ha proyectado, en los meses posteriores a su instalación. Determinar el nivel de producción que se alcanza es importante ya que con esta razón se puede realizar estimaciones de producción para poder establecer si se puede cumplir con la demanda proyectada en un mediano plazo. La razón principal de la realización del presente estudio es determinar la mejor forma de instalación de la máquina, ya que el fin primordial de la misma es obtener un índice alto de producción.

La eficiencia en consumo de materiales se incrementa debido a que los dosificadores vierten la cantidad necesaria de cada mezcla de materiales para el fabricado de piezas constantemente, debido a esto se elimina la intervención de operarios que involuntariamente tienden a desperdiciar los materiales por el movimiento constante de los mismos.

El porcentaje de eficiencia con la máquina OPA-650 en comparación con el conjunto de máquinas instaladas en la planta de producción sería de 100%, debido a que alcanzará el promedio de producción de la planta en un cuarto del tiempo que actualmente emplea. Debido a esto se necesitaría optimizar de una forma próxima el proceso de secado de piezas de piso, las cuales concluido dicho proceso se introducen al área de pulido que posee para dicho fin una pulidora lineal dispuesta por tres piedras, una de desbaste, otra de afino y la última de acabado.

### **3.2. Análisis de la distribución de la maquinaria**

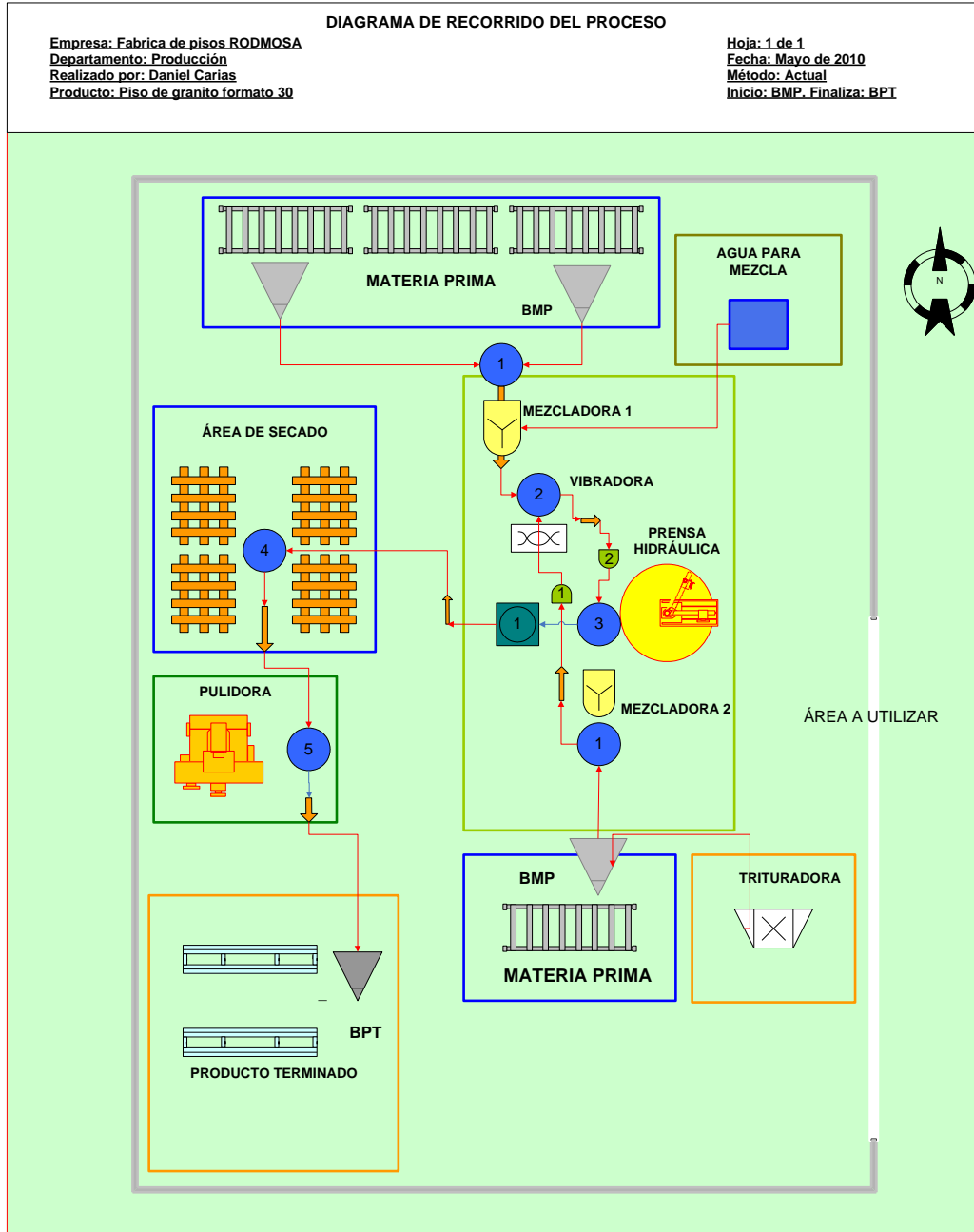
La distribución de la maquinaria existente en la planta de producción está basada en la distribución lineal debido a que el conjunto de operaciones iniciales para preparar las piezas de piso (mezclar, vibrar y prensar) se encuentran en una disposición la cual permite realizar operación por operación secuencialmente. Concluyendo dichas operaciones se procede a colocar las piezas en un área de apilamiento la cual está secuencialmente en línea con la pulidora que es la última operación a realizar en el proceso de fabricación de piezas de piso.

La distribución de la maquinaria existente integra las operaciones realizadas en otra área para obtener una mayor rapidez en el proceso, tal es el caso de la trituradora que introduce o agrega material a las operaciones. La distribución utilizada en la actualidad por la empresa se presenta a continuación en un diagrama de recorrido el cual incluye la maquinaria tal y como se presenta en un plano de trabajo.







Seguidamente se incluye un diagrama el cual muestra como se realizará la nueva distribución de la planta con base al montaje de la maquinaria nueva que se instalará. La maquinaria nueva se instalara en un área disponible dentro de la planta de producción que en la actualidad no se está utilizando. Dicha área se muestra en el diagrama de recorrido que se modificará, tal como se pretende modificar la disposición de la maquinaria.

La nueva disposición de la maquinaria ayudará a incrementar el área de bodega de producto final, ya que la línea tendrá una mayor tasa de producción al día, paralelo a ello se obtiene una mayor área de materia prima que se utilizará en el proceso.

Figura 7. Diagrama de recorrido del proceso actual

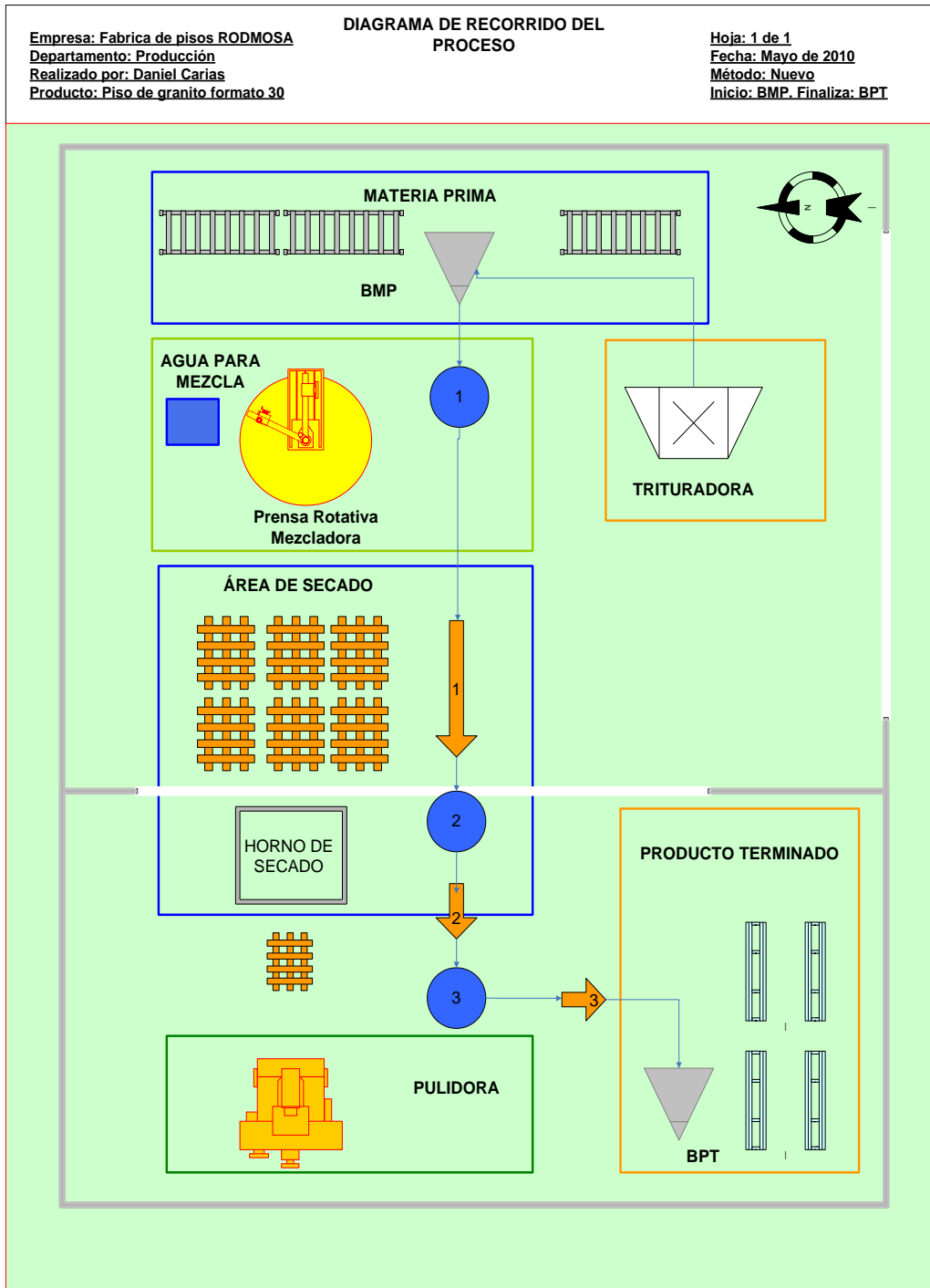


Continúa Figura 7.



Símbolo	Descripción	Cantidad
	Operación	5
	Transporte	5
	BMP	3
	Demora	2
	Operación combinada	1
	BPT	1

Fuente: elaboración propia

Figura 8. Diagrama de recorrido del proceso mejorado



Continúa Figura 8.

Símbolo	Descripción	Cantidad
	Operación	3
	Transporte	3
	BMP	1
	BPT	1

Fuente: elaboración propia

El diagrama de recorrido muestra que con la nueva máquina se elimina la necesidad de tener la mezcladora que realiza la mezcla seca así como la que realiza la mezcla húmeda. Dichas operaciones que iniciaban el proceso, con la máquina rotativa a instalar se incorporan a la misma, lo que hace que el consumo de material sea dosificado, es decir, que la máquina utiliza lo que consume, incrementando de esta forma la eficiencia en el uso del material, dado que no se desperdicia, lo que sucedía cuando se nivelaba la mezcla en la operación de vibrado del material antes de ser trasladado a la operación de prensado.

Además de lo anterior, se elimina la operación de nivelado de la mezcla, reduciendo con ello el tiempo que existe entre el vibrado y el prensado, lo que ocurre dado que la prensa rotativa mezcladora dosifica el material ya mezclado en cada molde para luego del vibrado trasladarlo a la operación de prensado en paso secuencial que obvia el tiempo de espera que se da cuando se realiza el proceso sin la máquina rotativa.

En el proceso actual, se presenta una operación combinada, la cual contiene una inspección. Dicha operación se ejecuta cuando se saca la pieza del molde de la prensa hidráulica, lo cual tiene como finalidad determinar la calidad de la pieza estableciendo si es conforme con el estándar que se tiene. Si la pieza cumple con ciertas características se procede a trasladar la pieza al área de secado.

El área de secado actualmente contempla únicamente un espacio físico, en el que la operación de secado se realiza por arriba de las veinticuatro horas, lo que representa un cuello de botella en la línea. Se pretende dar una solución viable a dicho inconveniente utilizando un horno que ayude al fraguado rápido y eficaz de la mezcla para obtener la pieza antes de ingresarla al área de pulido.

Dicho horno ayudará a suplir la necesidad de un mayor espacio para el secado de la pieza antes de ser pulida, dado que la tasa de producción de la máquina rotativa supera ampliamente la del proceso actual. Si no se utiliza un horno para fraguado rápido, el espacio para el fraguado será muy reducido lo cual obligará a detener la producción, cuando se sature dicha área.

Después de que las piezas se solidifiquen en el horno, la pieza será enviada hacia la pulidora. En esta operación el flujo del proceso es similar al flujo de proceso actual. El flujo del proceso cambia en las operaciones iniciales cuando se eliminan operaciones como mezclado, vibrado y nivelado reduciendo el tiempo de obtención de una unidad.

### **3.3. Análisis de la oferta y la demanda con la nueva línea de producción**

- **Oferta**

La oferta que se obtiene cuando se utiliza el proceso que incluye la máquina rotativa es mayor a la que se tiene con el proceso con la maquinaria existente. Si se utiliza los operarios que se tienen disponibles se podrá obtener una tasa de producción cuatro veces mayor. El nivel de producción que se obtiene mediante el nuevo proceso pretende cumplir con la demanda que en cierto momento tendrá la empresa cuando la competencia no pueda sostener sus precios de ventas. Por otro lado, la empresa tiene como objetivo ampliar su mercado enfocándose a un segmento en especial, como lo es el de los clientes que desean obtener productos con calidad conjugando el precio de los mismos.

Con base en el nivel de producción que la máquina rotativa puede alcanzar, (400 metros cuadrados), se realizan cálculos estimados acerca del número de productos que se pueden producir mensualmente, esto será función de la cantidad de recursos a implementar. Los recursos que se involucran en el proceso de producción pueden variar, dependiendo del producto a fabricar. Entre éstos se tiene: tiempo por jornada laboral, número de operarios para preparar y transportar materiales, traslado de piezas de productos en proceso y materia prima.

Cuando se inicia el proceso de producción con la máquina rotativa se debe tener un abastecimiento constante de materia prima en las tolvas, que luego pasará a los dosificadores, dado que la demanda de materia prima por parte de la máquina rotativa es constante y alta.



La siguiente tabla muestra en forma resumida la cantidad mensual de piezas que se producirá en la nueva línea de producción, en función de los requerimientos del mercado, así como de la disponibilidad de materia prima y el tiempo para poder abastecer de productos un pedido.

Utilizando 8 horas disponibles para los operarios que trabajan en la planta de producción y teniendo como meta de producción 400 metros de piso al día, se tiene que el tiempo disponible por día es de 24300 segundos y cada 5 metros de producto tiene 55 piezas se obtiene la relación siguiente:

$$\text{Jornada diurna} = \frac{8 \text{ horas}}{1} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} = 480 \text{ minutos}$$

$$\text{Descansos} = 60 \text{ minutos de almuerzo} + 15 \text{ minutos de refacción}$$

$$\text{Tiempo efectivo} = 480 \text{ minutos} - 75 \text{ minutos} = 405 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo efectivo} = \frac{405 \text{ minutos}}{1} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} = 24\,300 \text{ segundos}$$

$$\Rightarrow \frac{400 \text{ m}}{1 \text{ día}} * \frac{55 \text{ piezas}}{5 \text{ m}} = 4400 \frac{\text{piezas}}{\text{día}}$$

$$\text{Tiempo por unidad} = \frac{24300 \text{ segundos}}{4400 \text{ piezas}} = 5,52 \frac{\text{segundos}}{\text{pieza}} \approx 6 \text{ segundos/pieza}$$

Si se produce con base en el tiempo disponible, en los meses siguientes a la instalación de la maquinaria se obtiene las siguientes cantidades de producción, asumiendo que se venda todo el producto.

Tiempo disponible del mes de enero = 21 días de 24 300 segundos por jornada

Tiempo disponible del mes de enero = 4 días de 17 100 segundos por jornada

Total enero = (24300 segundos \* 21) + (17100 segundos \* 4) = 578700 segundos

$$\text{Piezas de enero} = \frac{57\ 8700 \text{ segundos}}{1} * \frac{1 \text{ pieza}}{6 \text{ segundos}} = 96\ 450 \text{ piezas}$$

$$\begin{aligned} \text{Metros de enero} &= \frac{96\ 450 \text{ piezas}}{1} * \frac{5 \text{ metros cuadrados}}{55 \text{ piezas}} \\ &= 8\ 768 \text{ metros cuadrados de piso} \end{aligned}$$

Lo anterior se resume en la siguiente tabla para los siguientes meses.

**Tabla XI. Pronóstico de fabricación de piezas de piso de enero a septiembre de 2011**

Piezas de piso en formato 30 de enero a septiembre del 2011 a fabricar		
Mes	Tiempo disponible en segundos	Metros a producir
Enero	578 700,00	8 768
Febrero	554 400,00	8 400
Marzo	627 300,00	9 505
Abril	595 800,00	9 027
Mayo	603 000,00	9 136
Junio	603 000,00	9 136
Julio	595 800,00	9 027
Agosto	627 300,00	9 505
Septiembre	603 000,00	9 136

Fuente: elaboración propia

- Demanda

La demanda satisfecha es la que se obtiene cuando se logra abastecer de productos, tanto a la bodega para mantener un inventario de reserva, como a los clientes en sus pedidos. La demanda insatisfecha ocurre cuando la planta de producción no logra abastecer con el suficiente producto las requisiciones del cliente en un momento determinado. El pedido lo realiza el cliente con una anticipación de alrededor de 15 días, y si al término de ese período no se logra satisfacer las necesidades del cliente, el mismo buscará otras opciones para adquirir su producto, perdiendo definitivamente a ese cliente potencial.

Se ha determinado que si se eleva la calidad del producto manteniendo el precio del mismo, la empresa podrá colocar sus productos dentro del grupo de los más solicitados. A este grupo pertenecen los productos que son generados por empresas que tienen instalada una gran capacidad de producción y adicionalmente ofrecen una buena calidad sin hacer variar sus precios, siempre y cuando las condiciones de la materia prima no varíen.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad por mes de demanda insatisfecha, la cual tiene como base la producción de la planta incrementada en un 30%, dado que, según el departamento de ventas dicho porcentaje es el producto que se deja de vender por no tener una capacidad grande de producción, y es lo que la competencia vende, es decir, las distintas empresas que existen en el medio.

Tabla XII. **Demanda insatisfecha de enero del 2009 al mes abril del 2010**

Demanda insatisfecha de piso en tamaño 30 de enero del 2009 a abril de 2010			
Mes	Metros	Mes	Metros
Enero	824	Octubre	1 256
Febrero	693	Noviembre	2 282
Marzo	2 323	Diciembre	920
Abril	1 000	Enero	784
Mayo	961	Febrero	961
Junio	1 079	Marzo	786
Julio	944	Abril	490
Agosto	1 242		
Septiembre	1 299		

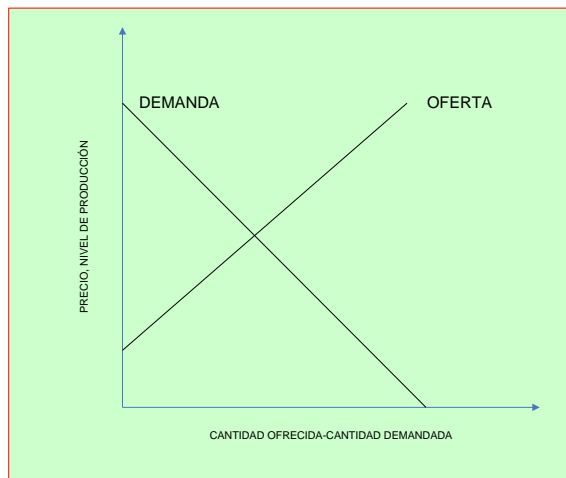
Fuente: elaboración propia

- **Oferta contra demanda**

La oferta que se alcanza con la nueva línea de producción supera a la demanda insatisfecha y la producción actual, esto es debido a la tasa de producción que se alcanza con el nuevo proceso de producción utilizando la prensa rotativa mezcladora. Se prevé que la oferta a presentar por dicha máquina y línea de producción puede variar en función del requerimiento del cliente y de los recursos a utilizar. Se debe balancear la utilización de dichos recursos ya que si se quiere obtener una productividad óptima de la línea de producción se deberán establecer estándares de producción tales como número de unidades a producir, cantidad de material a utilizar por cada lote de productos así como los distintos tipos de energía a utilizar.

El departamento de ventas de la empresa deberá estar en constante comunicación con la planta de producción, con el fin de que el personal de ambos departamentos tengan presente la cantidad de piezas de piso a producir, el tiempo necesario para producir dicha cantidad, las características que deberán tener, entre otros con el fin de lograr la mayor satisfacción del cliente, y paralelamente satisfacer la demanda insatisfecha que se puede dar si el cliente es mayorista.

Figura 9. **Modelo de oferta contra demanda**



Fuente: elaboración propia

Utilizando máquinas que eleven el nivel de producción de la planta, la demanda insatisfecha será ampliamente superada, lo que se prevé ocurrirá en un corto plazo debido a que el crecimiento de la producción, desde que inicie el nuevo proceso, será superior al incremento de ventas de la empresa. Los esfuerzos en mercadeo que la empresa haga para poder obtener un incremento en la participación en el mercado, hará que sea necesario obtener una tasa de producción superior a la que se tiene establecida.

### **3.3.1. Descripción de la productividad a alcanzar**

La productividad que se pretende, será mayor a la que se logra cuando se utiliza el grupo de máquinas que procesan la piezas de piso antes de secarlas. El nuevo proceso elimina la utilización de 3 máquinas incluyéndolas en una sola que integra dichas operaciones. La productividad se calculó anteriormente con base en los tiempos de espera, así como en las demoras que surgen cuando la pieza después de la operación no tiene la calidad necesaria para pasar a la operación siguiente.

Existen retrasos que limitan la productividad del proceso como en el caso en el que se tiene que hacer un nivelado de la mezcla vertida en la operación de vibrado, que seguidamente pasa al prensado. En dicha operación de vibrado y nivelado existen pérdidas de material, debido a que el nivelado separa el material excedente del molde, con lo que se incurre en una demora y una pérdida de material simultáneamente.

Para el cálculo de la productividad con el nuevo proceso de producción se utiliza estimaciones y fórmulas similares a las que se dan en el proceso cuando se tiene maquinaria antigua que genera retrasos.

