

**AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE  
COLPISA S.A.**

**CLAUDIA OLAYA FIERRO  
VANESSA GOMEZ ZAPATA**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN  
MEDELLÍN  
2011**

**AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE  
COLPISA S.A.**

**CLAUDIA OLAYA FIERRO  
VANESSA GOMEZ ZAPATA**

**ASESOR:**

**OSCAR ALBERTO VELEZ**

**[oscar.velez@colpisa.com.co](mailto:oscar.velez@colpisa.com.co)**

**DIRECTOR DE LOGISTICA Y OPERACIONES**

**INGENIERO MECANICO**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN**

**MEDELLÍN**

**2011**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del jurado**

**Medellín, 14 de Octubre de 2011**

## **AGRADECIMIENTOS**

- A nuestros padres por su apoyo incondicional durante todos nuestros años de estudio.
- A Oscar Alberto Vélez, el asesor del proyecto, por orientarnos y guiarnos durante el desarrollo del mismo; por su apoyo, disposición y dedicación incondicional para el desarrollo del proyecto.
- Al laboratorio de Colpisa, al área de producción y mantenimiento y todo su equipo de trabajo por la colaboración durante la realización del proyecto.
- A todos nuestros docentes, especialmente a Juan Gregorio Arrieta y Mario Vélez por su colaboración y orientación.
- Al personal del Colpisa S.A por su colaboración permanente, por brindarnos oportunamente la información requerida y por ayudarnos en el proceso.
- A Colpisa S.A. por permitirnos realizar el proyecto de grado dentro de sus instalaciones facilitando los recursos necesarios para la realización de este.

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....</b>	<b>17</b>
2.1	FILOSOFÍA CORPORATIVA .....	18
2.1.1	<i>Política integral</i> .....	18
2.1.2	<i>Misión</i> .....	18
2.1.3	<i>Visión</i> .....	19
2.1.4	<i>Oferta de valor</i> .....	19
2.2	PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	21
2.3	HISTORIA .....	24
<b>3</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>48</b>
9.1.	OBJETIVO GENERAL .....	48
9.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	48
<b>7</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>49</b>
7.1	ANALIZAR, ESTUDIAR Y MEDIR LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE MOLIENDA. ....	49
7.2	MEJORAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL DE MOLIENDA.....	49
7.3	IDENTIFICAR LOS PARÁMETROS ADECUADOS DE OPERACIÓN DE LOS MOLINOS PARA LOGRAR UNA MÁXIMA EFICIENCIA POR MEDIO DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL. ....	51
<b>8</b>	<b>ALCANCE .....</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>SITUACION ACTUAL DE LA ZONA DE MOLIENDA EN LA PLATA DE PINTURAS DE COLPISA S.A. ....</b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE COLPISA S.A. ....</b>	<b>63</b>
10.1	MEJORAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL DE MOLIENDA.....	63
10.1.1	<i>Montaje de recirculación</i> .....	64
10.1.2	<i>Referencia 1</i> .....	66
10.1.3	<i>Referencia 2</i> .....	68
10.1.4	<i>Referencia 3</i> .....	70
10.1.5	<i>Referencia 4</i> .....	72
10.1.6	<i>Referencia 5</i> .....	74
10.1.7	<i>Referencia 6</i> .....	77
10.2	POR MEDIO DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL REALIZAR ENSAYOS DONDE SE VARÍEN LOS DIFERENTES PARÁMETROS DE OPERACIÓN QUE PERMITAN MEJORAR LAS CONDICIONES DE MOLIENDA Y BRILLO, EN COLPISA S.A. ....	83
10.2.1	<i>Identificación de parametros a estudiar</i> .....	83

10.2.2	<i>Clasificación de parametros a estudiar</i> .....	84
10.2.3	<i>Procedimiento del diseño de los ensayos</i> .....	84
<b>11</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....	<b>108</b>
14.1.	RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL DE MOLIENDA. ....	108
14.2.	RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL .....	111
<b>12</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>114</b>
<b>13</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>117</b>
<b>14</b>	<b>GLOSARIO</b> .....	<b>118</b>
<b>15</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>119</b>
<b>16</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>122</b>