Esto es para realizar una comparación utilizando el mismo algoritmo de cálculo con variables similares, cambiando únicamente la magnitud de las mismas.

## Indicadores de productividad

Capacidad usada = (capacidad disponible - tiempo muerto)

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \left( \frac{\text{capacidad usada}}{\text{capacidad disponible}} \right) * 100$$

$$\text{Porcentaje de eficacia} = \left( \frac{\text{Producción real}}{\text{producción programada}} \right) * 100$$

Las principales operaciones realizadas en la nueva maquinaria y que consumen mayores recursos son las siguientes:

- Mezclado de los materiales
- Vibrado de la mezcla
- Prensado de los materiales

Entonces para calcular la eficiencia y eficacia se calculan los parámetros útiles para definir dichos indicadores.

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \left( \frac{\text{capacidad usada}}{\text{capacidad disponible}} \right) * 100$$

Capacidad usada = (capacidad disponible - tiempo muerto)

Capacidad disponible = Número de horas que trabajan los operarios

Horas trabajadas = Jornada diurna normal

$$\text{Jornada diurna} = 8 \text{ horas} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} = 480 \text{ minutos} - 60 \text{ minutos} - 15 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo disponible} = 405 \text{ minutos} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} = 24300 \text{ segundos}$$

$$\text{Tasa de producción} = \frac{400 \text{ metros}}{1} * \frac{55 \text{ piezas}}{5 \text{ metros}} = \frac{4400 \text{ piezas}}{\text{día}}$$

$$\text{Tiempo por unidad} = \frac{24300 \text{ segundos}}{4400 \text{ piezas/día}} = \frac{5,52 \text{ segundos}}{\text{pieza}} \approx \frac{6 \text{ segundos}}{\text{pieza}}$$

El tiempo muerto que se puede presentar en el proceso es cuando se abastezca de material a las tolvas de la prensa rotativa mezcladora, siendo dicha operación cíclica con una duración alrededor de tres segundos. El ciclo se completa cuando se desabastece de material la máquina rotativa mezcladora, lo que se estima que sucederá cada cinco metros de piezas de piso producidas.

En el cálculo del tiempo por unidad de piezas se incluye el tiempo muerto que se puede presentar en el proceso, por tanto:

$$\text{Metros producidos} = \frac{24\,300 \text{ segundos}}{\frac{6 \text{ segundos}}{\text{pieza}}} = 4\,050 \text{ piezas}$$

$$\rightarrow 4\,050 \text{ piezas} = 370 \text{ metros}$$

$$\rightarrow \text{Número de ciclos} = \frac{370 \text{ metros}}{5 \text{ metros}} = 74 \text{ ciclos}$$



$$\rightarrow \text{Tiempo muerto} = (3 \text{ segundos})(74 \text{ ciclos/día}) = \frac{222 \text{ segundos}}{\text{día}}$$

$$\text{Capacidad usada} = (24\,300 - 222) \text{ segundos}$$

$$\text{Capacidad usada} = 24\,078 \text{ segundos}$$

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \left( \frac{24\,078}{24\,300} \right) * 100$$

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = 99\%$$

La calidad de piso que se obtiene utilizando la máquina rotativa mezcladora se asume cumplirá con estándares definidos por la administración quien ha caracterizado el ideal de producción que se debe alcanzar en cuanto a la calidad. La calidad de la pieza de piso obtenida se basa en la integridad de la misma, es decir, que la pieza no esté dañada físicamente lo que incluye tener quebraduras, ó estar mal acabada entre otros.

Los atributos que se observan cuando la pieza de piso ha sido mecanizada o moldeada en la prensa rotativa son: la integridad de la pieza, el estado de las esquinas, un ancho uniforme sin pedazos faltantes, y la disposición granular de las rocas. El cálculo de la eficacia se basa nuevamente en la calidad de piso que se obtiene después de concluida, la operación de prensado de la pieza.

La calidad del producto a nivel general se evalúa cuando se concluye el proceso de fabricación, pero para obtener una referencia por operación, en este caso el conjunto de operaciones hechas por la máquina rotativa, se evaluará los atributos de la pieza de piso, es decir, la calidad de las operaciones que produjeron ese producto semiacabado. Al iniciar operaciones en el nuevo flujo de proceso se deberá evaluar dicha eficacia.

La eficacia que se demostrará es teórica debido a que se prevé que utilizando materia prima de alta calidad y teniendo operaciones muy eficientes con un grado tecnológico alto, se obtendrá de dicho indicador una magnitud alta con respecto a la que se obtiene en el proceso antiguo en el cual se utilizan tres máquinas para integrar una operación.

De la cantidad de producción total, la eficacia a obtener por parte de la prensa rotativa mezcladora es de 14.5 metros de un total de 15 metros, estimación que se debe a la calidad de los materiales que se presenten en el momento de producir y a la experiencia propia del jefe de planta, el cual ha producido piezas de piso con una máquina similar en un formato distinto al de la pieza de piso de formato de 30.

$$\text{Porcentaje de eficacia} = \left( \frac{14,5 \text{ metros}}{15 \text{ metros}} \right) * 100$$

$$\text{Porcentaje de eficacia} = 96,66 \%$$

La productividad obtenida en el proceso se deriva de la relación entre la eficacia y la eficiencia obtenida por el conjunto de operaciones integradas en la máquina rotativa mezcladora. Esta productividad es la base de la línea de producción, ya que de la misma depende la cantidad de piezas de piso a producir en un periodo, paralelamente se debe incluir la rapidez con que se le pueda dar fraguado a las piezas, con ello se reducirá el espacio utilizado para su almacenamiento. La operación de fraguado será la demora que se presentará en el proceso.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Eficacia}}{\text{Eficiencia}} = \frac{96,66 \%}{99 \%} = 0,9763 \approx 97 \%$$

Con base en los cálculos anteriores se determina de manera general que la productividad a obtener en el conjunto de operaciones realizadas por la máquina rotativa mezcladora, es mayor a la que se obtiene con las operaciones separadas. Esta productividad a obtener mejora notablemente el proceso en la línea de producción.

### **3.3.2. Análisis de costo beneficio con base en la productividad**

El costo y el beneficio que se da en una inversión se miden con relación a la magnitud descrita por un indicador financiero. Este indicador financiero ayudará a tomar la decisión de si se debe optar por realizar una inversión que representa un costo, que en este caso es el costo inicial de la máquina más el de su instalación. La relación entre el beneficio y el costo se puede determinar, realizando un flujo de ingresos y salidas que la empresa tendrá. En el primer caso los ingresos se obtendrán por las ventas de piezas de piso.

Dado que los beneficios se asumen como ingresos monetarios a la empresa, éstos aumentarán realizando estrategias como: la ampliación de nuevo mercado, el incremento en la calidad de los productos y el aumento de la capacidad de producción. Para la obtención de productos en grandes cantidades se debe poseer equipos y personal eficiente, lo que implica producir a un bajo costo.

Para obtener un panorama general de los costos en que se incurre al producir las piezas de piso se describirá el costo de producción del producto y los gastos de fabricación tales como: pago de energía eléctrica, mantenimiento y herramientas. Estos datos se estiman de manera aproximada, pues varían conforme el número de unidades a producir.

Los costos de producción en la fabricación de las piezas de piso son los siguientes:

- Materia prima y
- Mano de obra directa.

Los gastos de fabricación son los siguientes:

- Mano de obra indirecta;
- Energía eléctrica;
- Mantenimiento y
- Herramientas.

La siguiente tabla contiene los costos de producción de cuatrocientos metros cuadrados de piso al día. Los costos de producción suman en total 7, cada uno se presenta en quetzales.

Tabla XIII. **Costos de producción de 400 m<sup>2</sup> de piso por día**

Concepto	Quetzales
Materia Prima	6 792
Mano de obra directa	225
Mano de obra indirecta	300
Energía Eléctrica	40
Combustibles	33,33
Mantenimiento	20
Herramientas	10
Total	7 420,33

Fuente: elaboración propia

La siguiente tabla contiene los costos de producción estimados para los meses de enero a septiembre de 2011, con base en la producción proyectada utilizando la máquina rotativa mezcladora.

Tabla XIV. **Proyección de costos de producción para 9 meses del 2011**

Meses	Costos en quetzales
Enero	162 653,6
Febrero	155 826,9
Marzo	176 325,6
Abril	167 458,3
Mayo	169 480,3
Junio	169 480,3
Julio	167 458,3
Agosto	176325,6
Septiembre	169 480,3
Total	1 514 489,2

Fuente: elaboración propia

Con respecto a la descripción anterior se debe realizar una comparación de los beneficios obtenidos, en este caso la descripción cuantitativa que mejor describe los beneficios es el ingreso que se obtiene al vender el producto. Se asume que se vende una cierta cantidad de productos en un período estipulado de tiempo.

La siguiente tabla muestra la cantidad de metros de piezas de piso a producir durante los meses de enero a septiembre, así como el precio de venta en quetzales por metro producido. Derivado de la venta de esta cantidad de producto, se obtiene por mes, el total en quetzales.

Tabla XV. **Proyección de producción de piso de enero a septiembre del 2011**

Mes	Metros a producir	Precio de venta en quetzales por metro	Total en Quetzales
Enero	8 768	52	455 936,00
Febrero	8 400	52	436 800,00
Marzo	9 505	52	494 260,00
Abril	9 027	52	469 404,00
Mayo	9 136	52	475 072,00
Junio	9 136	52	475 072,00
Julio	9 027	52	469 404,00
Agosto	9 505	52	494 260,00
Septiembre	9 136	52	475 072,00
Total			4 245 280,00

Fuente: elaboración propia

La obtención de los costos e ingresos ayuda a determinar la utilidad que se tiene, libre de cualquier impuesto. Dicha utilidad sirve de referencia para estimar los ingresos que la empresa tiene mediante el proceso en el que utiliza la maquinaria existente. La comparación entre la productividad de la nueva maquinaria con la antigua se logra realizar utilizando recursos muy generales como el tiempo para la fabricación de determinada cantidad de productos.

Comparando la productividad de uno y otro proceso se puede verificar que utilizando la prensa rotativa mezcladora se obtiene una mayor productividad, debido a que dicha máquina realiza determinada cantidad de productos en una fracción del tiempo que se emplea en el proceso sin esta máquina. Los beneficios a obtener, es decir, utilidades serán mayores debido a que se logrará cumplir con el pedido del cliente y el costo por producir una unidad baja, debido a que se paga el mismo periodo de tiempo a los operarios y en ese lapso de tiempo se produce cuatro veces la cantidad que se produce al día por el primer proceso.

Existe una relación entre el beneficio y costo que se puede estimar con base en una medida que deberá ser mayor a 1 para demostrar ser viable. Generalmente el valor mayor a 1 indica que los beneficios serán superiores con respecto a los costos, paralelamente se puede realizar un flujo de caja el cual se puede introducir la inversión inicial así como los costos por periodo e ingresos, para obtener de esta forma otro indicador basado en la productividad. Este nuevo indicador puede ser el valor presente neto del flujo de caja en forma general que se describirá a continuación.



- Valor de beneficio/costo

$$\frac{B}{C} = \frac{B - C_b - \text{Costos periodicos}}{\text{Inversión inicial}}$$

Donde:

B = Estimaciones económicas que experimenta la empresa

C<sub>b</sub> = Estimaciones económicas de las desventajas

Costos periódicos = Son los gastos en que incurre periódicamente la empresa.

Inversión inicial = El costo de la maquinaria más su instalación siendo aproximadamente de Q 1 000 000,00.

$$\Rightarrow \frac{B}{C} = \frac{Q 4 245280 - 0 - Q 1 514489,20}{1 000000} = 2,731$$

El resultado de la relación entre beneficio y costo da como coeficiente 2,73, lo cual indica que la inversión inicial a realizar con sus respectivos costos calculados para 9 meses serán superados por los beneficios a obtener en una magnitud igual al coeficiente calculado.

- Valor presente neto

La tasa de interés se define con base en el promedio actual de la tasa pasiva que es de 5,42% (tasa promedio de interés 2010, la tasa pasiva se utiliza para evaluarla factibilidad entre invertir en un proyecto u otro o dejar el dinero en un banco con dicha tasa) según el banco de Guatemala. Un banco del sistema puede ofrecer, esta tasa la cual pondera con un 5 % aproximado a la tasa pasiva, deduciendo un 0,6% en promedio de inflación.

Las fórmulas respectivas para el cálculo del valor presente neto son las siguientes:

$$P = F \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

Donde:

F = Valor futuro del dinero después de n periodos

i = tasa de interés

n = periodo en el que capitaliza la tasa de interés

Para el cálculo del valor presente neto para el mes de enero se realiza con la siguiente fórmula en ingresos y costos respectivamente.

$$P_1 = 455\,936,0 \left[ \frac{1}{(1+0,05)^1} \right] = Q\,43\,4224,76$$

$$P_1 = 162\,653,6 \left[ \frac{1}{(1+0,05)^1} \right] = Q\,154\,908,19$$

Seguidamente se realiza el cálculo para todos los meses, es decir, pasar todos los valores de ingresos y costos a un periodo cero antes del mes de enero. Seguidamente se realiza la diferencia entre ingresos y costos para finalmente realizar la diferencia entre el resultado y la inversión inicial, obteniéndose así el valor total del valor presente neto.

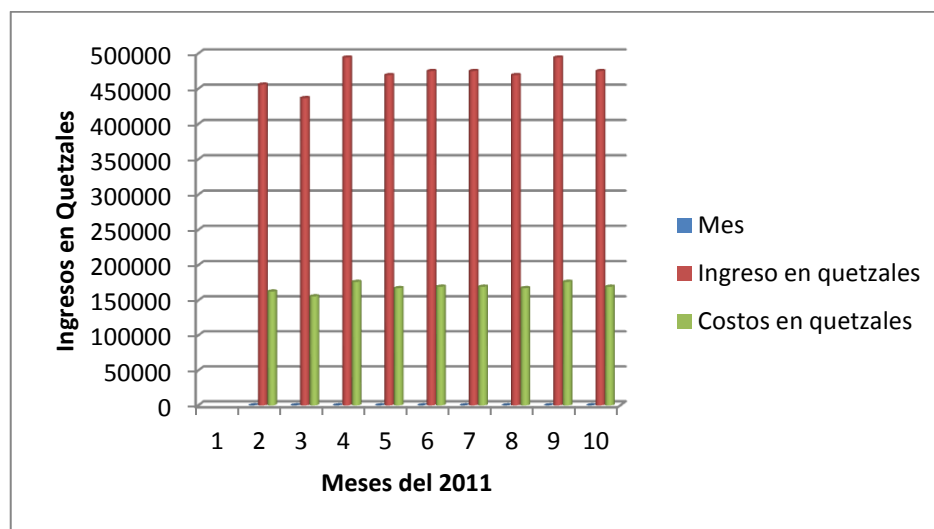
Tabla XVI. **Cálculo de valor presente neto para 9 meses del 2011**

Cálculo de valor presente neto para el flujo				
Mes	Ingresos en Quetzales	Costos en quetzales	Valor presente mensual	Valor presente mensual
1	455 936	162 653,6	Q434 224,76	(Q154 908,19)
2	436 800	155 826,9	Q396 190,48	(Q141 339,59)
3	494 260	176 325,6	Q426 960,37	(Q152 316,68)
4	469 404	167 458,3	Q386 179,83	(Q137 768,36)
5	475 072	169 480,3	Q372 231,34	(Q132 792,25)
6	475 072	169 480,3	Q354 506,04	(Q126 468,81)
7	469 404	167 458,3	Q333 596,66	(Q119 009,49)
8	494 260	176 325,6	Q334 534,62	(Q119 344,11)
9	475 072	169 480,3	Q306 235,65	(Q109 248,51)
	Total		Q3 344 659,76	(Q1 193 195,99)
	Diferencia		Q2 151 463,77	
	Inversión inicial			(Q1 000 000,00)
	Total valor presente neto		Q1 151 463,77	

Fuente: elaboración propia

El valor presente neto indica que la inversión realizada se cubre y en adicional se obtiene una ganancia de Q 1 151 463,77 el cálculo de la tabla anterior se realizo en una hoja de cálculo de Excel.

Figura 10. **Comparación gráfica del beneficio contra costo**



Fuente: elaboración propia

### 3.4. Seguridad industrial

Seguridad industrial enlaza el conjunto de técnicas que permiten eliminar o reducir el riesgo de estar proclive a lesiones en forma individual o colectiva, esto puede comprender daños materiales en equipos, máquinas, herramientas y edificios.

Eventualmente ocurren incidentes como la caída de un objeto pesado desde una cierta altura, sin llegar a causar lesiones sólo por el hecho fortuito de que la persona se ha movido en ese instante. Desde el punto de vista de la seguridad es de mucha utilidad considerar estos incidentes para adoptar medidas preventivas.

El objetivo de la seguridad industrial es evitar accidentes y enfermedades ocupacionales. Para que lo anterior se cumpla se deberá seguir el procedimiento siguiente el cual describe el programa de seguridad industrial ha implementar en la planta de producción de la empresa.

- Diagnostico situacional
  - o Recopilación de información: por elaboración propia se ha realizado una recopilación de información a cerca de la incidencia de accidentes que ha tenido la planta de producción utilizando el primer proceso. En dicha inspección se ha podido constar que en la planta de producción no se lleva ningún registro de accidentes por leves que hayan sido, la única información que se tiene es la que el jefe de planta puede aportar cuando le sea útil.

- o Inspección de las instalaciones: las instalaciones de la planta de producción utilizando el proceso, con operaciones no integradas poseen un cierto desorden en el sentido de flujo, debido a la disposición de la maquinaria, esto tiende a influir en la ergonomía de las áreas de máquinas ya que el acomodo y disposición de las mismas no es el adecuado para manipular grandes cargas repetitivamente debido a que el tránsito de operarios con carga se dificulta debido a obstáculos que se tienen que librar para llevar las piezas de piso o carga hasta su destino.

Con la nueva distribución de la maquinaria se obtiene un proceso lineal de mayor uniformidad, disponiendo de un área uniforme para distribuir la materia prima, la maquinaria y el producto final sin obstaculizaciones que puedan provocar accidentes, siendo condiciones de riesgo latentes.

Con la anterior inspección se puede hacer un resumen de evaluación de riesgos existentes en el primero proceso y que serán eliminados con la implementación del nuevo proceso. La obtención de los riesgos se obtuvo de la siguiente forma:

- Descripción de los puestos: entre los puestos que se tienen en el proceso son aproximadamente 3, de los cuales el personal se puede rotar completamente. Los puestos que intervienen en el proceso, son las operaciones de mezcla, la operación de vibrado y prensado y el transporte de la pieza al lugar de secado. Los puestos toman el nombre de la operación que se realiza, dichos puestos ya se han descrito con anterioridad en la descripción de las operaciones y productividad del proceso utilizado sin modificación.

- Identificación de riesgos: se basa en una serie de variables que se pueden presentar en el conjunto de operaciones, dividiéndolas por operación, tales como:
  - Choques contra objetos móviles e inmóviles que se encuentran en la planta de producción, dichos objetos son las piezas de de piso que se encuentran en el área de secado, tanto como las que se encuentran en el área de pulido.
  - Exposición a contactos eléctricos, contactos directos con partes desnudas, lo anterior puede suceder debido a que el interruptor de la prensa no posee una condición aceptable físicamente.
  - No existe una señalización y protector el cual indique al operador a no introducir sus manos o extremidades superiores cuando la prensa realiza su trabajo.
  - En las operaciones sucesivas, el operario dentro de su entorno no posee una adecuada distribución de espacio, es decir, la ergonomía simple no se cumple.

Figura 11. **Manipulación de materiales, en el área de bodega de la planta de producción**



Fuente: elaboración propia

- Integración del diagnóstico: el breve diagnóstico de seguridad industrial realizado a la planta de producción ayuda a determinar el estado de operaciones y empleados con respecto a la salud ocupacional que estos últimos presentan. Entre las causas básicas de riesgos laborales que se presentan en la planta de producción, es el desorden de áreas y elementos que se encuentran en ellas, lo cual puede dar como efecto el tropiezo y por ende la obtención de golpes que puede imposibilitar al operario a defenderse de cualquier caída abrupta debido a que el mismo lleva carga entre sus manos.

Figura 12. **Piezas de piso hacia el área de pulido, en el área de secado**



Fuente: elaboración propia

Otra de las causas probables de lesiones en la planta de producción son las lesiones por una mala manipulación de cargas y distribución de fuerzas cuando se manipula maquinaria, la causa identificada de lo anterior es debido al mal diseño de puestos de trabajo, Lo anterior se pretende eliminar diseñando el área de operaciones en máquinas.



No menos importante es la posible lesión que los operarios puedan tener a causa del mal estado de los comandos y partes manipulables de las máquinas por parte de los operarios, se identificó en la manipulación de la prensa hidráulica, riesgos eléctricos debido a los mandos que se encuentran en mal estado.

- Plan de seguridad
  - Priorización de problemas. Dentro de los principales riesgos que tiene la planta de producción es la salud de sus empleados u operarios, los cuales están sometidos cargas de trabajo repetitivas, que si bien no son excesivas, dispensaran fatigas debido a su constancia. Así mismo intervienen otros factores como el orden de las áreas y el estado correcto de la maquinaria, la cual debe poseer protecciones contra atrapamientos de partes móviles del cuerpo humano interactuando con las mismas.

Se debe erradicar el riesgo de contraer enfermedades ocupacionales debido a contaminantes presentes en el aire circundante producto de residuos producidos por el pulido de piezas de piso a terminar.

- Objetivos
  - Reducir a un mínimo los tres tipos de riesgos laborales existentes en la planta de producción a un mediano plazo.
  - Introducir conjuntamente con el jefe de planta un análisis ergonómico en el proceso.

- Políticas
  - El jefe de planta es el encargado de verificar que se cumplan los procedimientos y las formas de operar la maquinaria de forma segura.
  - Cada operario es el encargado de su propia seguridad y de trabajar bajo los procedimientos de trabajo.
  - Tanto el jefe de planta como los operarios son los encargados de identificar los riesgos en operación de la maquinaria y eliminarlos.
  - El jefe de planta y la dirección de la empresa son los encargados de reducir constantemente los riesgos laborales que se presenten y ocuparse de la salud laboral de los operarios brindándoles equipo de protección personal.
- Actividades
  - Definir en forma clara y concisa la documentación de políticas, procedimientos y actos seguros dentro de las operaciones de la maquinaria, en función de la minimización de los riesgos.
  - Capacitar al personal que se encuentra en contacto directo con la manipulación de la maquinaria nueva, así como de la existente, recalando en la necesidad de utilizar procedimientos normalizados como seguros.

- La gerencia conjuntamente con el personal debe adoptar la política de prevención de accidentes, reduciendo los riesgos laborales que se presenten, para que lo anterior se realice el jefe de planta dotara de equipo de protección personal según el riesgo que se presente.
- Registrar todos los incidentes y accidentes que se susciten dentro del proceso, con el objeto de que los mismos no tengan una próxima incidencia.
- Programa
  - Organización del departamento de seguridad. La organización de dicho departamento estará conformada por la estructura actual de la planta de producción, el cual tiene una en forma jerárquica teniendo como base a los operarios de la maquinaria, seguidamente el jefe de planta y en la cúpula la directiva de la empresa.
- Descripción del puesto. La operación de la maquinaria podrá ser desarrollado por una persona quién es la que accionará los mandos necesarios para que se realice e trabajo necesario. Adicionalmente se necesitaran de una a dos personas más para que viertan o abastezcan de material a las tolvas de la prensa rotativa mezcladora, así como el retiro de las piezas ya transformadas, esto cuando la persona encargada de la manipulación de la máquina por el volumen de trabajo no puede desarrollarlo sólo.

En la operación de pulido de piezas, el jefe de planta asignará a determinada persona con experiencia para que opere bajo normas y procedimientos de seguridad, los cuales no se deberán dejar de utilizarse bajo ningún motivo

- Responsabilidades. Dentro de la planta de producción cada empleado que labora directamente en la línea de producción debe proteger su salud cuidando de no seguir un procedimiento normado como inseguro, inciendo riesgos laborales. El jefe de planta debe asegurarse que en cada operación realizada se esta siguiendo los procedimientos y políticas de seguridad, así mismo el jefe deberá proveer de equipo de protección personal cuando sea necesario.
- Inspecciones. El jefe de planta encargado de seguridad industrial dentro de la línea de producción realizara inspecciones rutinarias continuamente, detallando en informes personales, los lugares donde se localizan o se han creado riesgos de mayor relevancia y puedan afectar directamente la salud de cualquier operario en ese entorno. Dentro del plan de inspecciones el jefe de planta puede auxiliarse con señalizaciones de los lugares de riesgos y de los cuales no se pueden eliminar, esto para hacer ver al personal operativo el riesgo potencial en dichas áreas, así como de cualquier persona ajena al proceso.

- Señalización. Dentro de la señalización la mayor relevancia se tiene cuando se posee equipo contra incendios, lo cual se presenta con mayor frecuencia en una planta de producción donde se utiliza maquinaria con voltajes altos, la debida señalización y localización de los mismos, determinará en gran medida la magnitud del accidente. Dentro de esta señalización se incluye los lugares donde se almacena equipo para primeros auxilios, lo cual ayuda a auxiliar cualquier tipo de trauma, siendo un tipo de atención pre hospitalaria.

## **4. MONTAJE DE LA PRENSA ROTATIVA**

### **4.1. Análisis del suelo**

El análisis del suelo proporciona los criterios que permiten tomar una decisión idónea acerca del tipo de cimentación a utilizar así como las dimensiones de la misma. Debido a esto es necesario conocer el enfoque de los analistas de estructuras con respecto a este tema. Se describirán algunas características importantes de dicho análisis dado que el mismo ya fue realizado en las instalaciones de la planta de producción con anterioridad desde su montaje. El análisis realizado sirvió como base para el diseño de cimentaciones de maquinaria de grandes dimensiones existente en el lugar, como es el caso de la pulidora de piezas de piso.

El estado físico actual del suelo en la planta de producción no es visible debido a que el mismo está recubierto con un piso de concreto. Debido al flujo de trabajo y el costo significativo que tiene extraer el piso actual de concreto y tomar muestras de suelo, lo cual implicaría un paro de labores, se ha decidido utilizar el conocimiento del personal que labora dentro de la empresa acerca del tipo de suelo con base en los datos obtenidos con anterioridad en procedimientos similares.

Para dar un enfoque general a lo que se realiza en un análisis de suelo se presenta el contenido básico que ayuda a dar un tratamiento del suelo ó en dado caso diseñar un cimiento, lo cual se asume fue realizado por el personal conjuntamente con el jefe de planta quienes realizaron la instalación de la maquinaria que se utiliza en el proceso de producción. Entre los aspectos a tomar cuenta en un análisis de suelo están las siguientes:

- Reconocimiento del tipo de suelo: los tipos de suelo son los siguientes:
  - gravas, que son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas los cuales tienen más de dos milímetros de diámetro.
  - Arenas, son los materiales de grano finos procedentes de la disgregación de las rocas o de su trituración artificial, cuyas partículas varían entre 2 mm y 0,05 mm de diámetro.
  - Limos, son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que se suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas.
  - Arcillas, son partículas sólidas con diámetro menor de 0,005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.

- Características físicas de los suelos: el conocimiento de las principales características físicas de los suelos es de fundamental importancia en el estudio de la mecánica de suelos, pues mediante su interpretación se puede predecir el futuro comportamiento de un terreno bajo cargas cuando dicho terreno presente diferentes contenidos de humedad, las cuales influyen directamente en las operaciones de fabricación de piso, ya que en las mismas se involucra agua en cantidades considerables.
  - Peso volumétrico. Es el peso de un suelo contenido en la unidad de volumen, y generalmente se expresa en  $\text{kg/m}^3$ .
  - Densidad relativa de suelos. Es la relación de la densidad absoluta o aparente promedio de las partículas que constituyen el suelo, a la densidad absoluta del agua destilada a  $4^\circ\text{C}$ , que tiene un valor de  $1 \text{ g/cm}^3$ .
  - Granulometría. El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. Se expresa como el porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

Las características físicas que se pueden conocer y se enunciaron anteriormente se pueden determinar con base en el ensayo que adopta el nombre de la característica a conocer; en la actualidad el suelo que se encuentra en el área de la fábrica y por ende en la línea de producción se encuentra recubierto por piso de concreto.



La compactación de los suelos y su prueba ayuda a determinar el medio de cómo aumentar la resistencia y disminuir la compresibilidad de los mismos. La prueba de proctor tiene como objetivo determinar si aplicando a un suelo cierta energía para compactarlo, el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva graficada para dicho fin.

La prueba consiste en dejar caer dentro de un cilindro un peso determinado en forma de pistón, que en dicho caso se tiene una relación entre el volumen del suelo y el volumen del agua vertida para realizar la prueba. La prueba mencionada es soporte en un análisis para determinar la capacidad de compresibilidad del suelo bajo ciertas cargas.

La prueba de valor cementante depende de la forma y acomodo de las partículas del mismo, así como también de la rugosidad, plasticidad y otros fenómenos relacionados con la composición química del suelo. La prueba consiste en medir la resistencia a la penetración en especímenes de material compactado por medio de cargas aplicadas con una máquina de compresión para reproducir los pesos volumétricos correspondientes a diferentes grados de compactación.

Propiamente dentro del análisis de suelo se debe determinar bajo otro estudio auxiliar, la resistencia de los suelos al esfuerzo de corte. Dentro de ciertos límites los suelos se comportan bajo la acción de las cargas como los materiales elásticos, aunque en algunos casos se producen deformaciones mayores que las normales, teniéndose que recurrir a cálculos que tengan en cuenta la plasticidad del suelo. Se define la resistencia al corte de un suelo por la ecuación de *Coulomb*:

$$T = C + P_i * (\tan\phi)$$

En donde:

T = Resistencia al corte del suelo en  $\text{kg/cm}^2$

C = Cohesión del suelo, en  $\text{kg/cm}^2$

$\varphi$  = Angulo de fricción interna del suelo, el cual es constante

Pi = Presión intergranular, en  $\text{kg/cm}^2$

La prueba de penetración normal ASTM<sup>1</sup> D1586 sirve de soporte para la determinación del esfuerzo de corte, la cual consiste en contar el número de golpes "N" necesarios para hincar 30 cm dentro del suelo. El hincado del muestreador se hace dejando caer un peso de 63,5 kg desde una altura de 76,2 cm. En la tabla se muestran las relaciones aproximadas entre el número "N" de la prueba de penetración normal, la resistencia a compresión axial no confinada, la consistencia de las arcillas, la compacidad relativa de los suelos granulares y el ángulo de fricción interna de estos.

---

<sup>1</sup> ASTM = American Standard Testing Material. Asociación Americana de Prueba y Normalización de Materiales.

Figura 13. **Tabla de propiedades y resistencia a la compresión en arcillas**

$N$	En arcillas		$\phi$ Ángulo de fricción interna	$E$ kg/cm <sup>2</sup>
	$q_u$ , kg/cm <sup>2</sup>	Descripción		
< 2	< 0.25	Muy blanda	0°	3
2 — 4	0.25 — 0.50	Blanda	0 — 2	30
4 — 8	0.50 — 1.00	Media	2 — 4	45 — 90
8 — 15	1.00 — 2.00	Compacta	4 — 6	90 — 200
15 — 30	2.00 — 4.00	Muy compacta	6 — 12	> 200
> 30	> 4.00	Dura	> 14	

Nota:  $q_u$  = esfuerzo de ruptura en la prueba de compresión axial no confinada.

Fuente: Crespo Villalaz Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 175

Si las gravas, arenas o mezclas de ellas contienen menos de 5% de arena fina o limo, aumentense en 5° los valores del ángulo de fricción interna dados en la tabla.

Figura 14. **Tabla de propiedades y resistencia a la compresión en arenas**

$N_{con}$	En arenas		$\phi$ Ángulo de fricción interna	$E$ kg/cm <sup>2</sup>
	Descripción	Compacidad relativa		
0 — 4	Muy floja	0 — 15 %	28°	100
5 — 10	Floja	16 — 35 %	28 — 30	100 — 250
11 — 30	Media	36 — 65 %	30 — 36	250 — 500
31 — 50	Densa	66 — 85 %	36 — 41	500 — 1000
> 50	Muy densa	86 — 100 %	> 41	> 1000

Fuente:

Crespo Villalaz Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 175

## 4.2. Diseño de la cimentación

- Capacidad de carga de las cimentaciones

La carga admisible en una cimentación es aquella que puede ser aplicada sin producir desperfectos en la estructura soportada, teniendo, además, un margen de seguridad dado por el llamado coeficiente de seguridad adoptado. La carga admisible no depende únicamente del terreno, sino también de la cimentación, característica de la estructura y del coeficiente de seguridad que se adopte en cada caso.

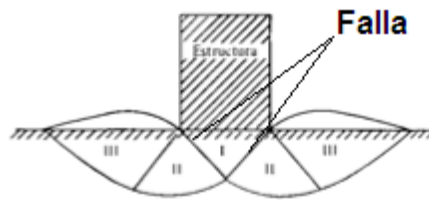
Por observaciones relativas al comportamiento de las cimentaciones se ha visto que la falla por capacidad de carga de las mismas, ocurre como producto de una rotura por corte del suelo de desplante de la cimentación. Son tres los tipos clásicos de falla bajo las cimentaciones:

- Falla por corte general, se tiene en arenas densas y arcillas rígidas;
- Falla por punzonamiento;
- Falla por corte local, se tiene en arenas medias y flojas y en arcillas suaves.

La falla por corte general se caracteriza por la presencia de una superficie de deslizamiento continua dentro del terreno, que se inicia en el borde de la cimentación y que avanza hasta la superficie del terreno.

La falla por corte general es usualmente súbita y catastrófica, y al menos que la estructura misma no permita la rotación, ocurre con cierta visible inclinación de la cimentación, provocando un hinchamiento o bufamiento del suelo a los lados de la cimentación aunque el colapso final del mismo se presenta un solo lado. Dicha falla se muestra en la siguiente figura.

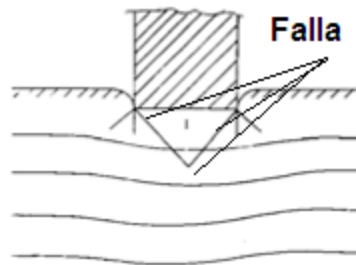
Figura 15. **Falla por corte general**



Fuente: Crespo Villalaz, Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 291

La falla por punzonamiento se caracteriza por un movimiento vertical de la cimentación mediante la compresión del suelo inmediatamente debajo de ella. La rotura del suelo se presenta por corte alrededor de la cimentación y casi no se observan movimientos de este junto a la cimentación manteniéndose el equilibrio tanto vertical como horizontal.

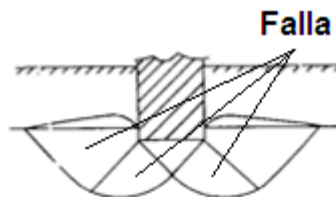
Figura16. **Falla por punzonamiento**



Fuente: Crespo Villalaz.Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 291

La falla por corte local representa una transición entre las dos anteriores, pues tiene características tanto del tipo de falla por corte general como del punzonamiento. En este tipo de falla existe una marcada tendencia al bufamiento del suelo a los lados de la cimentación, y además la compresión vertical debajo de la cimentación es fuerte y las superficies de deslizamiento terminan en algún punto dentro de la misma masa de suelo.

Figura 17. **Falla por corte local**



Fuente: Crespo Villalaz Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 292

En un suelo prácticamente incompresible el tipo de falla será por corte general. Sin embargo, si el suelo es muy compresible en relación con su resistencia al corte el tipo de falla será por punzonamiento. Actualmente el único parámetro racional que existe para la evaluación de la compresibilidad relativa de masas de suelos sujetas a cargas es el llamado índice de rigidez.

#### Cimentación de máquinas

El cálculo de las cimentaciones para máquinas se considera dentro del medio práctico ingenieril, más como un arte que como una ciencia, arte que debe ser, sin embargo, elaborado con experiencia y mucha intuición para proporcionar, de manera adecuada, el elemento que servirá para soportar y transmitir al suelo de desplante las cargas, tanto estáticas como dinámicas, sin producir alteraciones en el funcionamiento normal de las máquinas ni en las estructuras en las cuales son instaladas.

En este tipo de cimentaciones, donde el concreto reforzado tiene tanta aplicación, las cargas estáticas tienen relativamente poca importancia comparadas con los efectos de las masas vibratorias. Aunque los fabricantes de máquinas proporcionan éstas más o menos equilibradas, siempre quedan acciones dinámicas remanentes no compensadas que tienen que ser tomadas en cuenta.

- Cimentaciones sometidas a efectos dinámicos

Las cimentaciones para máquinas están sometidas tanto a los esfuerzos estáticos debidos a la carga muerta total como a los esfuerzos dinámicos producidos por las fuerzas de inercia según la segunda ley de Newton. Debido a esto, las partes de una máquina en movimiento dan lugar a vibraciones que muchas veces producen efectos bastante complejos. Estos efectos dependen de la clase de máquina de que se trate, y por lo tanto las características de la cimentación serán de acuerdo con esa variación en la maquinaria.

Las características principales de una cimentación para máquinas pueden resumirse así:

- Ser de tal naturaleza que pueda absorber en su interior, ya sea total o parcialmente, los esfuerzos producidos por las fuerzas de inercia.
  - Evitar el fenómeno de resonancia, que se produce cuando el número de revoluciones de la máquina coincide con las oscilaciones propias de la cimentación, lo que hace imposible el funcionamiento de las máquinas.
  - Anular, mediante el empleo de amortiguadores adecuados, las vibraciones remanentes.
- Conceptos que deben considerarse

Para proporcionar la resistencia adecuada a las reacciones cinéticas debidas al movimiento de las partes de una máquina, es obvio que el método más sencillo corresponde al empleo de cimentaciones pesadas. A continuación se hacen algunas indicaciones al respecto.



- Una masa  $m = P/g$  que se mueve a una velocidad  $v$  genera un trabajo  $(mv^2)/g$ , que debe ser absorbido por la cimentación de masa  $M$ , que a su vez tiene una velocidad  $V$  de tal manera que:

$$\frac{(m * v^2)}{2} = \frac{(M * V^2)}{2}$$

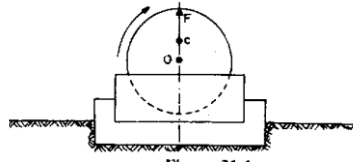
De lo anterior se deduce que aumentando ( $M$ ) de la cimentación, la velocidad ( $V$ ) de la misma puede ser reducida a voluntad, es decir, se pueden reducir las vibraciones en la cimentación. El asunto estriba en cual es el peso adecuado que debe escogerse.

- Considerando un movimiento de rotación , una masa cuyo centro de gravedad se encuentra a una distancia  $R$  del eje de rotación causará una fuerza centrífuga  $F$  tal que:

$$F = \frac{(m * v^2)}{R}$$

En estos casos se pueden presentar tres aspectos del problema: uno, el centro de gravedad  $c$  de la parte que gira en el sentido de las manecillas del reloj se encuentra arriba del eje de rotación  $o$ . En estos casos la fuerza  $F$  que se produce tiende a levantar la cimentación, por lo que ésta debe estar fuertemente anclada mediante pernos que atraviesen toda la cimentación si es necesario.

Figura 18. **Fuerza que es proclive a levantar la cimentación**



Fuente: Crespo Villalaz Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 565

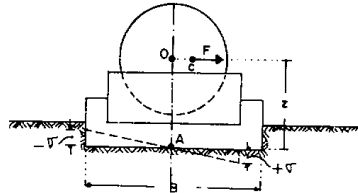
Otro aspecto del problema corresponde al momento en que, durante el giro de la parte antes mencionada, el punto c quede en la parte inferior de o. En estos casos, la fuerza F provocará nada más una compresión en la cimentación.

El tercer aspecto del problema corresponde al momento en el cual el centro de gravedad c de la parte que gira se encuentra a la derecha del punto o, y por lo tanto una componente de F es horizontal e incrementa el valor total de F. Cuando esto sucede, se produce un momento en el punto A, de la figura 16, el cual está situado en la base de la cimentación, y que tiene un valor  $F.Z$ , provocando un esfuerzo sigma que se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\sigma = \pm \frac{M.C}{I} = \pm \frac{F.Z.C}{\frac{L.F^3}{12}} = \pm \frac{12 F.Z.C}{L B^3}$$

Estos movimientos alternativos del punto c durante el trabajo de la máquina provocarán cambios en los esfuerzos del terreno que deben ser considerados, de ahí que para cimentar máquinas se recomiende terrenos que sean resistentes, y cuyo esfuerzo de trabajo o capacidad de carga admisible se considere igual a la mitad del considerado para las cimentaciones comunes.

Figura 19. **Fuerzas que provocan momentos que generan esfuerzos respecto al punto "O"**



Fuente: Crespo Villalaz Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 566

- Efecto de las fuerzas dinámicas

Las fuerzas dinámicas que producen efectos sobre las cimentaciones se pueden dividir en dos grupos:

- Impactos aislados que se producen en forma irregular, tales como los producidos por martillos, machacadoras, parada intempestiva de una máquina, martinets, etc.
- Fuerzas oscilantes producidas por masas en movimiento periódico, como sucede en la mayoría de las máquinas, tales como las producidas por turbinas, motores Diesel, máquinas de vapor, etc. Un motor Diesel vertical provocará fuerzas verticales, las turbinas provocarán fuerzas centrífugas que pueden descomponerse en sus componentes verticales y horizontales, y una máquina de vapor horizontal producirá fuerzas horizontales.

Considerando cada caso para su cálculo, debe tenerse en cuenta que para el estudio de los esfuerzos que producen se debe considerar el macizo de la cimentación como un todo con la máquina y apoyada en un medio más o menos elástico que es el suelo.

- Transformación de las acciones dinámicas

En el análisis práctico de los esfuerzos dinámicos que actúan sobre las cimentaciones es conveniente que dichos esfuerzos sean sustituidos por cargas estáticas virtuales que provoquen los mismos esfuerzos que aquéllos.

Esta sustitución o transformación de los esfuerzos dinámicos se hace mediante el llamado coeficiente de vibración T, que multiplicado por el peso del macizo de la cimentación dará la sobrecarga virtual. Para tener en cuenta la reducción en la resistencia del concreto producida por el cambio de valor y de signo de las fuerzas vibratorias, la sobrecarga virtual aún debe aumentarse multiplicada por un coeficiente de esfuerzo u. Para esfuerzos dinámicos intermitentes se toma  $u=2$  y  $u=3$  si actúan continuamente.

Impactos verticales no rítmicos.

Este es el caso correspondiente al impacto que pesos considerables efectúan sobre la cabeza de los pilotes durante su hincado. Si una carga estática vertical P actúa sobre un macizo de cimentación apoyado sobre un medio elástico, aquél experimenta un asentamiento elástico S. Si la carga vertical actúa por choque, la fuerza viva que se produce será equilibrada por la reacción del macizo de cimentación y de la base elástica de apoyo. La velocidad de caída libre del peso P, siendo h su altura, es:

:

$$v_p = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Después del impacto se tiene una velocidad de:

$$v_p(1 + k)Q = v_g(Q + G)$$

En donde:

G = Peso propio del macizo de cimentación más el de la máquina.

$V_g$  = Velocidad transmitida al macizo.

K = Coeficiente de percusión con valor que varía de 0 a 1.

El movimiento que inicia por debajo de la máquina, generado por la rotación de los elementos giratorios ó por el movimiento de pesos grandes lineales, la cimentación se opone, con intensidad creciente a la vibración producida por la reacción elástica del suelo de desplante. Llamando  $S_1$  al desplazamiento elástico del cimienta debido a la fuerza P, y  $S_2$  al asentamiento elástico vertical del cimienta debido a la fuerza G, de la igualdad de trabajo se tiene:

$$S_1 = v_g \sqrt{\frac{S_2}{g}}$$

El valor máximo de la reacción elástica de la cimentación, o sea la presión adicional del suelo de desplante, es:

$$R * S_2 = G * S_1$$

$$R = G * \frac{S_1}{S_2} = G * \frac{v_p}{\sqrt{S_2 * g}} = G * T$$

Siendo T el coeficiente de vibración y cuyo valor es de:

$$T = \frac{v_g}{\sqrt{S_2 * g}}$$

De lo anterior, la sobrecarga virtual equivalente a la reacción elástica del choque es:

$$P_s = u * T * G$$

Y la carga total sobre el suelo de desplante es:

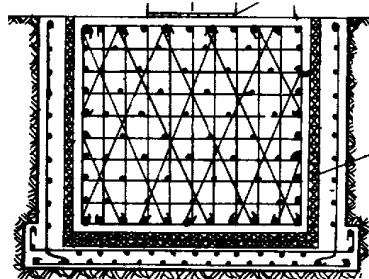
$$P_t = P_s + G = u * T * G + G = G(1 + u * T)$$

- Refuerzo del macizo de cimentación

En la cimentación de maquinaria sometida a vibraciones, resultan esfuerzos tanto dinámicos horizontales como verticales por lo que es necesario considerar reforzar en las tres dimensiones del espacio mediante el uso de varillas de 5/8" o 3/4" con una separación de 0,40 m a 0,50 m respectivamente.