## LISTA DE IMÁGENES

<b>Imagen 1:</b> Etapas del desarrollo de los productos en Colpisa.....	14
<b>Imagen 2:</b> Molino de perlas.....	15
<b>Imagen 3:</b> Prueba para verificar molienda y brillo.....	22
<b>Imagen 4:</b> Perlas de molienda.....	28
<b>Imagen 5:</b> Molino de bolas.....	28
<b>Imagen 6:</b> Molino horizontal de bolas.....	29
<b>Imagen 7:</b> Molino vertical de bolas.....	31
<b>Imagen 8:</b> Molino de rodillo.....	32
<b>Imagen 9:</b> Grindómetro.....	34
<b>Imagen 10:</b> Por pasada.....	39
<b>Imagen 12:</b> Pendular.....	40
<b>Imagen 11:</b> Cascada.....	40
<b>Imagen 13:</b> Recirculación.....	41
<b>Imagen 14:</b> Interior de la cuba de molienda.....	41
<b>Imagen 15:</b> Principio de molienda preferencial.....	42
<b>Imagen 16:</b> Zona Molienda Plata Pinturas Colpisa S.A.....	45
<b>Imagen 17:</b> Sistema de molienda olla a olla.....	47
<b>Imagen 18:</b> Cambio de proceso de molienda.....	50
<b>Imagen 19:</b> Perlas pequeñas y grandes.....	52
<b>Imagen 20:</b> Método olla a olla.....	55
<b>Imagen 21:</b> Proceso por olla a olla.....	63
<b>Imagen 22:</b> Proceso por recirculación.....	64
<b>Imagen 23:</b> Cambio de proceso.....	64
<b>Imagen 24:</b> Montaje de recirculación.....	65
<b>Imagen 25:</b> Manipulación manual de las ollas antes.....	80
<b>Imagen 27:</b> Perlas utilizadas en los ensayos pilotos.....	85
<b>Imagen 26:</b> Molino pequeño en el cual se hicieron los ensayos pilotos.....	85
<b>Imagen 28:</b> Canecas utilizadas para los ensayos pilotos.....	86

<b>Imagen 29:</b> Medición de flujo.....	86
<b>Imagen 30:</b> Toma de muestras.....	87
<b>Imagen 31:</b> Chequeo de molienda.....	87
<b>Imagen 32:</b> Medición de brillo.....	88
<b>Imagen 33:</b> Cambio del proceso actual de molienda.....	108



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Registro histórico de la referencia 1.....	57
<b>Tabla 2:</b> Registro histórico de la referencia 2.....	58
<b>Tabla 3:</b> Registro histórico de la referencia 3.....	59
<b>Tabla 4:</b> Registro histórico de la referencia 4.....	60
<b>Tabla 5:</b> Registro histórico de la referencia 5.....	61
<b>Tabla 6:</b> Registro histórico de la referencia 6.....	62
<b>Tabla 7:</b> Características referencia 1.....	66
<b>Tabla 8:</b> Resultados referencia 1.....	66
<b>Tabla 9:</b> Cuadro comparativo referencia 1.....	67
<b>Tabla 10:</b> Características referencia 2.....	68
<b>Tabla 11:</b> Resultados referencia 2.....	69
<b>Tabla 12:</b> Cuadro comparativo referencia 2.....	69
<b>Tabla 13:</b> Características referencia 3.....	70
<b>Tabla 14:</b> Resultados referencia 3.....	71
<b>Tabla 15:</b> Cuadro comparativo referencia 3.....	71
<b>Tabla 16:</b> Características referencia 4.....	72
<b>Tabla 17:</b> Resultados referencia 4.....	73
<b>Tabla 18:</b> Cuadro comparativo referencia 4.....	73
<b>Tabla 19:</b> Características referencia 5.....	74
<b>Tabla 20:</b> Resultados referencia 5.....	75
<b>Tabla 21:</b> Cuadro comparativo referencia 5.....	75
<b>Tabla 22:</b> Características referencia 6.....	77
<b>Tabla 23:</b> Resultado referencia 6.....	77
<b>Tabla 24:</b> Cuadro comparativo referencia 6.....	78
<b>Tabla 25:</b> Resumen ensayo de recirculación.....	81
<b>Tabla 26:</b> Ensayo 1.....	89
<b>Tabla 27:</b> Ensayo 2.....	91
<b>Tabla 28:</b> Ensayo 3.....	93