Para resistir los esfuerzos horizontales de desgarramiento, además de los esfuerzos principales de tensión oblicua, se colocan varillas de refuerzo de 3/4" inclinadas a 45° con respecto al plano longitudinal del macizo de cimentación, con separaciones máximas longitudinales de 1m, y en sentido transversal a 0,50 m. Se pueden utilizar varillas horizontales normales al contorno exterior pudiendo ser de 7/8" con el fin de evitar el agrietamiento del concreto.

Figura 20. **Cimentación reforzada con armazón de acero**



Fuente: Crespo Villalaz. Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 571

- Estudios de los esfuerzos dinámicos periódicos

Es el caso más común en la práctica de las cimentaciones de máquinas, y, como en todos los casos, es necesario evitar que se presente el efecto de resonancia, o sea que es necesario evitar que el número de revoluciones de la máquina coincida con el número de oscilaciones propias de la cimentación.

En una cimentación que se encuentre bajo los efectos de choques rítmicos verticales, como los producidos por un motor Diesel, la resultante de todas las fuerzas verticales deberá pasar por el centro de gravedad de la cimentación. El descenso  $S_1$  de la cimentación se calcula como en el caso de los choques verticales no rítmicos, mediante la fórmula:

$$S_1 = \frac{P_t}{A_t * K}$$

En donde:

$S_1$  = Asentamiento de la cimentación, en metros.

$P_t$  = Peso de la cimentación y de la máquina, en toneladas.

$A_t$  = Área de la base de la cimentación, en metros cuadrados.

$K$  = Módulo de reacción del suelo, toneladas métricas por metro cúbico, o sea, la relación del esfuerzo en toneladas por metro cuadrado con respecto al asentamiento en metros.

Obtenido el valor del asentamiento  $S_1$  es necesario calcular el número de oscilaciones verticales ( $n_c$ ) de la cimentación. Este valor de  $n_c$  será mayor a medida que la masa de la cimentación disminuya y que aumenten tanto el área de apoyo de la cimentación como el módulo de reacción  $K$  del suelo. En el caso de las oscilaciones horizontales, el cálculo de la frecuencia se hace de la siguiente manera:

Si se designa por  $z$  la altura del centro de gravedad del conjunto formado por la cimentación y la máquina, referida dicha altura a la superficie de desplante de la cimentación, el desplazamiento del centro de gravedad  $f_G$  debido a la suma de los asentamientos  $S_1$  y  $S_2$  causados por el giro de la cimentación y el desplazamiento horizontal de la misma se puede calcular así:

$$f_G = S_1 + S_2$$

$$S_1 = h \cdot \tan \alpha = \frac{12 \cdot z^2 \cdot P_1}{K \cdot a \cdot b^3} \text{ en la que:}$$

$\alpha$  = Ángulo de inclinación de la cimentación horizontal. Para calcular el valor de  $S_2$  es necesario hacer intervenir el coeficiente  $C$  de Rausch, que es la relación entre el esfuerzo de tensión  $\sigma_t$  en la base de la cimentación y su desplazamiento correspondiente. O sea que:

$$C = \frac{\sigma_t}{S_2}$$



Por lo tanto:

$$S_2 = \frac{\sigma_1}{C} = \frac{P_t}{a * b * c}$$

- Inicio del cálculo

Con base en lo anterior se puede realizar una estimación propia acerca del tipo de cimentación a realizar para el soporte de la máquina, en este caso, la prensa rotativa mezcladora. Para iniciar el cálculo de la cimentación se tienen algunos datos proporcionados por el fabricante, los cuales se asume tendrá la máquina físicamente, así como datos básicos acerca de las características del suelo en donde estará soportada la máquina.

El tipo de suelo es una arcilla con las siguientes características:

Peso volumétrico  $\gamma_n = 1,2 \text{ Tm}/\text{m}^3$

Densidad de masa  $\rho = \frac{\gamma_n}{g} = \frac{1,5}{9,81} = 0,153 \frac{\text{Tm-seg}^2}{\text{m}^4}$

Capacidad de carga admisible (F.S=3) =  $34,5 \text{ Tm}/\text{m}^2$

Coefficiente de Poisson = 0,45

- Características de la máquina

- Dimensiones en planta de la máquina = (535, 397) cm;
- Altura del centro de masa = 183,5 cm;
- Peso total = 16 000kg= 35 273,3606 lb = 16,033 Tm = 17,6366 Ton.
- Fuerza o presión de trabajo = 300 Ton = 0,3 Tm.

- Peso del concreto = 2,65 Ton/m<sup>3</sup>

Entonces el cálculo inicia de la siguiente forma:

→ Peso de la cimentación=17,6366Ton \*1,5=26,45 Ton=24,05 Tm

Peso de elementos giratorios= 1 Tm

La altura de la cimentación aproximadamente es de:

$$\text{Altura}=h = \frac{\text{Esfuerzo elementos giratorios} * \text{Peso de la máquina en toneladas}}{\frac{\text{Peso del concreto}}{\text{m}^3} * \text{Peso de la máquina en toneladas}}$$

$$h = \frac{\left(\frac{1,5 \text{ Ton} * 17,6366 \text{ Ton}}{\text{m}^2}\right)}{\frac{2,65 \text{ Ton} * 17,6366 \text{ Ton}}{\text{m}^3}} = 0,56 \text{ m} \cong 0,50 \text{ m}.$$

La presión estática de contacto es:

Esfuerzo de contacto =  $\sigma$

$$\sigma = \frac{\text{Peso de la máquina} + \text{peso del cimiento} + \text{peso elementos giratorios}}{\text{Área de apoyo de la máquina sobre la cimentación}}$$

$$\sigma = \frac{(16,033+24,05+1)\text{Tm}}{(5,35\text{m}*3,97\text{m})} = 1,9341 \text{ Tm/m}^2$$

La presión dinámica es:

$$\sigma_d = (1,5)(1,9341) = 2,9011 \text{ Tm/m}^2$$

Las dimensiones de la cimentación rectangular será de:

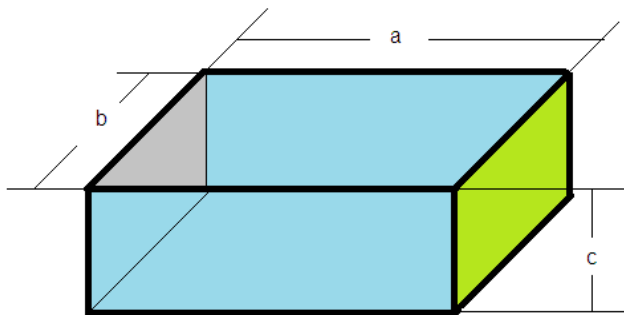
Lado a = 7,40 m

Lado b = 5 m

Alto c = 0,5 m

El área de contacto es de 37 m<sup>2</sup>

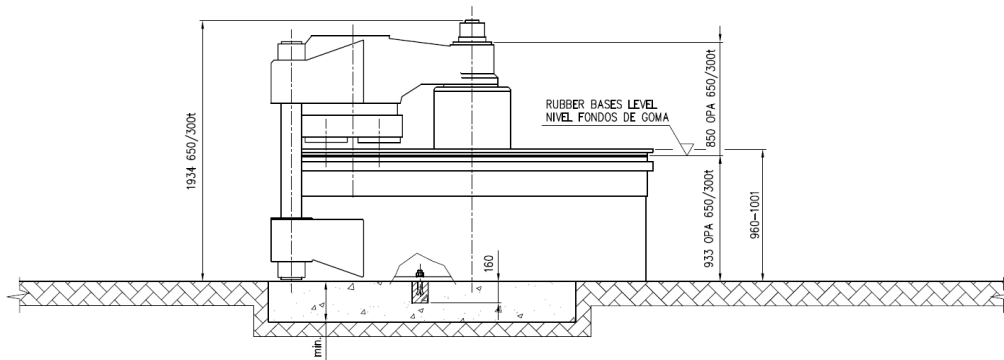
Figura 21. Dimensiones de la cimentación a diseñar



Lados de la cimentación de la máquina OPA 650

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Cimentación de la máquina parte inferior, vista lateral**



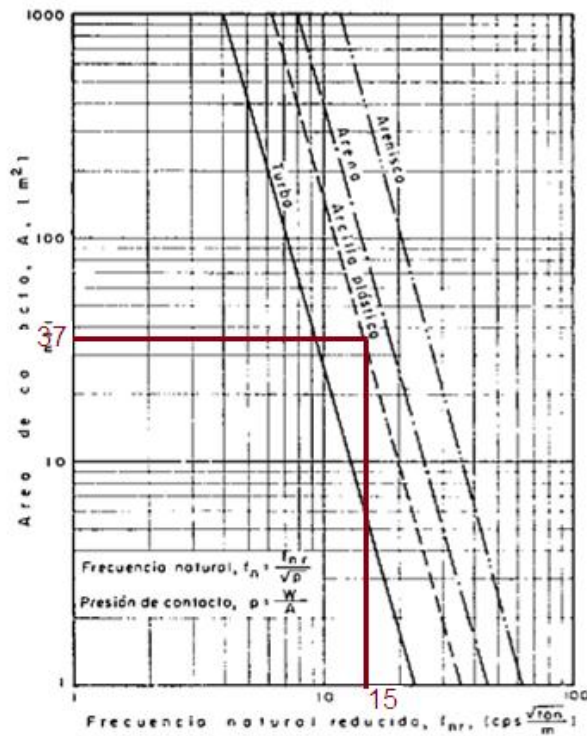
Fuente: manual de operación OPA 650, p.5

Para evitar asentamientos diferenciales y vibración torsional de la cimentación hay que procurar que el centro de gravedad común de la máquina y del bloque de cimentación coincida con el centroide del área de contacto entre el suelo y el macizo de cimentación. En la figura siguiente se obtiene la frecuencia natural reducida que toma un valor de 15.

Para obtener la frecuencia natural reducida de 15 se hace coincidir el área de contacto de la cimentación en el suelo con las líneas inclinadas que diferencia el tipo de suelo en donde se encuentra la cimentación.

Por cálculos anteriores, el área de contacto es de  $37\text{m}^2$ , el cual coincide con el tipo de suelo de arcilla plástica obteniendo de esta forma el valor de 15 frecuencia natural reducida (fnr).

Figura 23. Frecuencia natural de vibración de una cimentación en función del área de contacto



Fuente: Crespo Villalaz. Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 575

De lo anterior se tiene que la frecuencia resonante de vibración vertical del conjunto ( $f_n$ ) es de:

$$f_n = \frac{f_{n \cdot r}}{\sqrt{p}} = \frac{15}{\sqrt{1,1915}} = 13,7408 \text{ ciclos por segundo (c.p.s)}$$

Donde:

$$P = \frac{(17,6366 + 26,45) \text{ Ton}}{37 \text{ m}^2} = 1,1915 \text{ Ton/m}^2$$

En donde:

P = relación entre el peso de la máquina y de la cimentación en toneladas dividido entre el área de contacto en metros cuadrados.

La relación entre la velocidad de operación y la frecuencia natural del sistema máquina-cimentación suelo deberá ser de una a dos veces la velocidad de operación de la máquina, por lo tanto si se sabe que:

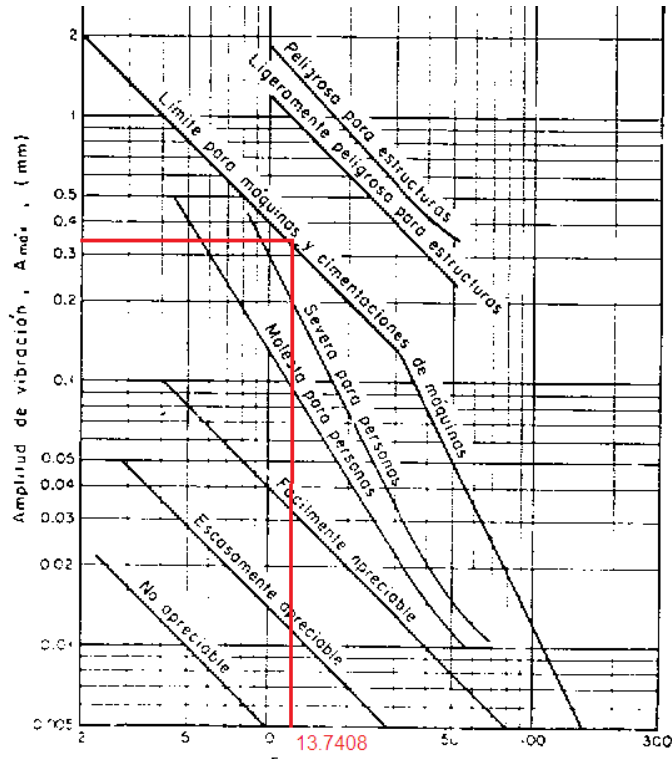
$$300 \text{ r.p.m} = 5 \text{ c.p.s}$$

Y dado que según el fabricante de la máquina, el motor principal funciona a 500 revoluciones por minuto (r.p.m), entonces:

$$\rightarrow 500 \text{ r.p.m} * \frac{5 \text{ c.p.s}}{300 \text{ r.p.m}} = 8,33 \text{ c.p.s}$$

Por lo anterior se puede deducir que la frecuencia de 13,7408 c.p.s, es mayor a la frecuencia de operación de la máquina, por lo que el diseño es aceptable en lo que a frecuencia de resonancia se refiere.

Figura 24. Amplitud de vibración permisible para cimentaciones



Fuente: Crespo Villalaz Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 578

Por la figura anterior se determina que la amplitud de la vibración máxima será de 0,33 mm con la frecuencia resonante de vibración de 13,7408.

El asentamiento de la cimentación, que se deberá tener debido a las vibraciones producidas por la máquina es:

$$S_t = \frac{P_t}{A_t \cdot K}$$

En donde:

$P_t$  = Peso de la cimentación y de la máquina

$A_t$  = Área de la base de la cimentación, en metros cuadrados, y

$K$  = Módulo de reacción del suelo.

Se tiene que:

$$P_t = (17,6366 + 24,4550) \text{ Ton} = 44,0915 \text{ Ton},$$

$$A_t = 37 \text{ m}^2 \quad \text{y}$$

$$K = \frac{1\,190,8 \text{ Ton}}{\text{m}^3}, \text{ por lo tanto}$$

$$\Rightarrow S_t = \frac{44,0915 \text{ Ton}}{37 \text{ m}^2 * 1\,190,8 \text{ Ton/m}^3} = 0,0010 \text{ m}$$

El asentamiento de la cimentación no deberá superar este valor generado por las fuerzas verticales, de lo contrario el mismo entraría en resonancia con las vibraciones de la máquina lo cual generará fallos y posibles volteos. Este asentamiento es el movimiento permisible a lo sumo que deberá tener la cimentación en las tres direcciones, a lo largo, a lo ancho y en lo profundo.

Para la preparación del lugar físico en donde se instalará la maquinaria el jefe de planta debe retirar el piso de cemento, ya que su espesor está por debajo de los 20 cm. La resistencia del área en donde se instalará la maquinaria aumentará si se prepara el suelo con un agregado de pedrín formando una sub-base de 30 cm por debajo de la superficie normal del terreno, quedando sobre dicha base, 50 cm útiles para realizar el cimiento de la maquinaria.



La excavación de 30 cm por debajo de la superficie normal del terreno expondrá una altura aproximada de 30 cm por arriba de la superficie lo cual ayudará a no tener una cimentación expuesta ó demasiado alta.

La anterior altura de exposición de la cimentación por arriba de la superficie, es recomendable ya que en el proceso de producción intervienen fluidos como el agua que están en constante movimiento y se presenta normalmente en la superficie del piso, por lo que si la cimentación no elevará el chasis de la máquina, el metal tendería a oxidarse.

#### **4.3. Instalación de la alimentación de la energía eléctrica**

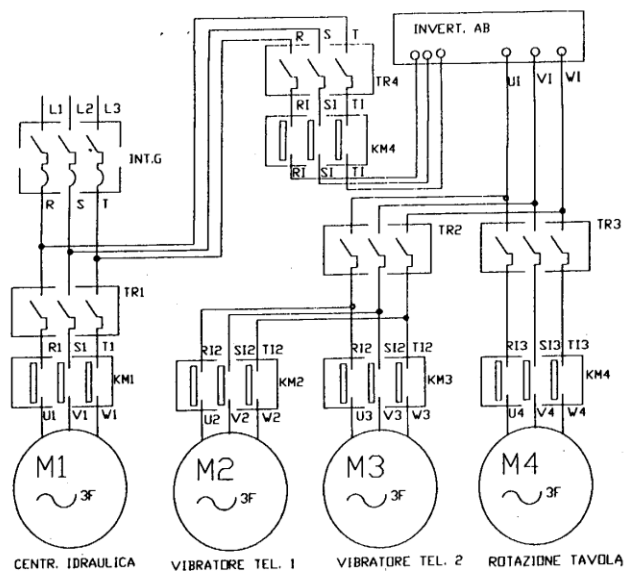
La instalación de la energía eléctrica varía conforme el consumo que demande la máquina o el conjunto de máquinas a instalar y conforme el reglamento de energía eléctrica prestada por el o los distribuidores que se encuentran en el área.

La característica técnica eléctrica de la maquinaria a instalar es básicamente la que presenta el mando de control eléctrico, según el cual la alimentación se debe conectar a la línea de triple fase.

La línea de triple fase se lleva desde el punto de alimentación hasta el tablero correspondiente de bornes en la entrada del cuadro eléctrico, desde donde alimentará los distintos voltajes necesarios para el funcionamiento de los mecanismos auxiliares, así como de los motores que generan el movimiento, la presión hidráulica, el dispensador y el movimiento vibratorio.

La siguiente figura es un diagrama que muestra en forma general la conexión de los motores eléctricos que se utilizan en las distintas operaciones ya descritas anteriormente. En él se puede identificar la entrada de las fases de energía eléctrica.

Figura 25. **Diagrama de conexión eléctrica para motores de la máquina OPA 650**



Fuente: manual de operación OPA 650, p.6

Entre las disposiciones que se tienen para realizar la conexión eléctrica de las fases se tiene que solicitar el servicio a la Empresa Eléctrica ó utilizar la planta eléctrica que tiene la planta de producción. La planta eléctrica que posee la empresa funciona con base en el movimiento del generador el cual utiliza un motor de combustión interna a base de Diesel.

La planta de generación de energía eléctrica se encuentra cercana al área en donde está instalado el conjunto de máquinas conformado por la prensa hidráulica, las dos mezcladoras y la vibradora. Dicha área se encuentra a 30 metros del cuarto de generación como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 26. **Planta generadora de energía eléctrica ubicada en el área de generación colindante con la planta de producción**



Fuente: elaboración propia

- **Análisis**

Se contempla evaluar entre las dos opciones de energizar la prensa rotativa mezcladora que son: utilizar energía eléctrica del servidor actual para Guatemala, ó bien utilizar la generadora eléctrica que se encuentra dentro de la planta la cual utiliza diesel para llevar a cabo su operación.

En la primera opción se tiene que pagar a la empresa que brinda el servicio, un valor de depósito de veinticuatro mil quetzales, cifra que está estipulada para un rango de demanda entre 21 Kw y 30 Kw. El tipo de carga a instalar es trifásica debido a la disposición del fabricante y al momento y la fuerza que deben impartir los motores.

La acometida en estudio se encuentra en el rango comprendido entre 12 y 70 Kw según datos de la empresa distribuidora de energía; el servicio a suministrar es de 120/208 voltios, 3 fases, estrella 4 conductores.

El calibre de los conductores a instalar del banco de transformadores trifásico a la acometida a construir en estudio es de 4 # 1/0, es decir, cuatro cables calibre un cero. La distancia de conexión máxima es de 30 metros del banco de transformadores a la acometida. Se muestra a continuación el banco de transformadores cercano a la empresa, que está localizado en los linderos de la misma a menos de 10 m.

Figura 27. **Banco de transformadores de distribución trifásica localizados en los linderos de la empresa**



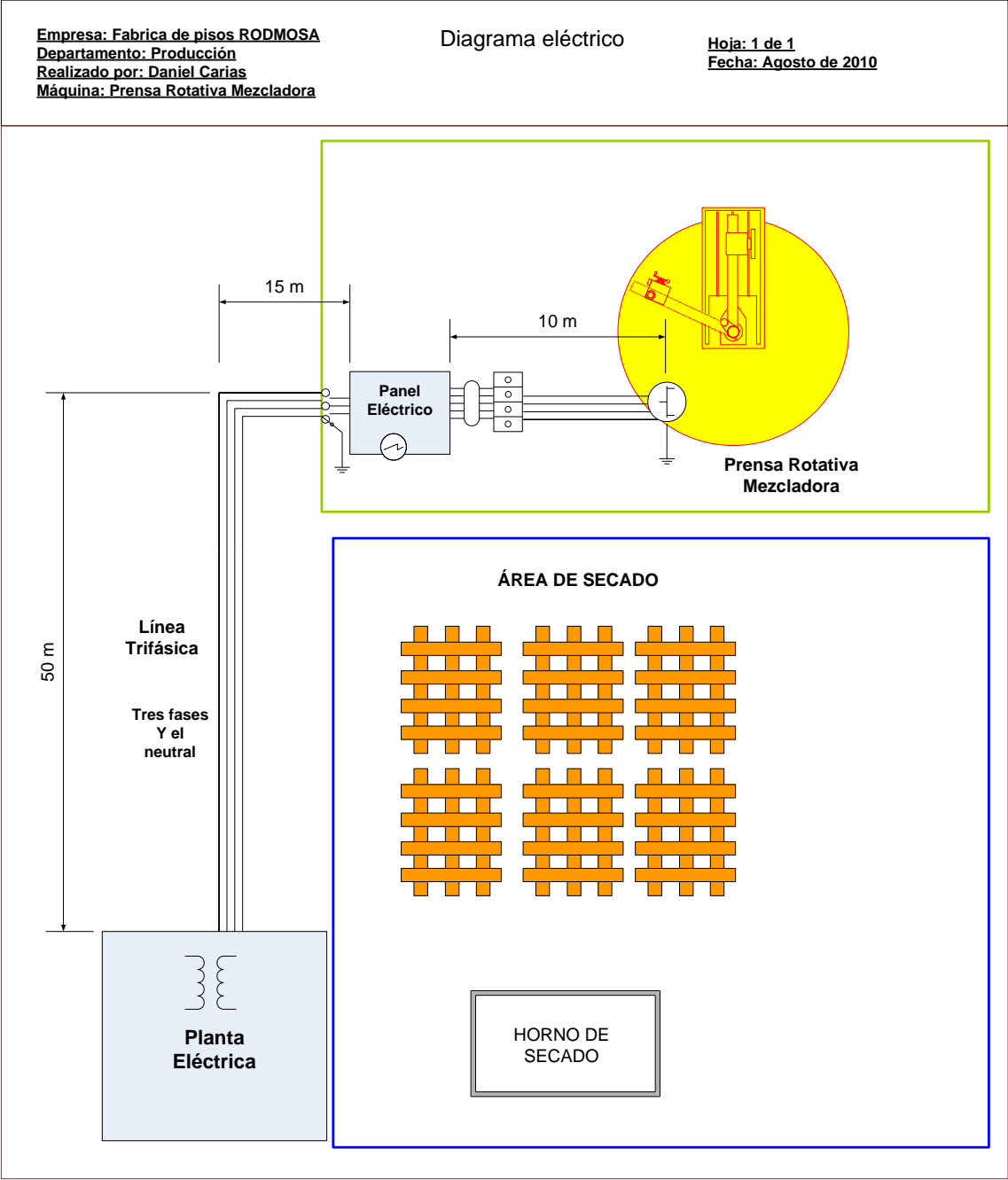
Fuente: elaboración propia

La acometida a construir está normada, por lo que deberá tener entre sus características una caja tipo socket de clase de 200 amperios, la que junto con el medidor ya instalado tendrán 1,80 m de altura. La altura de la caja RH es de 1,40 m, por lo demás tiene similares características al de una acometida residencial, variando el diámetro del tubo galvanizado. El medidor o contador a instalar por la empresa que presta el servicio posee un precinto de demanda, el cual registra el consumo mayor que la acometida tendrá.

El consumo o demanda ya está estipulado, el cual es de 29 Kw. Dicha demanda se encuentra en el rango de consumo de 20 Kw a 30 Kw. Si la demanda excede dicho rango, la empresa que presta el servicio registrará la demanda y cobrará el consumo mayor no declarado.

La otra opción es utilizar la energía que produce la planta eléctrica que se encuentra instalada dentro de la planta de producción. Dicha localización se muestra en el diagrama eléctrico que muestra la disposición de la prensa rotativa mezcladora. A dicho diagrama se le adjunta el área en donde se encuentra la máquina a instalar a una cierta distancia de la planta eléctrica según muestra el diagrama.

Figura 28. Diagrama de conductores eléctricos



Fuente: elaboración propia

Dadas la distancia entre la planta de generación y el panel eléctrico se procede a realizar el cálculo del calibre que el cable interno debe tener para conducir la corriente que demanda la prensa rotativa mezcladora.

- Circuitos que alimentan un grupo de motores.

Existen dos situaciones a considerar cuando se trata de grupos de motores:

- Que los motores operen en forma continua;
- Que uno o más de ellos lo haga en forma intermitente.

Cuando se trata de un grupo de motores de régimen permanente (operación continua), la ampacidad, -que es la capacidad de conducir corriente eléctrica- de los conductores que alimentan el grupo debe ser como mínimo igual a la suma de las corrientes nominales de los motores más un 25% de la corriente nominal del motor de mayor potencia perteneciente al grupo.

En el caso de que uno o más de los motores del grupo tenga un ciclo de trabajo intermitente o corto, la ampacidad de los conductores se calcula de la siguiente manera:

- Se suman las corrientes de plena carga de los motores que operan en régimen no permanente, corregidas por los factores de la tabla correspondiente (régimen intermitente).
- Se suman las corrientes de plena carga de los motores que operan en régimen permanente.

- Se suma 0,25 de la corriente de plena carga del motor de mayor potencia, corregida por el factor de la tabla de motores de operación intermitente, si el motor trabaja en dicho régimen.

La suma de las corrientes obtenidas en los puntos del 1 al 3 define la capacidad de transporte de los conductores que alimentan el grupo.

Figura 29. **Tabla de norma eléctrica sobre operación de motores**

Servicio	5 minutos de operación	Tiempo de operación 15 minutos de operación	Entre 30 y 60 minutos de operación	Más de 60 minutos de operación
Período corto	1,1	1,2	1,5	Na
Intermitente	0,85	0,85	0,9	1,4
Periódico	0,85	0,9	0,95	1,4
Variable	1,1	1,2	1,5	2

Fuente: Norma NCH 4/2000

A continuación se tienen los siguientes datos los cuales se utilizan para que la prensa rotativa mezcladora inicie sus operaciones:

Longitud de la línea = 65 m

Voltaje de pérdida =  $0,015 \cdot 480$

Los datos de la potencia de los motores son los siguientes:

- 15 Hp      11,19 Kw
- 6 Hp        4,48 Kw
- 3 Hp        2,24 Kw
- 3 Hp        2,24 Kw



El cálculo de la corriente de cada motor se realiza por medio de la siguiente fórmula:

$$I = \frac{(580) (\text{Potencia del motor})}{\text{Voltaje} * \text{Factor de potencia}}$$

$$I_1 = \frac{(580) (11,19 \text{ Kw})}{480 * 0,85} = 15,91 \text{ Amperios}$$

$$I_2 = \frac{(580) (4,48 \text{ Kw})}{480 * 0,85} = 6,37 \text{ Amperios}$$

$$I_3 = \frac{(580) (2,24 \text{ Kw})}{480 * 0,85} = 3,18 \text{ Amperios}$$

$$I_4 = \frac{(580) (2,24 \text{ Kw})}{480 * 0,85} = 3,18 \text{ Amperios}$$

Tomando en cuenta el funcionamiento de los motores, así como la disposición y la operación realizada por cada uno dentro del proceso de fabricación de piso, se utilizarán los factores de la tabla anterior para el cálculo de la ampacidad de la siguiente forma:

- Se estima los factores para los motores de régimen permanente. Régimen permanente es aquel en el que el motor funciona por más de 60 minutos. Debido a esto se realiza el cálculo para el motor número 2 de la siguiente forma:

$$I_2 = 6,37 * 2 = 12,74 \text{ Amperios}$$

- Un régimen de operación entre 30 y 60 está clasificado como no permanente, debido a esto se realiza el cálculo con base en la tabla anterior para el motor número 3 de la siguiente forma:

$$I_3 = 2,24 * 1,50 = 3,36 \text{ Amperios}$$

- Seguidamente se multiplica 0,25, factor definido en normas, por el motor de mayor potencia y se obtiene:

$$I_1 = \frac{(580) (11,19 \text{ Kw})}{480 * 0,85} * 0,25 = 3,975 \text{ Amperios}$$

- Sumando los regímenes permanentes se tiene:

$$\Rightarrow I_2 + I_4 + I_1 = 12,74 + 3,18 + 15,91 = 31,83 \text{ Amperios}$$

- Se calcula la ampacidad total de la siguiente forma:

$$\Rightarrow \text{La capacidad total} = 31,83 + 3,36 + 5(\text{accesorios y módulos}) = 40,19 \text{ Amperios}$$

- Se determina la resistividad del conductor de cobre a instalar mediante la siguiente expresión:

$$r = \frac{0,0179 \Omega * \text{mm}^2}{\text{m}}$$

- Finalmente se calcula el área del conductor a instalar:

$$S = \frac{(\sqrt{3})(0,0179 \Omega * \text{mm}^2 / \text{m})(65)(0,85)(40,19 \text{ A})}{7,2 \text{ V}} = 9,56 \text{ mm}^2$$

Figura 30. **Tabla de norma eléctrica para el cálculo del calibre del conductor**

INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA CONDUCTORES AISLADOS SECCIONES AWG, TEMPERATURA AMBIENTE 30°C				
Nominal mm <sup>2</sup>	AWG	Temperatura de servicio		
		60°C Tipos TW, UF	75°C Tipos THW, THWN, TTU, TTMU, PT, PW	90°C Tipos THHN, XTU, XTMU, EVA, USE-RHH, USE-RHHM, ET, EN
2,08	14	20	20	25
3,31	12	25	25	30
5,26	10	30	35	40
8,37		40	50	55
13,3	6	55	65	70
21,15	4	70	85	95
26,67	3	85	100	110
33,62	2	95	115	130
42,41	1	110	130	150
53,49	1/0	125	150	170
67,42	2/0	145	175	195
85,01	3/0	165	200	225
107,2	4/0	195	230	260
127	250MCM	215	255	290
152	300MCM	240	285	320
177,3	350MCM	250	310	350
202,7	400MCM	280	355	380
253,4	500MCM	320	380	430
304	600MCM	355	420	475
354,7	700MCM	385	460	520
380	750MCM	400	475	535
405,4	800MCM	410	490	555
456	900MCM	435	520	585
506,7	1000MCM	455	545	615
633,4	1250MCM	495	590	665
750,1	1500MCM	520	625	705
886,7	1750MCM	545	650	735
1013	2000MCM	560	665	750

Fuente: Norma NCH 4/2000.

Por medio de la tabla anterior se puede determinar el calibre del conductor, lo que se realiza de la siguiente forma: se elige con base en la asignación la primera columna que es la que determina el valor nominal del área superior al dato calculado, que en este caso es de 9,56 mm<sup>2</sup>. Dado que el dato superior en la tabla 13,3 mm<sup>2</sup>, se elige el calibre número 6 AWG.

Por lo tanto se deberá instalar en un tramo de sesenta y cinco metros con canaleta de metal los conductores de cobre de calibre 6 AWG tres fases y el neutral que provendrán del área de generación que está en donde se localiza la planta eléctrica.

#### **4.4. Distribución de las máquinas auxiliares**

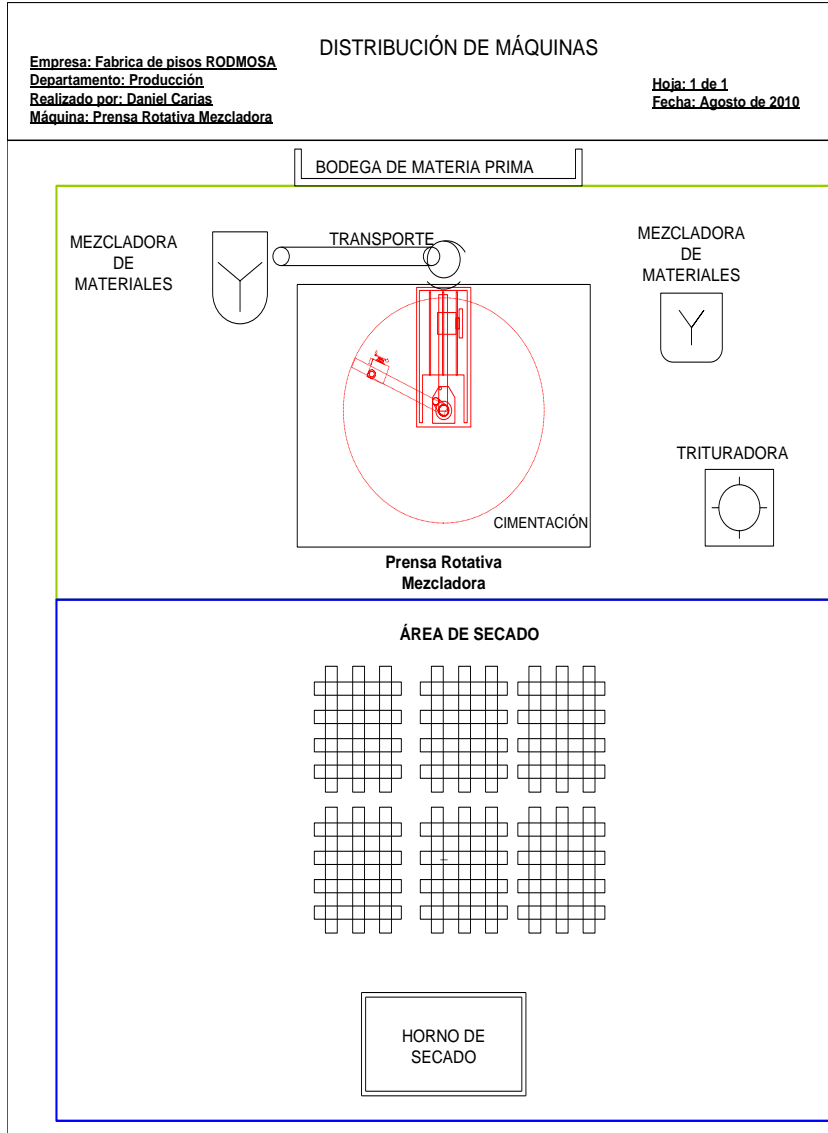
Las máquinas auxiliares son las que se utilizan en el proceso de mezclado de materiales antes de iniciar el proceso de vibrado y prensado. Dichas máquinas consisten en dos tipos: una utilizada para la mezcla húmeda y la otra para la mezcla seca. Se prevé utilizar ambas máquinas para disminuir el tiempo de operación de la prensa rotativa y serán instaladas cerca del área de la nueva cimentación de la prensa rotativa.

El área a ocupar por ambas máquinas se encuentra cercana al área designada para la materia prima, en una zona de la planta de producción que no ha sido utilizada.

Las máquinas mezcladoras servirán como auxiliares ya que la prensa rotativa posee un dispositivo propio que realiza la mezcla de materiales. Para obtener un menor tiempo de respuesta se instalarán las mezcladoras cerca de la tolva de llenado.

El mezclado de materiales por las máquinas auxiliares se debe hacer con antelación ya que esta operación antecede al proceso realizado por la prensa rotativa.

Figura 31. Diagrama de distribución de las máquinas



Fuente: elaboración propia

Las máquinas auxiliares así como las mezcladoras estarán muy próximas a la trituradora de materiales y al área de materia prima que se ha dispuesto con antelación en el diagrama de recorrido. La operación de las máquinas se lleva a cabo por un operario antes del inicio del trabajo de la prensa rotativa.

Entre las máquinas auxiliares que se ubicarán en los linderos del área ya demarcada, se encuentra la trituradora la cual es independiente del proceso de producción, dado que se utiliza una vez por cada lote de materia prima. Cada uno de dichos lotes es grande y con el proceso utilizado se tiene para producir durante un mes.

Entre otra de las máquinas auxiliares utilizadas está la pulidora, la cual se ubica en el proceso nuevo en el mismo lugar que ocupa en el proceso antiguo, ya que dicha máquina por su robustez necesita un espacio amplio para ser operada, es decir, cerca de la toma de energía eléctrica.

Dicha máquina queda en línea con el proceso a realizar ya que el área de secado quedará al costado del área ocupada por la máquina, esto influye en tener un proceso en el cual cada estación estará balanceada debido a la reducción de tiempo obtenido por la implementación de la operación de fabricación de piezas en un menor tiempo y en una mayor cantidad.

Figura 32. **Pulidora de piezas de piso en la planta de producción**



Fuente: elaboración propia

#### **4.5. Diseño del plan de seguridad industrial para los empleados**

Un plan de seguridad industrial está conformado por distintos aspectos los cuales deben cumplirse a fin de obtener resultados satisfactorios. Se considera realizar dentro del plan de seguridad industrial un análisis basado en el tipo de proceso existente en la planta de producción y en los riesgos existentes que afectan directamente a la salud del trabajador.

Dentro de los aspectos importantes a considerar para desarrollar el plan de seguridad industrial se tienen:

- Priorización de problemas

La planificación engloba la documentación para eliminar y reducir riesgos. Las actividades para el control de riesgos se consideran como control periódico de las condiciones de trabajo de los empleados y de su estado de salud.

Planificar frente a sucesos previsibles (situaciones de emergencia y de primeros auxilios). Dentro de un plan de seguridad la auditoría cierra el ciclo que permite la evaluación del cumplimiento de la planificación. Se deberá tener evidencia de la existencia de registros de accidentes mediante especificaciones e instrucciones.

La política preventiva debe ser congruente con la política de la empresa para alcanzar objetivos estratégicos que contribuyan con la prevención de riesgos, enlazada con la mejora continua de las condiciones de trabajo.



Figura 33. **Mantenimiento de la mezcladora en la bodega de materiales**



Fuente: elaboración propia

- **Formulación de objetivos**

Entre los objetivos sobre seguridad industrial que la empresa debe tener especialmente en la planta de producción, se pueden mencionar los siguientes:

- Trabajar con seguridad a un bajo costo;
- Eliminar los riesgos que producen accidentes;
- Identificar los actos inseguros;
- Brindar equipo de protección personal.

- Elaboración de políticas y estrategias

Las políticas que la planta de producción implementará basada en el dictamen del equipo administrativo son:

- Toda persona que labora dentro de la planta de producción deberá utilizar equipo de protección personal, como casco, lentes de protección, guantes y mascarilla para polvos.
- Las personas que visiten la planta de producción cuando esté en funcionamiento deberán usar equipos de protección personal.
- Se deberá señalar el área de tránsito del montacargas cuando el mismo esté en funcionamiento.
- Evitar el contacto de personal no capacitado en áreas de alta tensión.

Las estrategias a utilizar en la planta de producción son:

- En el momento en el que inicia la producción, el jefe de planta debe estar presente o tener un delegado, quien verifica que cada persona involucrada directa e indirectamente en el proceso utilice su equipo de protección personal.
- El jefe de planta debe verificar la correcta manipulación de la prensa rotativa mezcladora OPA 650, para lo cual, él mismo debe capacitar a los operarios necesarios según la conveniencia del proceso.

- Se debe capacitar a todo el personal de planta para sofocar incendios que se pueden presentar en el área de la planta eléctrica, así como en donde se almacena diesel.
- Equipar las instalaciones con extinguidores tipo ABC ya que se manipulan distintos materiales, así como fluidos inflamables, además de los riesgos eléctricos debido a la potencia a instalar.
- El jefe de planta debe mantener el manejo y el orden de los materiales y del producto terminado con el fin de no obstaculizar las vías de emergencia ó el flujo del proceso, lo cual podría causar accidentes.
- Capacitar sobre el manejo de cargas, ya que el personal está sometido constantemente al transporte y manejo de las mismas. Establecer un peso estándar de levantamiento el cual por lo general no debe exceder los 10 kg cuando el mismo tenga que sobrepasar la altura de los hombros del operario.
- El jefe de planta debe disponer de un área para almacenar un botiquín de primeros auxilios, el cual debe poseer medicamentos para atender traumas, quemaduras, desinfección y cortaduras. Lo anterior se incluye debido a que el proceso de producción tiene riesgos que son impredecibles, que pueden generar accidentes que tienen raíces en operaciones mecánicas y eléctricas.

- Se debe realizar un estudio de ergonomía en las áreas que ocupan los operarios cuando los mismos manipulan la maquinaria existente dentro de la planta de producción, para evitar lesiones y accidentes, derivado de una mal dimensionamiento del área de trabajo.
- Elaboración de controles

Uno de los controles de seguridad industrial se puede realizar en un cronograma mensual el cual será revisado periódicamente por el jefe de planta. Este control incluye la evaluación del estado del equipo de protección personal, dentro del cual el que sufre un mayor deterioro es la mascarilla para polvos y los lentes para protección contra la proyección de partículas. De dicha evaluación dependerá la decisión de cambiarlos cada fin de mes.

En forma semestral se verifica el estado de los extinguidores, así como los protectores que la maquinaria posee para imposibilitar el acceso de las extremidades del cuerpo humano. Lo anterior evita el atrapamiento entre las partes móviles.

Mensualmente se verifica el estado de la maquinaria con la finalidad de evaluar la posibilidad de instalar resguardos que eviten riesgos inminentes de accidentes por atrapamientos, por contactos eléctricos en mal estado ó proyecciones de material.

Cada puesto dentro de la planta de producción debe poseer resguardos físicos que garanticen la seguridad del operario, así como señalización apropiada la cual debe cumplir con atraer la atención e interpretar el verdadero riesgo. Implica saber qué hacer en caso de un accidente en cada puesto de trabajo dentro de la planta de producción.

- Definir actividades

Las actividades de seguridad industrial involucran a toda persona que se encuentre ligada directa e indirectamente en el proceso de producción, es decir que desde los operarios que manipulan las máquinas hasta quien transporta el producto debe estar consiente de asumir la responsabilidad de su propia seguridad.

Específicamente el encargado de la ejecución del plan de seguridad industrial es el jefe de planta quien revisa periódicamente que el plan se ejecute; la revisión del plan se debe realizar con base en un control, el cual debe tener registros de los riesgos eliminados por la aplicación del plan de seguridad.

Entre otras actividades el jefe de planta realiza la actualización de estudios ergonómicos, la formación de brigadas de evacuación, la actualización de señalización de peligros, y el seguimiento de las inspecciones. La administración provee del equipo necesario al personal nuevo que se incorpora al proceso de producción.

La actividad principal de los operarios cuando trabajan en una línea de producción es cuidar de su seguridad, en este caso todo operario dentro de la planta de producción como primer medida debe utilizar equipo de protección individual. Dicho equipo tiene como misión proteger a la persona de un riesgo específico asociado a su ocupación laboral.

Entre los riesgos detectados dentro de la línea de producción están los del área de pulido por la proyección de objetos ó partículas, el área de almacenamiento por la altura de las piezas de piso y su posibilidad de caída, el área de prensado y vibrado por la cantidad de polvo y partículas. En dichos casos la protección individual a utilizar consta de casco, lentes, mascarilla para polvos y guantes industriales.

Otra actividad importante que los operarios deben realizar dentro de la línea de producción es verificar y mantener informado al jefe de planta sobre el estado de la maquinaria, sobre los riesgos puntuales que puedan provocar accidentes y sobre el funcionamiento correcto de la maquinaria.

Evitar en todo lo posible los actos inseguros, por ejemplo la incorrecta manipulación de la maquinaria, o bien, retirar material cuando no se debe hacer sino hasta que la máquina termine su ciclo. Dichos actos inseguros están en contra de las normas reglamentadas por el jefe de planta en la capacitación impartida a los empleados en relación con el funcionamiento de la maquinaria.

- Evaluación del avance del programa

Para realizar la evaluación se debe conocer los objetivos propuestos para determinar si se ha logrado cumplir con los mismos. Una planificación del programa de seguridad debe contener los objetivos a alcanzar con lo cual se pretende mejorar una condición actual en cuanto a seguridad industrial se refiere. Mediante la evaluación se determina si se han alcanzado estos objetivos.

El programa de seguridad industrial será evaluado constantemente. Dicha evaluación se realiza con base en el número de riesgos detectados y definidos, así como en la cabalidad en el cumplimiento de la utilización del equipo de protección personal.

En la evaluación se debe dar evidencia de registro de la documentación utilizada para realizar capacitaciones, registro de accidentes, incidentes, materiales utilizados como resguardos, revisiones a instalaciones y maquinaria.