<b>Tabla 29:</b> Ensayo 4.....	95
<b>Tabla 30:</b> Ensayo 5.....	97
<b>Tabla 31:</b> Ensayo 6.....	99
<b>Tabla 32:</b> Matriz de iteraciones.....	102
<b>Tabla 33:</b> Tabla Anova de número de pasadas para molienda.....	103
<b>Tabla 34:</b> Tabla Anova de número de pasadas para el brillo.....	105
<b>Tabla 35:</b> Resumen general del diseño experimental.....	112

## LISTA DE GRAFICAS

<b>Grafica 1:</b> Productividad de molienda referencia 1.....	57
<b>Grafica 2:</b> Productividad de la referencia 2. ....	58
<b>Grafica 3:</b> Productividad de la referencia 3. ....	59
<b>Grafica 4:</b> Productividad de la referencia 4. ....	60
<b>Grafica 5:</b> Productividad de la referencia 5. ....	61
<b>Grafica 6:</b> Productividad de la referencia 6. ....	62
<b>Grafica 7:</b> Productividad de molienda referencia 1.....	68
<b>Grafica 8:</b> Productividad de molienda referencia 2.....	70
<b>Grafica 9:</b> Productividad de molienda referencia 3.....	72
<b>Grafica 10:</b> Productividad de molienda referencia 4.....	74
<b>Grafica 11:</b> Productividad de molienda referencia 5.....	76
<b>Grafica 12:</b> Productividad de molienda referencia 6.....	78
<b>Grafica 13:</b> Comparación de tiempos y productividad de molienda del antes y después del ensayo de recirculación. ....	82
<b>Grafica 14:</b> Comportamiento Ensayo 1. ....	90
<b>Grafica 15:</b> Comportamiento ensayo 2.....	92
<b>Grafica 16:</b> Comportamiento ensayo 3.....	94
<b>Grafica 17:</b> Comportamiento ensayo 4.....	96
<b>Grafica 18:</b> Comportamiento ensayo 5.....	98
<b>Grafica 19:</b> Comportamiento ensayo 6.....	100
<b>Grafica 20:</b> Análisis de tamaño de perlas para la molienda. ....	104
<b>Grafica 21:</b> Análisis de la velocidad de eje para la molienda. ....	105
<b>Grafica 22:</b> Análisis del tamaño de perlas para el brillo.....	106
<b>Grafica 23:</b> Analisis de la velocidad de eje para el brillo. ....	107
<b>Grafica 24:</b> Aumento de productividad con el cambio de proceso de molienda. ....	109
<b>Grafica 25:</b> Comparación de tiempos de molienda de antes y después del cambio del proceso de molienda. ....	110
<b>Grafica 26:</b> Disminución de costos de mano de obra con el cambio de proceso de molienda.....	110

**Grafica 27:** Tiempos en la zona de molienda de cada ensayo..... 112  
**Grafica 28:** Costos en la zona de molienda para cada ensayo. .... 113

### **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo 1 :** Resumen tabla de comportamiento del antes y después de los ensayos de recirculación con análisis de datos..... 122  
**Anexo 2 :** Resumen tabla de comportamiento del antes y después de los ensayos de recirculación con análisis de datos..... 123

## 1 INTRODUCCION




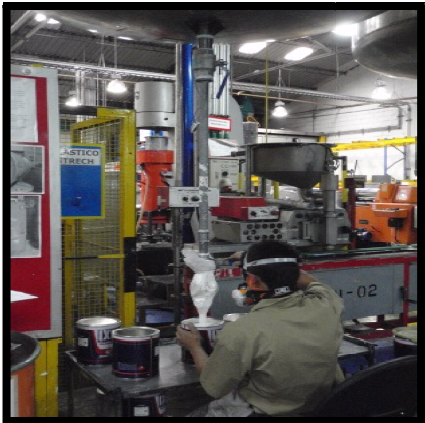
Colpisa es una compañía que desarrolla, fabrica y comercializa pinturas y sellantes.

Es el proveedor líder en el suministro de pinturas originales de ensambladora de carros y motos y repintado para los principales concesionarios del país.

Además de ser líder en el sector automotriz también tiene otros mercados tales como la línea arquitectónica, industrial y de madera.

Colpisa desarrolla productos de alta calidad tales como pinturas anticorrosivas, esmaltes sintéticos, primers, barnices, disolventes, productos intermedios (son fabricados dentro de Colpisa para el desarrollo de las pinturas), sellantes y masillas.

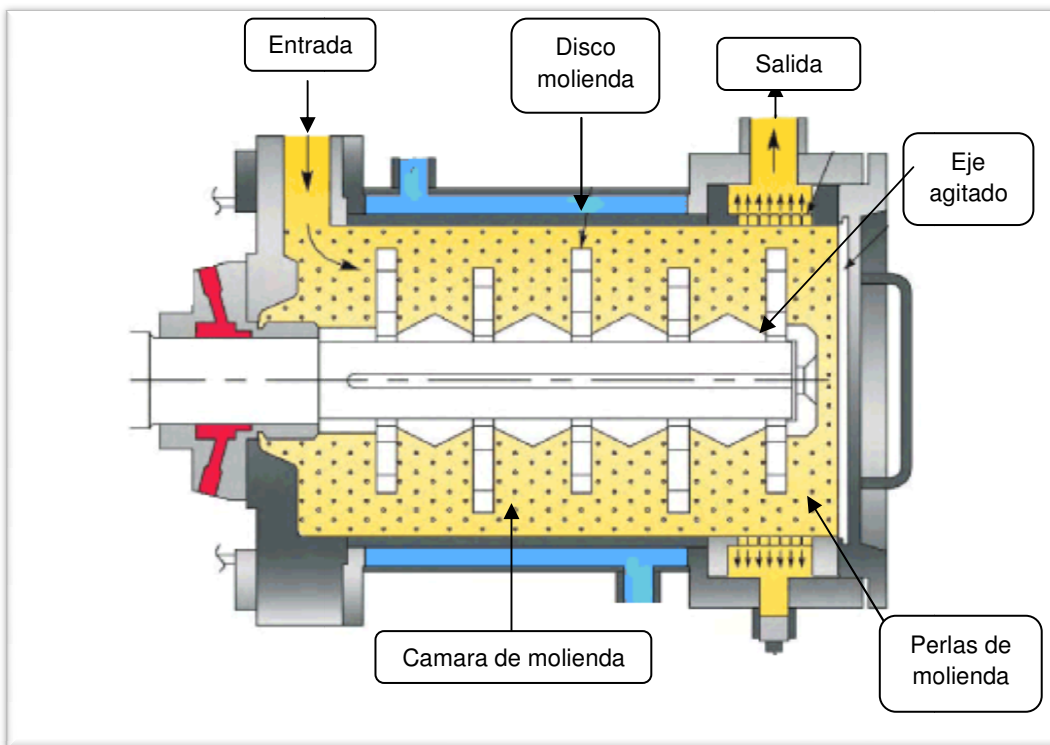
Para el desarrollo de estos productos Colpisa cuenta con 4 etapas en el proceso tales como se muestra en la imagen 1:

<p><b>1. Empastado:</b> Pre dispersión de las partículas de pigmento.</p> 	<p><b>2. Molienda:</b> Dispersión de las partículas de pigmento.</p> 
<p><b>3. Dilución</b> Adición de solventes y resinas con el producto proveniente de molienda.</p> 	<p><b>4. Envasado:</b> Proceso donde empaican el producto terminado.</p> 

**Imagen 1:** Etapas del desarrollo de los productos en Colpisa.

El proceso de molienda es la segunda etapa del proceso productivo en Colpisa. La pasta (pigmento con adición de resinas y solventes) pasa al molino para dispersar las partículas de pigmento, ésta pasa por una bomba por medio de unas mangueras llevándola así a la cuba (cámara de molienda) que es la parte del molino donde se lleva a cabo la molienda (ver imagen 2).