Se debe realizar un registro en forma de archivo de los accidentes, incidentes y enfermedades ocupacionales surgidos durante un periodo estipulado por él. Dicho archivo servirá de comparación para poder determinar si la planificación realizada para la seguridad industrial ha cumplido con los objetivos de minimización de los accidentes basada en la atención a riesgos y actos inseguros humanos.

#### **4.5.1. Capacitación de los operarios**

La capacitación a los operarios se basa en el tipo de proceso así como de las operaciones que cada operario realiza con la maquinaria. Se lleva a cabo por el jefe de planta quien es el que revisa el manual del fabricante y transmitirá las indicaciones estipuladas.

Básicamente la operación de la maquinaria es mostrada a los operarios en función del tipo de pieza de piso necesaria, en especial cuando se trata de una máquina nueva como la prensa rotativa mezcladora. En esta máquina, las operaciones se realizan por medio del mando eléctrico el cual posee funciones que se habilitan cuando se accionan distintos interruptores.

Dentro de las indicaciones que se debe girar a los operarios de la máquina rotativa mezcladora están:

Notas relativas a diversas señales o mandos en la prensa rotativa mezcladora OPA-650

- Para cortar la corriente, presionar el pulsador rojo colocado en el sinóptico del cuadro de mandos que indica tensión, y verificar que la lámpara del centro se apaga.
- Para cortar la corriente en la central hidráulica, presionar el pulsador rojo colocado en el sinóptico del cuadro de mandos que indica la tensión y verificar que la lámpara del centro esté apagada.
- La parada de emergencia, solo debe usarse en caso de extrema necesidad, ya que su accionamiento implica la apertura del interruptor general, y por lo tanto para poder volver a trabajar, es necesario rearmarlo de nuevo.
- El giro de la mesa solamente se produce si el pistón está subido, cerrado y si la pala de desmolde está completamente atrás.

Estas y otras directrices se deben indicar a los operarios de la máquina prensa rotativa mezcladora, para su correcto uso, así como los actos seguros que se pueden llevar a cabo para poder detener la maquinaria cuando sea necesario.



Así mismo la capacitación a los operarios no se basará únicamente en la operación correcta de la máquina nueva y en la seguridad industrial, sino que se tiene que enfocar en la producción eficiente del producto involucrando los dos aspectos anteriores.

En lo que se refiere a la producción eficiente se debe involucrar al jefe de planta ya que él es quien tiene el conocimiento acerca del manejo de gráficas de control de calidad y su interpretación.

Al operario se le debe mostrar el contenido de calidad de las gráficas de control en comparación con el lote de productos inspeccionado, en donde se integra el manejo adecuado de materiales, la correcta utilización de herramientas auxiliares y la adecuada disposición del área de trabajo por operario. El personal operario que se encuentra en la planta de producción se capacitará en función del conocimiento del proceso.

Cuando se reclute personal nuevo para la planta de producción con el fin de ampliar su capacidad de producción, debe estar atento a que llene los requisitos impuestos en la hoja de perfil del operario.

Ya reclutado el operario, se debe brindarle el perfil del puesto para el que fue contratado mostrándole como se realiza el trabajo en el puesto designado para él, así como inducirlo en las normas de seguridad cuando manipula herramientas o maquinaria dentro del proceso. Finalizando la capacitación, instruyéndolo sobre el control de calidad que el proceso tiene: las características de calidad del proceso, las operaciones defectuosas, y los materiales y materia prima en mal estado o de baja calidad.

El método o forma de producir involucra directamente al operario con su nivel de desempeño, el cual es reflejo de la capacitación recibida al inicio de la vinculación del operario con la planta de producción tanto en el proceso como en la operación.

La seguridad industrial es otro de los ámbitos en donde se tiene que involucrar directamente al operario con su medio circundante de trabajo; la capacitación en esta área puede consistir en la inducción sobre el manejo y prevención de accidentes, además de la inducción sobre el tipo de señalización y su significado en la maquinaria a utilizar. Otro factor importante dentro de la seguridad industrial es la identificación de riesgos, lo cual se logra con una capacitación acorde con el área en donde se esté laborando. Específicamente podría enfatizarse en el riesgo de atrapamiento de extremidades en el mecanismo de rotación de la prensa rotativa.

Identificado el riesgo se realizan acciones preventivas para evitar un accidente o incidente. Este análisis con sus respectivas premisas es parte de una capacitación sencilla y efectiva que aplica a operarios directamente involucrados en el proceso. Parte de la capacitación en seguridad industrial incluye el manejo adecuado de extinguidores, el estado emocional del afectado y los primeros auxilios.

Para finalizar con una capacitación adecuada al operario, se debe realizar un adiestramiento efectivo acerca de la manipulación de la maquinaria nueva y la forma de detenerla intempestivamente ante cualquier percance, entre otros. Se debe también mostrarle técnicas que ayuden a obtener un adecuado producto como resultado de dicha operación.

#### **4.5.2. Inicio de la producción**

El proceso de producción inicia con una planificación, que debe contener una programación de actividades con sus respectivos recursos. Entre los recursos que se tienen que planificar para producir una determinada cantidad de productos son: el tiempo disponible para realizar la entrega, el tiempo real de producción, la cantidad de materia prima necesaria, el costo de mano de obra y el costo de almacenaje, entre otros.

Para involucrar adecuadamente el manejo de recursos se incluye una matriz de asignación la cual contempla los anteriores recursos, haciendo variar características tales como el costo de la mano de obra, en cuyo caso se incluye las horas normales y horas extras, tal como se pagan en el medio.

El análisis que se incluye en la programación de la producción se realiza de manera general ya que el programa dependerá de la cantidad de piezas a producir, el tiempo disponible real, el costo de producir con base en la mano de obra y el almacenaje. Estos recursos son los que se desperdician, al no planificar adecuadamente la producción.

La planificación de la producción se realiza según el tipo de demanda que tenga el producto que se elabora, ya que si éste es producido todo el tiempo por la planta de producción y lo único que cambia cada mes es la cantidad, se concluye que se está bajo un régimen de producción continua. Si el producto se fabrica únicamente cuando el departamento de ventas lo solicita, se tiene una producción intermitente.

Se puede llegar a generar una variante entre los tipos de producción continua e intermitente llamado producción mixta, la cual puede integrar ambos tipos de producciones, como es el caso de la planta de producción, en donde se produce para mantener un inventario del producto con relación a un pronóstico de ventas, y para satisfacer pedidos de los clientes.

El tipo de producción intermitente es de mayor importancia para la empresa ya que la producción para inventario en cierta medida puede esperar, así mismo esta producción está controlada con un programa elaborado por el jefe de planta.

La producción intermitente o producción por lotes es aquella producción que se fabrica bajo pedido ó por venta específica. Para ésta no se realiza ningún pronóstico de ventas sino que se realiza mediante ventas reales efectuadas por el departamento de ventas. Dichas ventas quedan registradas con especificaciones técnicas, para que el departamento de producción fabrique lo que el cliente desea, esto se clarifica cuando un cliente de la empresa desea un tipo de piso de granito con diferente color.

El modelo de producción intermitente se efectúa a través de las siguientes etapas: venta real, plan de trabajo, producción final y generación de órdenes de trabajo. La empresa ya tiene establecida sus políticas de ventas, entre otros procedimientos, el procedimiento a integrar es el registro de ventas formalmente el cual se debe realizar en un formato en el cual contenga las características de mayor relevancia del producto, como tamaño, color entre otros. Este registro debe estar al alcance del departamento de producción, específicamente del jefe de planta.

- Programa de trabajo

Una vez realizada la venta real, el jefe de planta puede iniciar la planificación de las labores de producción, la que consiste en cargar las máquinas que integran el proceso. En este procedimiento se debe balancear adecuadamente el tiempo disponible por máquina. El programa de trabajo se inicia con el registro de especificaciones del producto a producir, realizado por el departamento de ventas conjuntamente aprobado por el cliente.

Se realiza una previa planificación con los planes de trabajo para las diferentes máquinas, en cuyo caso se debe determinar la operación más lenta dentro del proceso para establecer el cuello de botella, el cual se prevé sea la operación de secado de piezas de piso. Dado que el proceso de producción es en línea, se realiza el anterior procedimiento, obteniendo con esto un balance de líneas.

La programación normal se ejecutaría si dentro del proceso no existiera una demora sustancial en una operación, ya que durante la fabricación unitaria del piso en la operación de mezclado, prensado y vibrado el tiempo oscila entre 30 y 60 segundos, en contraposición al secado que puede durar más de 24 horas.

Este tiempo se reducirá cuando el jefe de planta lleve a cabo la instalación de un horno de fraguado, con lo que la operación tendrá una duración promedio de 2 a 3 horas.

Realizando un balance de líneas para determinada cantidad de producto con ciertas especificaciones, el jefe de planta puede obtener el tiempo aproximado que le llevará concluir con el trabajo. Este procedimiento no le toma más de 3 horas ya que por cálculos anteriores determina el tiempo estándar de producción y la eficiencia de su proceso. Realizada esta actividad el departamento de ventas conjuntamente con el jefe de planta llegan a un acuerdo con el cliente sobre el tiempo de entrega del producto.

Conocido el ritmo de producción del proceso se puede proceder a las asignaciones de tiempo de producción por día, dado que este ritmo ya tiene integrado el balance de líneas, balance que puede ser realizado por el jefe de planta con la eficiencia calculada de la productividad a alcanzar. Las fórmulas para el cálculo del ritmo de línea de producción son las siguientes:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum \text{Tiempo estándar por operación}}{\sum \text{Tiempo permitido por operación}} * 100$$

La sumatoria del tiempo estándar por operación puede llevarse a cabo calculando dicho tiempo como se realizó en la operación de prensado y vibrado con el proceso a cambiar, en la sección medición de trabajo tiempo estándar anteriormente presentado. Dicho proceso cambiará con base en la utilización de la prensa rotativa mezcladora.

$$\text{Tasa de producción} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Tiempo disponible} * 60}$$

La tasa de producción delimita la razón entre el número de unidades del producto y un tiempo determinado, esto puede ser 2 piezas de piso por minuto, lo cual depende de variables como la demanda que tenga el producto y el tiempo disponible de trabajo en horas. El factor 60 convierte dicho tiempo en minutos.

$$\text{Número total de operarios} = \frac{\text{Tasa de producción} * \Sigma \text{Tiempo estándar}}{\text{Eficiencia}}$$

El número de operarios necesarios se puede calcular por operación, o integrando todas las operaciones del proceso, siendo las variables de cálculo la tasa de producción necesaria para cumplir con el lote de productos, el tiempo estándar del proceso u operación y la eficiencia del mismo. Esta fórmula es soporte para que el jefe de planta realice el cálculo de la cantidad necesarias de personas dentro del proceso.

$$\text{Ritmo de línea} = \frac{\text{Número de operarios de la estación más lenta} * 60}{\text{Tiempo estándar de la estación más lenta}}$$

El ritmo de línea posee como variables para su cálculo el número de operarios que se encuentran en la estación más lenta, que en este caso, se refiere a los operarios que se encuentran en el área de fraguado de piezas de piso, por la constante 60 que convierte los minutos del tiempo estándar de la estación más lenta a horas. En este cálculo se obtiene el número de piezas de piso por hora en la línea de producción.

Las fórmulas anteriormente definidas no se pueden realizar como ejemplo general ya que cada una depende del tipo de producto así como de la cantidad y las exigencias del cliente. Son una base en la que el jefe de planta se puede apoyar para obtener un cálculo de respuesta en tiempo al lote de productos solicitado.

El cálculo para determinar el inicio de la producción no termina cuando se determina el tiempo de producción de cierta cantidad de productos, ya que parte fundamental del proceso es obtener un producto económicamente rentable, lo que obliga al departamento de producción a optimizar los recursos anteriormente definidos.

Los recursos necesarios se deben optimizar utilizando una matriz de asignación la cual determina la obtención de una producción mas económica. Uno de los recursos importantes es el costo de mano de obra el cual en el país se regula por el código de trabajo del año vigente. En dicho código se estipula que a cada operario se le pagará un sueldo igual o por arriba del mínimo en un horario normal de trabajo de 8 horas, lo cual es conveniente para la empresa. Fuera de esas 8 horas la empresa debe pagar el valor de una hora de trabajo multiplicado por un factor de 1,5.

En el medio nacional todas las empresas dentro de sus labores productivas deben considerar las prestaciones laborales a las que están obligadas a dar al trabajador en sus distintas fechas a lo largo del año laboral, dichas prestaciones ascienden aproximadamente a un 30% del sueldo ordinario, por lo que el costo final de una hora laboral normal ordinaria de un operario es la hora normal pagada por un factor de 1,3.



Por ejemplo si al operario de la pulidora se le paga Q 75,00 diarios el total de esto sería:

$$\Rightarrow \text{Sueldo normal} = Q 75,00 * 1,3 = Q 97,50$$

Si se tiene necesidad de utilizar horas extras el costo de la mano de obra por operario sería de:

$$\Rightarrow \text{Sueldo extraordinario} = Q 97,50 * 1,5 = Q 146,25$$

El costo de almacenaje de un metro cuadrado de productos se obtiene de la multiplicación de la tasa de producción por hora en metros cuadrados por el costo unitario de almacenaje de un metro cuadrado. Esto aproximadamente es de Q 0,113 por hora. Si lo anterior se suma al costo total de producción, se tiene los siguientes costos:

$$\rightarrow \frac{370 \text{ metros cuadrados}}{8 \text{ horas}} = 46,25 \text{ metros cuadrados/hora}$$

$$\rightarrow \left( \frac{46,25 \text{ metros cuadrados}}{\text{hora}} \right) * (Q 0,113) + Q97,50 = Q 102,75$$

$$\rightarrow \left( \frac{46,25 \text{ metros cuadrados}}{\text{hora}} \right) * (Q 0,113) + Q146,25 = Q 151,50$$

$$\Rightarrow \text{Costo total normal} = Q 102,75$$

$$\Rightarrow \text{Costo total extraordinario} = Q 151,50$$

Estos costos se puntualizan en una matriz de asignación conjuntamente con el tiempo normal y extraordinario disponible en el mes o período de producción, así como el requerido para cumplir el lote de productos.

La configuración de la matriz de asignación es la siguiente:

Tabla XVII. **Tabla de matriz de asignación de recursos para planificación de la producción**

		MATRIZ DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS			
		TIEMPO DISPONIBLE			
		ENERO		FEBRERO	
		t.n	t.e	t.n	t.e
		140	20	120	5
TIEMPO REQUERIDO	ENERO	150	Q102,75	Q151,50	
			140	10	
	FEBRERO	125			120
					5
				Q102,75	Q151,50
				120	5

Fuente: elaboración propia

El costo total de producción dada por la matriz de asignación es el siguiente para dos meses fabricando cierto tipo de producto:

$$\Rightarrow \text{Costo total} = ((Q 102,75*140) + (Q 102,75*120)) + ((Q151,50*10)+(Q151,50*5)) = Q 28987,50$$

El siguiente paso después del inicio de la producción es la correcta manipulación de la maquinaria instalada en la planta de producción. El tipo de maquinaria en que los operarios intervendrán es semiautomática, ya que la prensa rotativa mezcladora posee 6 estaciones de las cuales una es de vertido de mezcla húmeda, la siguiente de vibrado, luego la estación de vertido de mezcla seca, seguida por la estación de prensado y la de dispensador. La última estación puede habilitarse para la fabricación de piso de otros tamaños.

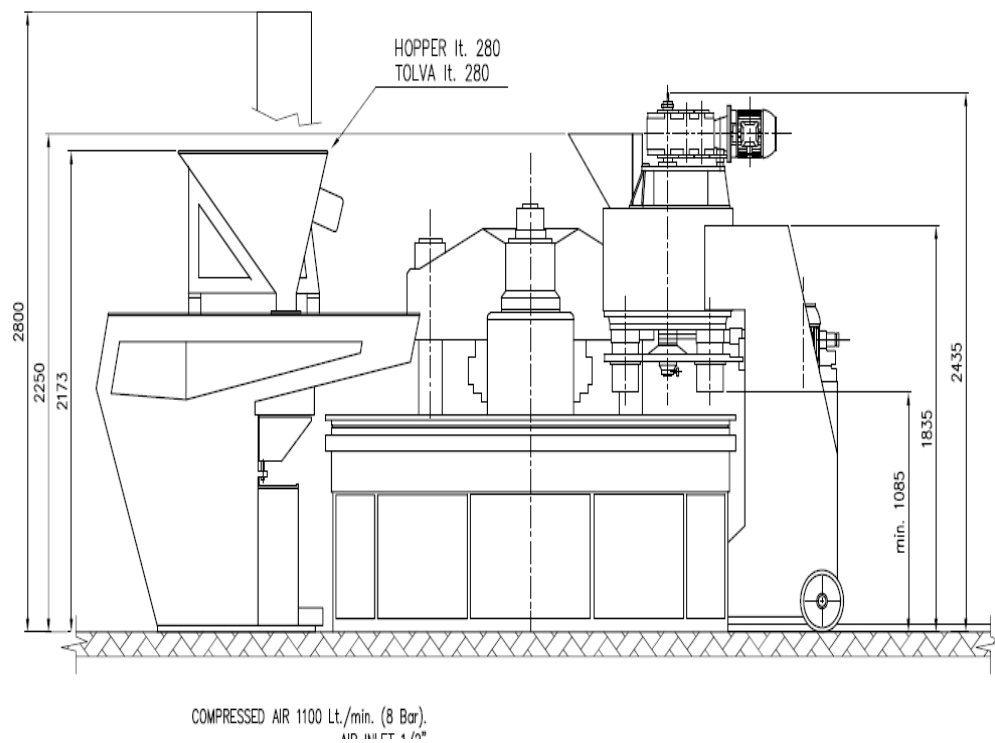
Para la puesta en marcha de la prensa rotativa mezcladora se debe realizar operaciones que permitan realizar las primeras pruebas. Una vez se hayan efectuado todos los ajustes mecánicos e hidráulicos, así como las conexiones eléctricas descritas anteriormente, se efectuarán las siguientes operaciones según el manual del fabricante:

- Poner en posición el interruptor general, colocado sobre la ventana de la central eléctrica
- Desconectar el pulsador de emergencia girándolo hacia la derecha para dejarlo inactivo
- Indicar con el selector la posición de trabajo manual ó automática

- Cuando se realiza la selección manual se ajustan los mandos eléctricos en posición de operación normal

La figura siguiente muestra una vista lateral de la prensa rotativa mezcladora la cual describe las partes fundamentales que deben conocer los operarios para ponerla a funcionar.

Figura 34. **Vista lateral de la máquina con dosificado OPA 650**



Fuente: manual de operación OPA 650, p. 6

Las operaciones anteriores se deben ejecutar para iniciar el funcionamiento de la prensa rotativa mezcladora. Cuando el operario encargado de la maquinaria está apto para la manipulación de la misma se inicia el proceso de producción.

## **5. CONTROL DE CALIDAD DE LOS PRODUCTOS Y MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LA MAQUINARIA**

### **5.1. Manual de mantenimiento predictivo de la prensa rotativa**

Un manual de mantenimiento predictivo sirve para realizar los cambios de materiales que sufren desgaste, o llegan al final de su vida útil dentro del sistema, los cuales apoyan a que el sistema y la maquinaria logren el objetivo de prestar el servicio para el que fueron diseñados. El concepto de mantenimiento se puede considerar como una serie de trabajos que hay que ejecutar en algún equipo, planta o método a fin de conservar el servicio para que el que fue diseñado. Tanto el servicio que presta la maquinaria y la propia máquina son importantes, por tal motivo hay que equilibrar las labores de mantenimiento.

Entre los factores esenciales que persigue el mantenimiento de la maquinaria son:

- Calidad económica del servicio (reducción de costo, programa ejecutado y supervisado)
- Duración adecuada del equipo
- Costos mínimos de mantenimiento

Estos factores son base para el diseño de un programa de mantenimiento el cual de manera necesaria debe ser el mantenimiento predictivo. Dicho programa de mantenimiento se realiza con base en el manual del fabricante, por lo que se debe considerar los datos específicos que el mismo proporciona, para realizar una correcta asignación de los recursos dentro del programa de mantenimiento.

- Mantenimiento predictivo contra una avería

Las averías representan un costo directo o indirecto ya que pocas veces falla uno de los elementos de una instalación sin provocar un deterioro en otra pieza relacionada, con lo que se reduce el tiempo admisible de vida del sistema. Las averías dañan los materiales en proceso, crean riesgos para el personal de producción, desajustan los programas de producción y por lo tanto aumentan los costos de producción y de operación.

Para reducir estos efectos negativos y los gastos derivados, se recurre al mantenimiento predictivo. En su forma más simple el mantenimiento predictivo podría limitarse a la lubricación periódica del equipo para evitar daños excesivos del equipo por desgaste y en el otro extremo, el mantenimiento predictivo consistirá en retirar del servicio máquinas para realizar su reconstrucción total. Estas operaciones deberán ser equilibradas, con respecto al manual del fabricante, quien es el que dictamina con que regularidad se hará el servicio correspondiente a las partes o piezas de los diferentes sistemas de la maquinaria. De lo contrario si lo anterior se realiza en forma excesiva se incurre en costos grandes.

Un manual de mantenimiento predictivo posee elementos que van desde lo general a lo específico y viceversa, ya que se debe establecer el comportamiento y los elementos que interactúan de manera general en la maquinaria instalada en la planta de producción, debido a que cada proceso posee máquinas y formas de utilización distintas.

Entre los elementos que se deben integrar cuando se realiza un programa de mantenimiento predictivo en la planta de producción están:

- Determinación del personal para el mantenimiento
- Organización para el mantenimiento predictivo
- Metodología de inspecciones
- Técnicas aplicadas al mantenimiento
- Determinación del personal para el mantenimiento

Se debe determinar en que casos el personal operativo dentro de la planta debe intervenir para realizar el mantenimiento predictivo a la maquinaria existente, ya que la complejidad entre una operación de mantenimiento y otra varían conforme la especialización requerida por el dispositivo a sustituir. El jefe de planta dentro de su programa debe considerar la posibilidad de subcontratación de empresas que den soporte para el mantenimiento especializado de la maquinaria.



Las operaciones que el personal operativo dentro de la planta de producción puede realizar son:

- Cambios de los distintos fluidos como lubricantes, refrigerantes y dispositivos móviles utilizados para proporcionar tracción y fuerza, tal es el caso del aceite hidráulico utilizado por la prensa rotativa mezcladora.
- Cambios de grasas y mezclas para el funcionamiento adecuado de las partes móviles como engranajes, cojinetes y manivelas entre otros.

Para el desmontaje de piezas importantes como bombas hidráulicas y cuerpos hidráulicos con sus respectivos filtros, se debe contratar personal especializado en el área. Esto se da como contrataciones externas quienes se responsabilizan del funcionamiento adecuado después de prestado el servicio.