Dentro de la cuba la pintura pasa por unos discos sujetos por un eje que gira y agita unas esferas llamadas perlas de molienda. Estas son encargadas de disgregar el pigmento por medio de colisiones entre ellas y de esta manera lograr la molienda y el brillo del producto. Luego pasa al sistema de separación donde las esferas y la pintura son separadas y así finalizar una pasada del producto por el molino.



**Imagen 2:** Molino de perlas.

El desarrollo de este proyecto de investigación se enfoca en mejorar y aumentar la productividad en el área de molienda, ya que cuenta con altos tiempos en la

fabricación de sus productos en comparación con las diferentes industrias del sector de pinturas constituidas actualmente.

Por este motivo el trabajo se orienta en lograr disminuir los tiempos de molienda y determinar las mejores condiciones de los parámetros de operación de este proceso.

El proyecto se fragmenta en dos partes básicamente: la primera consiste en realizar un cambio del sistema actual de molienda (olla a olla), por el sistema de recirculación que se busco y se eligió dentro de los diferentes métodos de molienda actualmente existentes en la industria de pinturas que generan mayor eficiencia. Se realizo un montaje acorde a este sistema donde se molieron seis referencias para luego constatar la disminución en los tiempos de molienda que este proceso nos puede brindar y la segunda radica en realizar un diseño experimental donde se varíen los diferentes parámetros que influyen en el proceso de molienda. Se estudiaron todos los posibles parámetros que afectan el proceso y luego se clasificaron de acuerdo a investigaciones realizadas dentro de la empresa con apoyo de las diferentes áreas involucradas en el proceso productivo, luego se realizaron doce ensayos pilotos con la referencia que presenta mayor dificultad para moler, variando los parámetros elegidos previamente y por medio del diseño experimental se comprobó cual de las combinaciones fue la más eficiente y productiva.

La elaboración de este proyecto permitió mejorar significativamente las condiciones de operación en el área de molienda disminuyendo los tiempos del proceso, aumentando la productividad, liberando espacio dentro de la planta, brindando mayor ergonomía a los trabajadores y por ultimo un beneficio en costos.



## 2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Colpisa S.A. se dedica al Diseño y desarrollo, fabricación y comercialización de recubrimientos, pinturas, sellantes y masillas para uso industrial, arquitectónico y automotor.

Colpisa S.A cuenta con 150 empleados operativos y 219 empleados administrativos para un total de 369 empleados, es importante mencionar que 48 empleados son del laboratorio, y son tomados como administrativos, por esto solo el 40% de los empleados son operativos.

Colpisa S.A fabrica las siguientes líneas de producto: Pintura automotriz, pintura industrial, pintura arquitectónica, pintura maderas y recubrimientos, anualmente en la planta pinturas se produce alrededor de 5.234 Toneladas de productos y en la planta masillas 1.822 Toneladas año de sellantes .

Es política de Colpisa S.A. desarrollar, fabricar y comercializar recubrimientos, con entregas certificadas y cumpliendo con los requerimientos de las partes interesadas, por medio de nuestros proveedores, procesos, productos y asistencia técnica. Comprometidos con:

- ❖ El mejoramiento continuo de la eficacia y el desempeño de los procesos de nuestro Sistema de Gestión Integral.
- ❖ El cumplimiento de la legislación aplicable a la organización y otros.
- ❖ El desarrollo sostenible a través de la prevención de la contaminación, el control de las emisiones atmosféricas, el uso eficiente del agua y la energía, la reducción en la generación de residuos, productos y procesos que reduzcan el impacto en el medio ambiente.
- ❖ La prevención de lesiones y enfermedades asociadas a los riesgos a los que se encuentran expuestos nuestros empleados, visitantes y contratistas, implementando programas de promoción y control de la seguridad y la salud.

Todo esto, apoyados en un recurso humano calificado, eficiente y participativo.

## **2.1 Filosofía corporativa**

### **2.1.1 Política integral**

Es política de Colpisa S.A. desarrollar, fabricar y comercializar recubrimientos, con entregas certificadas y cumpliendo con los requerimientos de las partes interesadas, por medio de nuestros proveedores, procesos, productos y asistencia técnica. Comprometidos con:

- ✓ El mejoramiento continuo de la eficacia y el desempeño de los procesos de nuestro Sistema de Gestión Integral.
- ✓ El cumplimiento de la legislación aplicable a la organización y otros.
- ✓ El desarrollo sostenible, a través de la prevención de la contaminación, el control de las emisiones atmosféricas, el uso eficiente del agua y la energía, la reducción en la generación de residuos, productos y procesos que reduzcan el impacto en el medio ambiente.
- ✓ La prevención de lesiones y enfermedades asociadas a los riesgos a los que se encuentran expuestos nuestros empleados, visitantes y contratistas, implementando programas de promoción y control de la seguridad y la salud.

Todo esto, apoyados en un recurso humano calificado, eficiente y participativo.

### **2.1.2 Misión**

Es misión de Colpisa S.A. desarrollar, fabricar y comercializar recubrimientos para el mercado original automotriz, original motos, repintado automotriz, industrial y arquitectónico:

- ✓ Brindando asistencia técnica integral y con un canal de distribución consolidado.

- ✓ Proporcionando soluciones integrales y competitivas en recubrimientos y buscando permanentemente la excelencia operacional.
- ✓ Generando valor y rentabilidad con nuestros procesos.
- ✓ Apoyados con personal competente y procesos que propicien el desarrollo sostenible de la organización.
- ✓ Para satisfacción de nuestros clientes, accionistas, proveedores, empleados y la comunidad en general.

### **2.1.3 Visión**

Brindar soluciones en recubrimientos y participar en las ventas del sector, así:

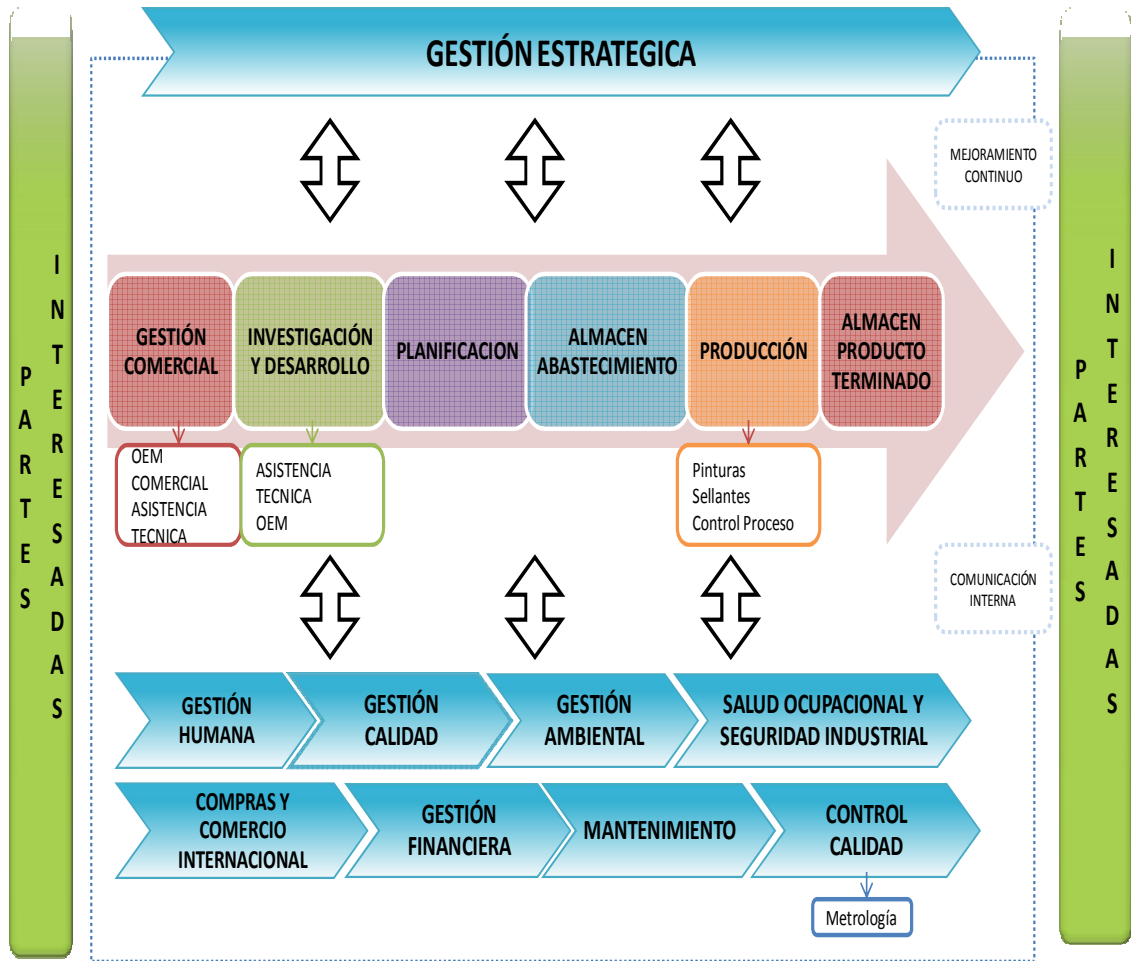
- ✓ Líder en los mercados original automotriz de Colombia y Ecuador.
- ✓ Líder en el mercado original de motos de Colombia.
- ✓ Líder en el mercado repintado automotriz a nivel nacional.
- ✓ Mejorar el posicionamiento en las líneas Industrial y Arquitectónica a nivel nacional.