- Organización para el mantenimiento predictivo

Esta técnica supone la medición de diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida del componente. El uso del mantenimiento predictivo consiste en establecer, una perspectiva histórica de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente. Esto se logra mediante la toma de lecturas por ejemplo, la vibración de un cojinete en intervalos periódicos hasta que el componente falle.

Los fabricantes de la maquinaria en el manual de servicio estipulan la vida de los componentes del equipo, esto hace que el análisis histórico sea innecesario en la mayoría de las aplicaciones, pues utilizando el manual del fabricante se puede realizar el mantenimiento respectivo de las partes determinadas por el fabricante.

Una vez determinada la factibilidad y conveniencia de realizar un mantenimiento predictivo a la prensa rotativa mezcladora, el paso siguiente es determinar la o las variables físicas a controlar que sean indicativas de la condición de la máquina. El objetivo de esta parte es revisar en forma detallada las técnicas comúnmente usadas en el monitoreo según la condición de la máquina o sus piezas, de manera que sirvan de guía para su selección general.

La finalidad del control es obtener una indicación de la condición mecánica o estado de la máquina, de tal forma que pueda ser operada y mantenida con seguridad y economía. El control es soporte de la medición de una variable física que se considera representativa de la condición de la máquina y su comparación con valores que indican si la máquina está en buen o en mal estado. Con la actual automatización de estas técnicas, se ha extendido la acepción de la palabra monitoreo también a la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos.

Es importante mantener una base de datos fidedigna de las inspecciones realizadas, así como los cambios de partes realizados al concluir su vida útil, o si en dado caso, que en el mantenimiento predictivo se haya detectado una anomalía en el funcionamiento de alguna pieza.

De acuerdo con los objetivos que se pretende alcanzar con un programa de inspecciones sobre la condición de una máquina, debe distinguirse entre vigilancia, protección, diagnóstico y pronóstico.

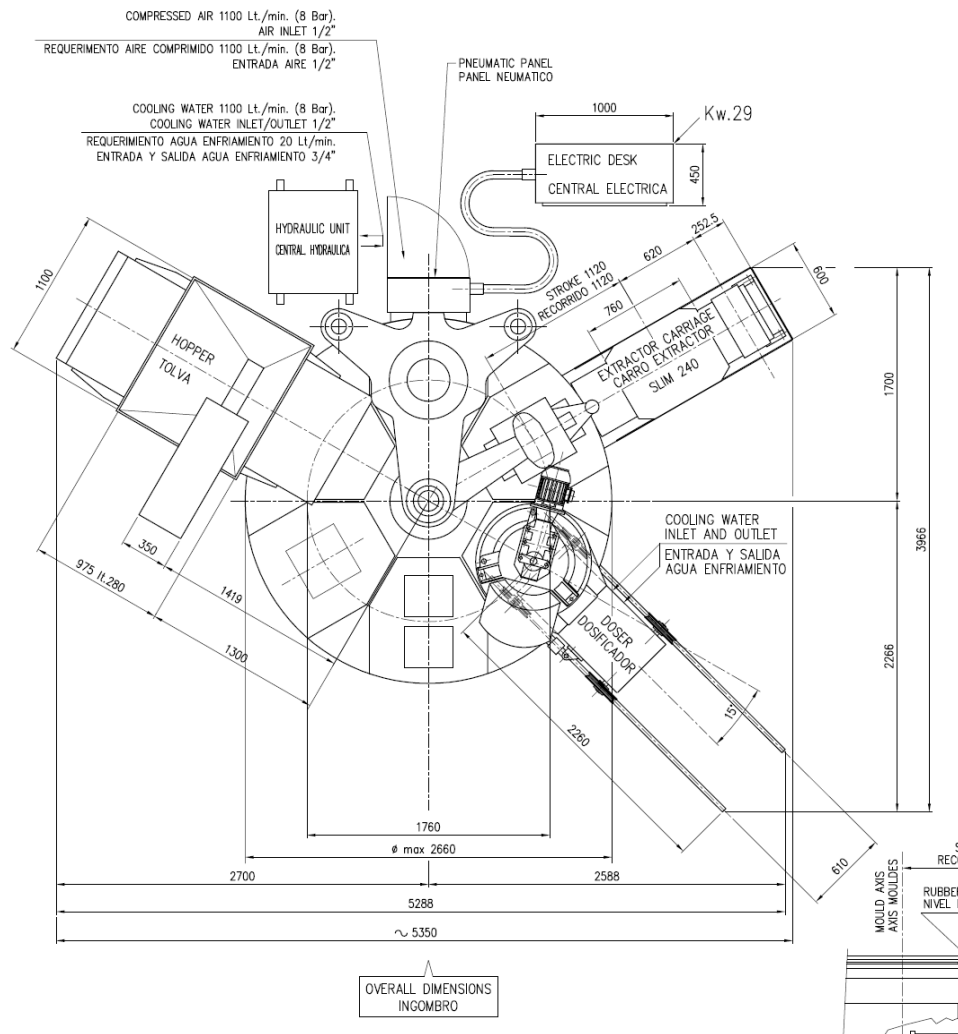
- Vigilancia de máquinas.

Su objetivo es indicar cuándo existe un problema. El jefe de planta y los operarios deben distinguir entre condición buena y mala, y si es mala indicar cuán mala es, la vigilancia abarca los siguientes aspectos.

- Protección de máquinas: su objetivo es evitar fallas catastróficas. Una máquina está protegida, cuando los valores que indican su condición llegan a valores considerados peligrosos, la máquina se detiene automáticamente. En los operarios deben determinar con seguridad en que momento la máquina opera cerca de los límites de inseguridad, esto es, que la máquina sea proclive al fundimiento, torcedura de sus partes móviles, esto a causa de sobrepasar el límite de temperatura superior o el tiempo de funcionamiento real, el cual se puede presentar en la mesa rotativa de la prensa o en medios hidráulicos al exceder los límites de presión del cilindro principal.
- Diagnóstico de fallas: su objetivo es estimar cuánto tiempo más podría funcionar la máquina sin riesgo de una falla catastrófica, con base en el manual técnico del fabricante. Se debe aplicar mantenimiento predictivo con el apoyo de inspecciones y análisis de aceite usado, control de desgastes, entre otros.

La siguiente figura muestra una vista en planta de la prensa rotativa la cual posee partes importantes a las que se debe aplicar un mantenimiento predictivo, como por ejemplo, la central hidráulica que funciona por medio de un émbolo el cual se mueve por la presión que genera el aceite hidráulico.

Figura 35. **Vista en planta de la máquina OPA 650, muestra 6 estaciones, que utiliza par fabricar el piso**



Fuente: manual de operación OPA 650, p. 6

- Técnicas aplicadas al mantenimiento predictivo

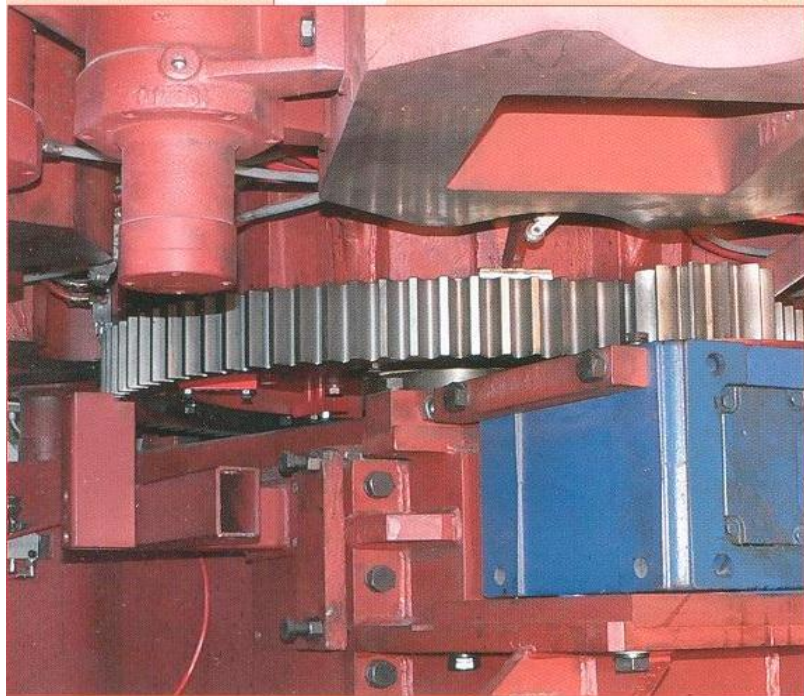
Dentro de las técnicas aplicadas esta el análisis de lubricantes. El cual se ejecuta dependiendo de la necesidad, y según los análisis iniciales se realizan a productos de aquellos equipos que presenten dudas provenientes de los resultados del estudio de lubricación, cuyos resultados permiten correcciones en la selección del producto.

Los análisis rutinarios aplican para equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los mismos la determinación del estado del aceite, el nivel de desgaste y la contaminación entre otros. Estos parámetros se comparan con los estipulados por el manual del fabricante quien indica el estado del aceite que se debe retirar cuando se realiza el cambio programado.

El análisis de emergencia se efectúa para detectar cualquier anomalía en el equipo o lubricante, según el nivel de contaminación que posea el lubricante en impurezas como agua, sólidos y virutas, lo que hará necesario cambiar filtros, sellos y empaques.

Existe el análisis de elementos giratorios el cual incluye las partes móviles tales como rótulas y manivelas. El principal elemento giratorio a encontrar y que está sometido a los diferentes tipos de cargas son los cojinetes, dispuestos al final de grandes masas giratorias conocidas como rotores. Los cojinetes están sometidos a tracciones de gran intensidad, y su uso es constante sin detenerse debido a que el elemento giratorio deja de funcionar hasta que se detiene la marcha de la máquina, como es el caso de la prensa rotativa con su mesa giratoria.

Figura 36. **Tren planetario para dar movimiento a la mesa rotativa de la máquina OPA 650**



Fuente: imagen de catálogo del distribuidor para Centro América Grupex Cuatro, p. 4

Estos importantes elementos mecánicos deben llevar lubricación en forma semisólida, mediante grasa, en sus diferentes tipos. Una grasa está compuesta de un lubricante y un jabón sintético o mineral. Dicho jabón se adhiere y mejora las propiedades del lubricante. Tanto el cojinete como la grasa utilizada por este elemento tienen un tiempo de vida útil el cual debe ser reemplazado periódicamente, según las indicaciones del fabricante.

- Documentos para el mantenimiento

Se debe llevar registros de los diferentes tipos de mantenimiento debido a que tanto el operador como el encargado de mantenimiento necesitan conocer el estado y la vida útil de los elementos que con anterioridad han sustituido en la maquinaria que están utilizando.

En el caso de la planta de producción de RODMOSA el jefe de planta debe solicitar y archivar dichos registros a la empresa que él mismo contrate para realizar el mantenimiento predictivo y correctivo de la maquinaria existente en la planta. Anteriormente se había delimitado el quehacer de los operarios dentro del mantenimiento predictivo, ya que dichas operaciones no requieren de un grado de especialización mayor para llevarse a cabo.

En este caso el jefe de planta debe proporcionar documentos de registro de mantenimiento a los operarios que realizan estas operaciones con el fin de obtener de dichos registros un historial adecuado.

Los registros de mantenimiento tienen como objetivo realizar un historial de las actividades de mantenimiento, así como de los dispositivos que se han sustituido en el equipo. Este historial debe concordar con el programa de mantenimiento diseñado por el jefe de planta con base en el manual del fabricante. A continuación se propone un registro que puede ser de utilidad para realizar esta tarea.

Figura 37. **Registro de mantenimiento a la maquinaria utilizada en la planta de producción**

REGISTRO DE MANTENIMIENTO	
Equipo: _____	Fecha: _____
Realizado por: _____	Mantenimiento: _____
Descripción del mantenimiento _____ _____ _____	
Dispositivo sustituido: _____ _____	
Fecha próxima de mantenimiento: _____	
Vo.Bo. Jefe de planta: _____	

Fuente: elaboración propia

En el registro propuesto se puede detallar el tipo de mantenimiento realizado, es decir, si es predictivo o correctivo, por quién fue realizado, ya sea un operario o una empresa contratada, y a que equipo dentro de la planta de producción es aplicado.



Integrando estos registros para toda la maquinaria existente dentro de la planta de producción se puede realizar una programación de inspecciones, en la que debe quedar claro el tipo de mantenimiento a realizar o ya realizado.

Tabla XVIII. **Diseño de un programa de mantenimiento para la maquinaria**

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO E INSPECCIONES DE MAQUINARIA					
MÁQUINA	FECHA	ACTIVIDAD	TIEMPO	PERSONAL	Herramienta
Prensa	11/11/2010	Cambio de aceite hidráulico	1 hora	Operativo	
Mezcladora	15/01/2011	Revisión de lubricantes	1 hora	Operativo	
Pulidora	10/02/2011	Cambio de filtros y relevadores	4 horas	Contrata	

Fuente: elaboración propia

Con este sencillo documento digital o físico se puede llevar a cabo un control adecuado del mantenimiento predictivo y correctivo. Esta es una base para el desarrollo eficaz de un programa de mantenimiento el cual incluye dentro de sus recursos la utilización del personal operativo de la planta de producción.

Para actividades muy especializadas el jefe de planta tiene contemplado utilizar personal externo dedicado a este ramo. De los recursos tales como repuestos y herramientas, el jefe de planta lleva a cabo un inventario periódico de lo consumido en sus distintos mantenimientos predictivos. Dicho inventario de repuestos se controla sencillamente registrando el elemento utilizado para posteriormente incorporarlo.

Tanto el personal como los repuestos son incorporados como recursos dentro del programa de mantenimiento, los cuales junto con el manual del fabricante son base para el desarrollo de un correcto manual de mantenimiento predictivo a implementar por el jefe de planta y los operarios.

El programa de inspecciones y de mantenimiento predictivo debe ser desarrollado por el jefe de planta con base en los análisis anteriormente desarrollados para obtener un manual de mantenimiento predictivo. Debido a que el jefe de planta es quien tiene acceso al manual de mantenimiento proporcionado por el fabricante, así como las competencias necesarias, para llevar a cabo un correcto programa de mantenimiento estipulado por dicho manual.

El jefe de planta es quien debe equilibrar el tiempo de operación de la maquinaria en función de la necesidad del programa de producción y el tiempo utilizado para dejar inactivo el proceso productivo, ya que el mismo se realiza de manera lineal, pues si se interrumpe el funcionamiento de una de las máquinas que integran el proceso, la producción del producto se detiene.

## **5.2. Implementación del control de calidad**

- Control de calidad

El control de calidad de los productos busca lograr que la cantidad de piezas fabricadas cumplan con los requerimientos mínimos para satisfacer las características que el cliente busca en un producto. Para realizar un control de calidad dentro de una línea de producción se proceden a realizar inspecciones de las piezas que se fabrican en un determinado tiempo.

La planificación de un control de calidad se hace de la siguiente forma: primero se establece la variable o atributo a controlar. Las variables de un producto son las dimensiones del mismo, tales como el peso y el volumen.

Estas variables se deben controlar para obtener un producto homogéneo y no tener diferencias sustanciales entre uno y otro, lo que ameritaría retirar las unidades inspeccionadas que no presenten conformidad.

Los atributos de un producto son las características no medibles en las que únicamente se pueden realizar comparaciones con base en la conformidad exigida por el cliente o el mercado. Los atributos en general representan la calidad de producción ya que los mismos representan ante la objetividad del cliente la funcionalidad del producto, en tal caso se tienen gráficas de control que ayudan a realizar el control del proceso en función de los atributos a evaluar.

El control de calidad que se aplica a la producción de piezas de piso se realizará con base en la identificación de los atributos que el mismo presente. La clasificación de los productos no conformes se realiza por el operario que traslada el material del área de pulido hacia el área de almacenaje.

Con base en lo anterior se procede a realizar el control de piezas de piso por lote de productos, en el que el operario que tiene a cargo el traslado de material del área de pulido al área de almacenaje, clasificará según la calidad de la pieza de piso. El personal que labora dentro de la planta debe determinar el nivel de calidad de las piezas de piso que se enviarán al cliente, ya que por experiencia propia ha determinado las exigencias que los clientes tienen en cuanto a la calidad de piso que comprarán.

El control a implementar se basa en el registro de la cantidad de unidades que tienen defecto en relación con el número de piezas producidas. Este registro sirve de base para elaborar las gráficas de control por atributos, las cuales registrarán períodos mensuales.

Figura 38. **Imagen de piezas de piso en mal estado**



Fuente: elaboración propia

Al finalizar cada mes se deberá realizar un análisis de control de calidad conforme a los registros que se tiene, en dichos registros queda plenamente determinado el motivo por el cual el producto no cumple con la conformidad. Si la no conformidad es debida a una causa imputable al trabajador por un mal manejo de la máquina se omite dicho registro, esto si dicha inconformidad no se vuelve a producir, siendo un caso aislado o único. Ya que de lo contrario crearía una tendencia muy pequeña la cual no se repite, ejemplo de ello es cuando un operario supe a otro ya experimentado en la operación por un lapso de tiempo corto.

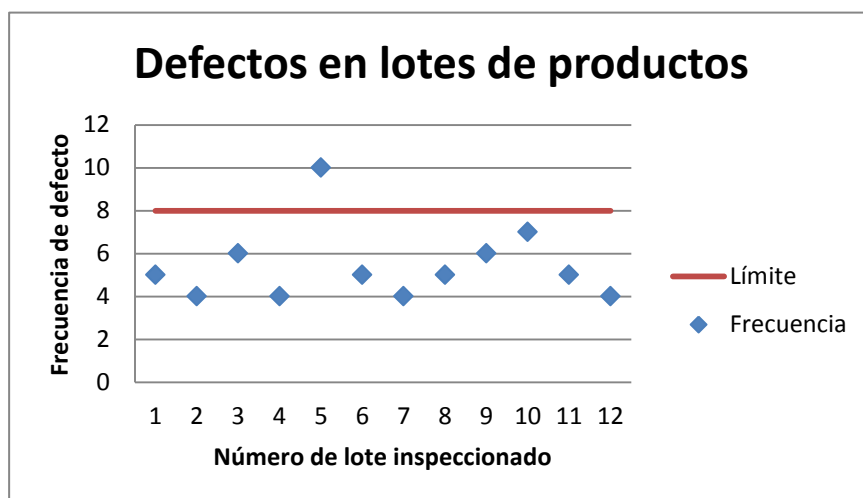
En caso de que el registro no tenga una justificación por la cual el producto es defectuoso o imputable y no se pueda evitar, se deberá resaltar su importancia, ya que este registro servirá como un indicador de que el proceso no está controlado debido a causas varias como por ejemplo, el estado de la máquina que realiza la operación, la calidad de la materia prima, y el embalaje del producto.

Se realiza la integración de los registros, seguidamente se decide el tipo de gráfica a utilizar en función del tipo de atributo a controlar. La gráfica elegida define el tipo de iteración a realizar, la que estará definida por ecuaciones que muestren una tendencia central del grupo de registros. La tendencia central es equidistante de los límites superior e inferior que se encuentran en la gráfica. Estos límites se calculan con ecuaciones propias de la gráfica.

La iteración de las ecuaciones se realiza con el registro de los lotes de productos, en donde sobresalen los productos que no cumplieron con la conformidad planteada, en este caso, se debe realizar la evaluación con base en los atributos del producto.

En la siguiente gráfica se muestra el control que tendrá la planta de producción cuando se implemente, el tipo de gráfica a utilizar se refiere al atributo que en el caso de las piezas de piso es la integridad de la pieza de piso.

Figura 39. Defectos en lotes de productos



Fuente: elaboración propia

La elaboración de la anterior gráfica se desarrolla con base en una serie de iteraciones determinadas por las fórmulas utilizadas para obtener los límites de control para controlar el proceso de producción. Se demostrará la implementación de esta técnica en la sección siguiente.

### 5.3. Estrategias para la mejora de la calidad

Una de las estrategias que se puede implementar para controlar el proceso y obtener una mejora en la calidad es el desarrollo de iteraciones con base en las fórmulas que permitan obtener gráficas de control. Dentro de las gráficas de control se pueden utilizar aquellas que midan atributos y las que miden variables. La gráfica a emplear para el proceso de fabricación de piso, es la de control por atributos. Dentro de las gráficas de control por atributos se tienen 4 tipos entre las que destaca la gráfica de control por número de unidades no conformes.

La gráfica de control por número de unidades no conformes es conocida como la gráfica p. Se utiliza en los casos cuando los datos están formados por la fracción resultante de dividir el número de veces que ocurre un suceso entre el número total de acontecimientos.

De acuerdo con lo anterior la fracción de no conformidad es la proporción obtenida al dividir la cantidad de no conformidades de una muestra entre la cantidad total que forma la muestra. La fórmula correspondiente es:

$$p = \frac{np}{n}$$

Donde:

P = proporción o fracción de no conformidad de la muestra o del subgrupo

n = cantidad de elementos de la muestra o el subgrupo

np = cantidad de elementos no conformes, de la muestra o del subgrupo

El tamaño del subgrupo puede ser variable o constante, siendo preferible que sea constante, sin embargo son varias las situaciones como cuando se modifica la proporción de una mezcla o cuando las tareas de inspecciones están totalmente automatizadas, casos en los que el tamaño del subgrupo es cambiante.

El jefe de planta debe realizar las siguientes operaciones para construir una adecuada gráfica “p” cuando el tamaño del subgrupo es constante.

- Seleccionar la característica de la calidad que se va a controlar. El primer paso u operación consiste en definir para que se va utilizar la gráfica de control. Una gráfica p puede servir para controlar la proporción de no conformidad de una sola característica de la calidad, un grupo de características de la calidad, solo una parte de ella, un producto completo ó en una cantidad determinada de productos. La gráfica p debe ser utilizada para calificar la homogeneidad e integridad de la pieza de piso.
- Calcular el tamaño del subgrupo y el método a emplear. El tamaño del subgrupo dependerá de la proporción de no conformidad. Si una parte tiene una proporción de no conformidad, p y un tamaño de subgrupo n, entonces el número promedio de no conformidad es np. Como punto de partida se sugiere utilizar un tamaño mínimo de subgrupo de 50. Las inspecciones directamente en la línea de producción proporcionan retroalimentación inmediata para acciones correctivas.



- Recopilación de datos. Los operarios deben recopilar datos suficientes para formar al menos 25 subgrupos. Los datos se podrán obtener cuando en la empresa ya existan datos históricos. El número de subgrupo en la línea de producción es el número de lote inspeccionado. Se puede eliminar un subgrupo que presente producto no conforme cuando el mismo posea causas justificables. La base para el cálculo e implementación de la fórmula anterior se da en la siguiente tabla.