Participar mínimo en dos países diferentes de Colombia

### **2.1.4 Oferta de valor**

Brindar soluciones integrales en recubrimientos a nuestros clientes que promuevan el éxito de su negocio basados en:

- ✓ Productos competitivos y con liderazgo en el mercado original de ensambladoras (Autos y Motos).
- ✓ Asistencia Técnica orientada a mejorar productividad y competitividad con acompañamiento en mejoramiento de procesos, solución de problemas, formación y entrenamiento.
- ✓ Entrega certificada de productos en cantidad, tiempo y calidad.
- ✓ Alta capacidad de respuesta a necesidades especiales de los clientes.
- ✓ Velocidad y precisión en la reproducibilidad del color (software de color, cartas de color).
- ✓ Alianzas tecnológicas y comerciales con empresas de clase mundial.



La comunicación interna esta definida en la caracterización de los procesos a través de la interacción entre los mismos; y para esta se apoya en herramientas tecnológicas como el correo electrónico y demás elementos de comunicación existentes.

La mejora continúa esta definida como una actividad requerida en cada uno de los procesos y para esta se apoya en los elementos de mejora definidos por la norma.

## 2.2 Proceso de producción

En Colpisa, se desarrollan diversos procesos operativos. El ciclo comienza con la Gestión de Mercadeo, que investiga y determina la demanda del mercado. Después, planificación de acuerdo a esta demanda se pone en firme los pedidos, se define los volúmenes a producir y se solicitan las materia primas para los diferentes productos, esto se realiza aproximadamente un mes antes del proceso de transformación, pasado este tiempo, compras gestiona la recepción de las materias primas importadas, materias primas con permisos especiales y locales, bajo la modalidad *Justo a Tiempo*.