Tabla XIX. **Proyección de inspección de piezas de piso en el departamento de producción**

Número de datos	Número del lote	Cantidad inspeccionada	Cantidad de no conformidades	Proporción de no conformidades
1	1	55	6	0,109
2	2	55	5	0,091
3	3	55	5	0,091
4	4	55	8	0,145
5	5	55	6	0,109
6	6	55	4	0,073
7	7	55	3	0,055
8	8	55	5	0,091
9	9	55	3	0,055
10	10	55	4	0,073
11	11	55	8	0,145
12	12	55	9	0,164
13	13	55	7	0,127
14	14	55	6	0,109
15	15	55	4	0,073
16	16	55	3	0,055
17	17	55	5	0,091
18	18	55	8	0,145
19	19	55	6	0,109
20	20	55	7	0,127
21	21	55	5	0,091
22	22	55	3	0,055
23	23	55	2	0,036
24	24	55	1	0,018
25	25	55	6	0,109
Sumatoria	325	1375	129,00	2,345

Fuente: elaboración propia

En la tabla anterior se clarifica como se debe realizar una recolección y suma de datos dentro de la inspección a los lotes de productos. El llenado de la primera, segunda y tercera columna les corresponde a los operarios dentro de la inspección. Al jefe de planta le corresponde el cálculo de la cuarta columna utilizando la fórmula siguiente.

$$p = \frac{np}{n}$$

Así, se tiene por ejemplo:

$$\Rightarrow p_1 = \frac{6}{55} = 0,109$$

$$\Rightarrow p_2 = \frac{5}{55} = 0,091$$

Estos datos son puntos dispersos dentro de la gráfica, la cual tendrá un límite superior e inferior dispuesto dentro de la gráfica respectiva. El cálculo de los límites superior e inferior se realiza con las fórmulas siguientes:

$$UCL \text{ ó } LCL = p \pm 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$P_t = \frac{\sum np}{\sum n}$$

$$P_t = \frac{129}{1375} = 0,0938$$

$$UCL = 0,0938 + 3 \sqrt{\frac{0,0938(1-0,0938)}{55}} = 0,096$$

$$LCL = 0,0938 - 3 \sqrt{\frac{0,0938(1-0,0938)}{55}} = 0,0914$$

Los resultados anteriores en orden descendente describen la tendencia central, el límite superior e inferior de control respectivamente. Dichos límites no deben ser excedidos para mantener controlado el proceso de producción.

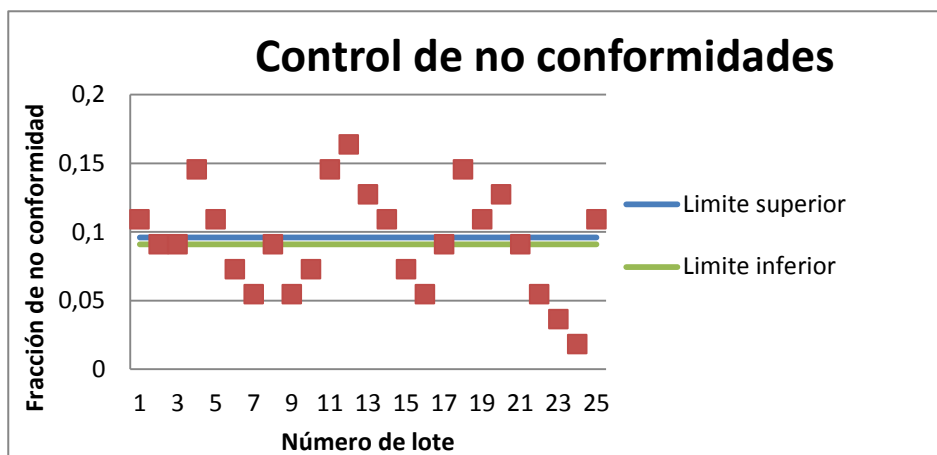
En el caso del límite de control inferior que es positivo se debe cambiar a cero, ya que si la gráfica “p” está a la vista del personal de operación, resultaría difícil explicar por parte del jefe de planta por que una proporción de no conformidad que está por debajo del límite de control inferior se considera fuera de control. Es decir un desempeño en la calidad excepcionalmente bueno se considera como fuera de control. Para evitar esto el jefe de planta debe modificar dicho límite pasando de un valor positivo a cero.

En el caso de que en la gráfica “p” resulte un valor positivo para el límite de control inferior, se modificará su valor igualándolo a cero. De esta forma a un desempeño excepcionalmente bueno, se le considerará como una situación fuera de control y se investigará cual es la causa asignable. Esta modificación se realiza dado que la fracción de no conformidad cercana a cero hace que los productos tengan una baja cantidad de no conformidades y por ende una alta calidad.

La siguiente gráfica es la que debe analizar la administración conjuntamente con el jefe de planta, evaluando con esto el proceso de producción. El ejemplo se basa en la recolección de datos que un operario de la línea de producción pueda obtener en un período de tiempo de aproximadamente una semana.

Con el análisis a realizar se puede evaluar la capacidad del proceso, las causas que llevaron a obtener un proceso no controlado y la generación de ideas para encauzar actividades para obtener una mayor calidad del producto.

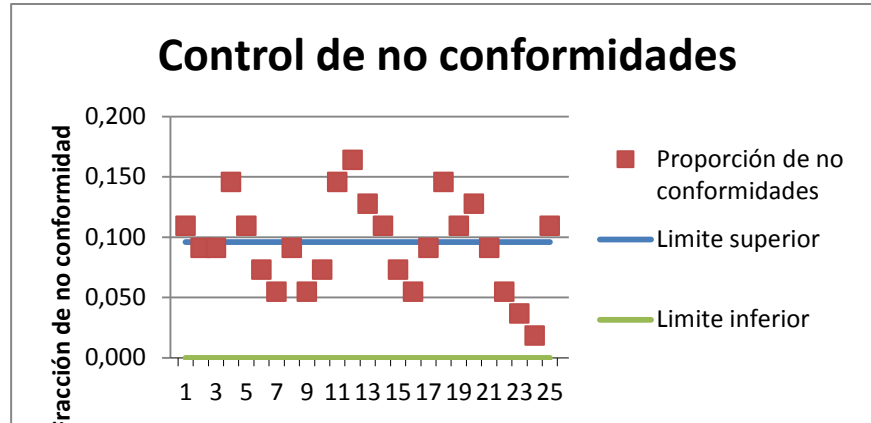
Figura 40. **Gráfica de control de no conformidades**



Fuente: elaboración propia

La siguiente gráfica es la que el jefe de planta debe presentar a los operarios para evitar confusiones sobre el desempeño del proceso en relación con la calidad del producto fabricado. Esta gráfica tiene como límite inferior el eje "X" que demarca el número cero dentro del eje de coordenadas.

Figura 41. Gráfica de control de no conformidades para operarios



Fuente: elaboración propia

La segunda estrategia dentro de una planificación a nivel administrativo para mejorar la calidad de los productos, es adoptar dentro del proceso de producción el ciclo de calidad de DEMING. Este ciclo contempla lo siguiente: planear, hacer, verificar y actuar. Parte de este análisis es adoptar parte de un sistema integral de implantación de calidad como lo es la Norma ISO 9001. Aunque la empresa no trabaje para obtener la certificación de la norma sobre el proceso de producción, puede apoyarse para realizar los procedimientos necesarios para obtener un proceso eficaz.

El ciclo planificar, hacer, verificar y actuar está contenido dentro de la Norma ISO 9001 la cual aplica para cualquier proceso de producción o prestación de servicio. La base aplicable al proceso de producción de piso de la norma está en el capítulo 7 el cual indica lo que se debe realizar para obtener un proceso controlado, así como la inclusión de registros de calidad. De igual forma indica el compromiso y responsabilidad de la alta dirección por mantener una planificación y control del proceso productivo.

La planificación y creación de un proceso puede ser de apoyo para la administración de la empresa, esto está contenido en los capítulos 4 y 5 de la Norma ISO 9001 en sus distintas versiones. Específicamente en la literal 4.2.4 de dicha norma remite información acerca de cómo se deben llevar registros de control del proceso, algunos de los cuales son específicamente los que se utilizan para medir la calidad del proceso y son base para elaborar las gráficas de control.

El capítulo 5 indica lo que la administración de la empresa debe realizar periódicamente para mantener un sistema de gestión de calidad adecuado, en el caso de RODMOSA es válido aplicar dicha literal de esta norma ya que la dirección de la empresa debe tener como compromiso controlar la calidad de sus productos a intervalos planificados asegurándose que lo que se hace tiene conveniencia, adecuación y eficacia.

El capítulo 7 tiene gran relevancia para el proceso de producción ya que en esta parte de la norma se definen los parámetros para una correcta planificación de dicho proceso. Integra aspectos como los requisitos relacionados con el cliente, y con el producto. Estos dos últimos son de gran importancia ya que los requisitos que las piezas de piso deben tener, la mayor parte de las veces son definidas por el cliente, así como los no establecidos por el cliente pero necesarios, tal es el caso de la dureza superficial, así como de la tenacidad ante cualquier golpe de mediana magnitud.

Dentro del capítulo 7 se establece dentro del ciclo de calidad PHVA, Planificar, Hacer, Verificar y Actuar. El “hacer” es el control de los elementos de entrada del proceso de producción ya que un aspecto fundamental para obtener una pieza de piso con calidad aceptable es utilizar materia prima adecuada. Esto indica que la empresa debe evaluar periódicamente la calidad de la materia prima que está comprando a sus proveedores. Dentro de los elementos de entrada incluye procesos relacionados con el diseño y desarrollo del producto así como su posterior verificación y validación.

La siguiente figura muestra la clasificación realizada del producto terminado con base en la materia prima utilizada. Esta clasificación del material es un procedimiento definido por el “Hacer” dentro del ciclo de calidad “PHVA”.

Figura 42. **Bodega de producto terminado y las piezas de piso clasificadas según la materia prima utilizada**



Fuente: elaboración propia

La verificación del producto terminado se clarifica en el capítulo 8 de la norma, la cual dictamina como se debe realizar el seguimiento al cliente. En el caso de la planta de producción de pisos, es la verificación de conformidad de los requisitos del producto, así como el respectivo seguimiento y medición de las operaciones en el proceso. Las mediciones respectivas en el desempeño del proceso se describen a continuación.



#### **5.4. Mediciones del desempeño**

El desempeño del proceso se mide con base en la cantidad de productos conformes, así como la productividad que tenga. La productividad del proceso la debe controlar el jefe de planta, ya que este es un indicador importante que le puede remitir información valiosa para planificar varios tipos de producción utilizando recursos adecuadamente, gracias al historial que dicho indicador registre, en determinado tipo de producción de piso.

La medición del desempeño del proceso debe realizarse en un periodo estipulado por el jefe de planta, que por conveniencia debería ser cada mes, ya que esto coincidirá con las gráficas de control, las cuales contienen información sobre la calidad del producto.

En la medición del desempeño una de las herramientas importantes son las gráficas de control, cuya información tiene como base un registro de inspección realizado por el operario que acomoda el producto terminado en el área respectiva. El llenado del registro a implementar es parte del “Verificar” dentro del ciclo de calidad PHVA, teniendo estos datos y sometiéndolos a un análisis estadístico se convierte en el “Actuar” para generar acciones con base en las debilidades y fortalezas detectadas dentro del proceso.

La siguiente figura muestra un registro en el cual se incluyen los campos que debe tener para poder recabar datos acerca del tipo de defecto, la frecuencia y la causa probable del defecto que tiene el producto.

Figura 43. **Registro de producto no conforme**

<b>REGISTRO DE PRODUCTO NO CONFORME</b>			
Fecha: _____		Producto: _____	
Inspeccionado por: _____			
Número de lote	Frecuencia	Tipo de defecto	Causa probable
10	15	Rajado	Mal curado
15	2	Fuera de tamaño	Prensa hidráulica

Fuente: elaboración propia

Entre las características que el formato de registros de productos no conformes tiene y que se debe explicar al operario que realizará las inspecciones son: la diferencia que existe en el producto no conforme, cuando el mismo está ya sea en forma de atributo o de variable. El atributo básicamente comprende las características no medibles del producto, como la consistencia, y la buena presentación sin rajaduras.

El tipo de producto no conforme por variables es aquel en el cual el tamaño del producto varía con respecto a un estándar establecido conjuntamente entre el cliente y el departamento de ventas. Esta información del modelo estándar es remitida al departamento de producción, en donde se establece las características que el producto tendrá, con lo que se podrá definir la fecha de entrega así como el material necesario para producir el lote requerido.

Se deben fijar los parámetros de referencia para poder medir el desempeño del proceso, ya que gracias a la experiencia que posee la empresa puede determinar qué cantidad de material es necesaria para la producción de cierto número de piezas. Con base en estos parámetros se debe realizar una comparación entre la medición realizada al proceso y la estimada como ideal, esta medición debe tener como objetivo determinar la productividad en toda la planta de producción.

La medición de la productividad se da con base en la comparación de consumo de recursos entre las operaciones anteriores y las posteriores al cambio del proceso. Básicamente el cambio de operaciones se presenta cuando se adecua la nueva maquinaria a utilizar así como la nueva ubicación de las máquinas auxiliares y la implementación de procesos de control de calidad, que deben reducir el consumo innecesario de recursos cuando los mismos se deben reutilizar debido a la existencia de productos con defectos.

La comparación realizada se registrará, ya que esto servirá para poder crear un historial que permita evaluar e implementar acciones correctivas si el parámetro establecido con antelación no se cumple. El indicador de medición del desempeño del proceso se deberá graficar y presentar a la dirección de la empresa, así como a los operarios del proceso. Este indicador se puede expresar mediante la siguiente ecuación.

Desempeño idóneo del proceso =  $P \cdot A + B, NPN$

Donde:

P,A = Productividad adecuada

B,NPN = Bajo número de producto no conforme

Una acción correctiva se genera del análisis y medición de un proceso con respecto a un objetivo planteado para el mismo. El indicador del proceso debe empatar y cumplir con el objetivo del mismo en el caso de la planta de producción es la realización de piezas de piso con una calidad adecuada. La acción correctiva genera un análisis de causas de la no conformidad detectada por lo que, la administración debe tomar acciones para eliminar dichas causas y prevenir que vuelva a ocurrir.

Otra de las medidas del desempeño del sistema de calidad, que la administración debe realizar, es el seguimiento de la información relativa a la percepción del cliente con respecto al cumplimiento de sus requisitos. Parte de este análisis puede comprender datos sobre la calidad de las piezas de piso entregado, encuestas de opinión del cliente, un análisis de la pérdida de negocios, las garantías utilizadas e informes de ventas comerciales así como la comparación de la calidad del producto con respecto al que ofrece la competencia.

Las acciones de mejora se generan después de implementar las acciones correctivas y preventivas que provienen de un análisis y medición del proceso de producción. Las acciones de mejora se enfocan en la revisión de los parámetros del proceso, los objetivos e indicadores del mismo así como el resultado de revisiones de la calidad del producto realizadas por la administración.

La implementación de un sistema de gestión de calidad debe generar eficacia y eficiencia en el proceso productivo de piezas de piso, ya que la baja calidad en los productos ofrecidos al mercado genera costos que sobrepasan en gran magnitud a las de implementar y mantener un control de calidad que hará competente el producto con respecto a los existentes en el mercado.

## CONCLUSIONES

1. La instalación de la prensa rotativa mezcladora se basa en el correcto diseño de la cimentación así como del cálculo idóneo y eficaz del conductor de energía eléctrica, optimizando la utilización de recursos en ambos casos evitando las vibraciones excesivas, así como las pérdidas de energía, respectivamente.
2. La distribución de las máquinas tiene como base la disposición de la prensa rotativa mezcladora. La distribución del proceso tiene una configuración lineal desde el área de materia prima hasta el área de producto terminado, lo que permite producir en gran cantidad y con un alto orden en el tránsito.
3. La implementación del plan de seguridad industrial para empleados, obtendrá la identificación y disminución de riesgos para su eficaz tratamiento, esto con el objetivo de evitar incidentes y accidentes dañinos para la salud del operario y que obliguen a la detención de las operaciones dentro de la planta de producción.
4. El control y la manipulación correcta de la prensa rotativa por parte de los operarios tendrá como base una correcta capacitación, que el jefe de planta conjuntamente con la administración impartirán dentro del programa de capacitación.

5. El área de trabajo de los operarios dentro de la línea de producción está contemplada dentro del análisis de riesgos en el programa de seguridad industrial, en el que se debe instalar resguardos en la prensa rotativa. Paralelamente se ha definido usar resguardos, los cuales se ubicarán con base en la distribución de la maquinaria la cual se puede observar en el diagrama de distribución de máquinas.
6. El control de calidad se realizará con base en la implementación de un programa de calidad dentro de la línea de producción, lo que implica documentar y registrar inspecciones a los lotes de productos para la elaboración de las gráficas de control, las cuales permitan analizar las causas de la no conformidad de los productos y realizar las acciones correctivas para obtener la calidad deseada en las piezas de piso.
7. El aumento de productividad dentro de la planta será evidente cuando se instale la prensa rotativa mezcladora; esta máquina realizará la producción actual diaria de la planta aproximadamente en un cuarto de tiempo. Así mismo la adecuada disposición de la línea de producción y la utilización de recursos dentro de un plan de producción harán que el sistema sea productivo, eficaz y eficiente.

## RECOMENDACIONES

1. Dentro del diseño de la cimentación para la prensa rotativa se debe contemplar la evaluación de tornillos inoxidables de sujeción de la máquina hacia el macizo, esto en función del tipo de sujeción diseñado por el fabricante.
2. El área definida para el fraguado de las piezas de piso dentro de la planta de producción, puede ser utilizado para la instalación de un horno de secado el cual reducirá el tiempo de producción de las piezas de piso.
3. Es necesario contemplar dentro de las políticas de la empresa la seguridad de los empleados. Estas consideraciones se incluyen dentro del plan de seguridad como acciones estratégicas, las cuales debe implementar la administración.
4. La capacitación a los operarios debe ser sustancial, ya que ellos conjuntamente con el jefe de planta, son quienes deben enfrentar cualquier inconveniente que se presente dentro de la línea de producción y puedan resolverlos sin la intervención externa.
5. Se debe realizar un análisis ergonómico del área designada para los operarios, dado que son ellos, quienes tienen contacto directo con las operaciones.



6. Parte del control de calidad es la adopción ó aplicación de normas internacionales de calidad, lo que debe generar un sistema de gestión, el cual si bien no se pretende certificar, debe servir como base para obtener una baja cantidad en productos no conformes. Dicho sistema debe ser revisado periódicamente por parte de la administración de la empresa.
  
7. Aplicar correctamente un plan para obtener una producción con un consumo bajo de recursos, el cual debe incluir objetivos que consideren la reducción de costos en el proceso de producción, que incluyan indicadores de consumo de recursos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5<sup>a</sup> ed. México: Noriega, 2005. 650 p.
2. DALE H, Besterfield. *Control de calidad*. 4<sup>a</sup> ed. México: Prentice Hall, Hispanoamericana, 1995. 508 p.
3. DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *Manual de la administración de mantenimiento*. 2<sup>a</sup> ed. México: CECSA, 2000. 440 p.
4. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, ingeniería de métodos*. 2<sup>a</sup> ed. México: McGraw-Hill, 2000. 218 p.
5. HEITZELMAN LENAL, John. *Manual de la administración de mantenimiento*. México: Prentice Hall, 1999. 345 p.
6. MOTT, Robert. *Diseño de elementos de máquinas*. 4<sup>a</sup> ed. México: Pearson Education. 858 p.
7. NIEBEL, Benjamín; FREIVALS W. *Ingeniería industrial: métodos y tiempos*. 11<sup>a</sup> ed. México: Alfaomega, 2004. 744 p.
8. RAMÍREZ CAVASSA, César. *Seguridad industrial: un enfoque integral*. 3<sup>a</sup> ed. México: Noriega, 2007. 545 p.

9. WILEY, Fredlund. *Fundamentals of mechanic: Fundamentos de mecánica*. 1<sup>a</sup> ed. New York: Mitchell, 1993. 700 p.
10. WILEY, Fredlund. *Soil mechanics: Elementos mecánicos*. 3<sup>a</sup> ed. Canada: Rahardjo H, 1993. 848 p.

## ANEXOS

### Mando eléctrico de la pulidora de piso.



Fuente: elaboración propia.

La instalación de los mandos eléctricos se ha llevado a cabo por personal externo capacitado en el área. En la figura anterior la fuente de energía es la planta generadora a base de diesel.

En la siguiente figura se muestra el mando utilizado por una prensa rotativa la cual utiliza como fuente de energía la que provee la empresa distribuidora del servicio en el área.

### **Mando eléctrico de la prensa rotativa para formato de piso de 40 cm.**



Fuente: elaboración propia.

Las siguientes figuras muestran el control neumático útil para el movimiento de diferentes mecanismos de la prensa rotativa mezcladora, así como el control eléctrico el cual posee la configuración y orden de arranque de los motores que el sistema de la máquina posee conjuntamente con el control neumático.

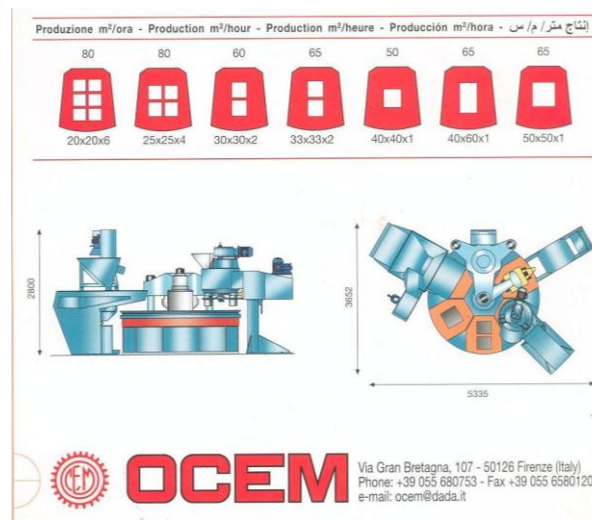
### **Mando neumático y mando del control eléctrico para la prensa rotativa mezcladora OPA 650.**



Fuente: manual de operación del distribuidor para Centro América Grupex Cuatro. p.7.

La siguiente figura muestra los tipos de moldes utilizados para la fabricación de piezas de piso en sus diferentes tamaños instalados sobre la mesa rotativa de la prensa mezcladora OPA 650.

### Tipos de moldes para piezas de piso disponibles en la prensa rotativa mezcladora.



Fuente: manual de operación del distribuidor para Centro América Grupex Cuatro.p.7.