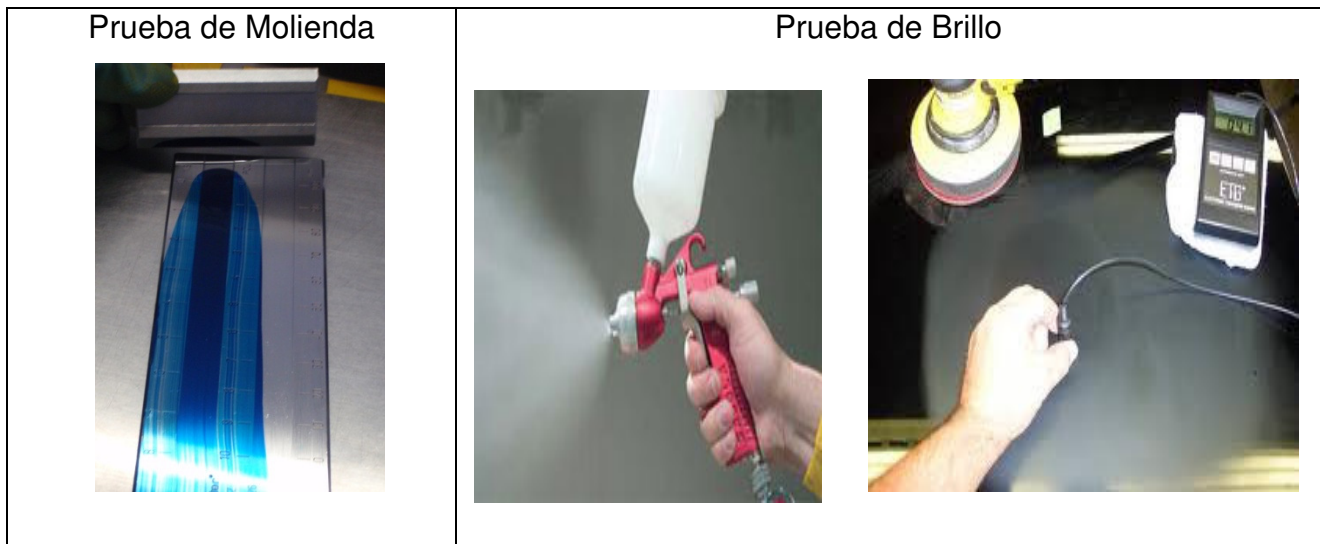
Cuando un producto va a ser procesado se entrega un documento que es la tarjeta de producción donde especifica paso a paso todo el proceso para fabricar un producto, allí también se especifica el tiempo y el número de pasadas que el producto debe pasar por el molino.

Una vez en la planta, se inicia el proceso de fabricación, que se divide en cuatro etapas principales: Empastado, Molienda, Dilución y Envasado.

El empastado consiste en mezclar los pigmentos con parte de las emulsiones, parte del agua o del solvente y algunos aditivos, es donde se mezclan todas las materias primas, atendiendo a las instrucciones de las tarjetas de producción expedidas por el laboratorio que indican las cantidades y el tiempo que se deja en el área de empastado.

En la molienda se logra la dispersión final en la cual se consigue una distribución homogénea de las partículas de pigmentos en unos equipos especiales de alta velocidad, es en donde el producto se muele y adquiere las características específicas de las partículas, en este proceso es donde realmente se logra la calidad del producto, todo comienza por el buen funcionamiento del molino y luego se siguen las indicaciones del laboratorio: como el número de pasadas que el producto circula por el molino para lograr la calidad adecuada (numero

generalizado experimentalmente) ya que constantemente se tiene que hacer pruebas de brillo y molienda para determinar si la calidad se ajusta a las especificaciones dadas por el cliente o si es necesario realizar más pasadas para llegar al producto deseado (Ver imagen 3).



**Imagen 3:** Prueba para verificar molienda y brillo.

Una vez se aprueben los ensayos anteriores se procede a la dilución que consiste en agregar más emulsión, agua o solvente y otros aditivos, para darle ciertas propiedades a la pintura y estabilizar la dispersión, es decir el proceso licua las partículas del producto para que no se asienten en el tanque de dilución, el tanque de dilución es un tanque que posee unas aspas que giran constantemente para que el producto no se decante y permanezca con sus características constantes y homogéneas.

Seguidamente se procede a dar el color definitivo con unos concentrados previamente elaborados, esta parte del proceso es desarrollada por expertos en color, con la ayuda del computador y equipos de alta tecnología, etapa denominada tinturación es el proceso que corresponde a igualar el nuevo color a

fabricar al color establecido como patrón y puede afectar la molienda por los diferentes concentrados que se le agregan a el producto.

Una vez obtenido el color final se procede a las últimas pruebas de laboratorio para verificar la molienda, el brillo del producto y finalmente aprobar el producto.

Finalmente cuando se obtiene el visto bueno se comienza el proceso de embasado, que va conectado a los tanques de dilución y se hace por medio de maquinas envasadoras, de aquí se deriva la filtración que consiste en colar el producto por medio de telas de diferentes micras para eliminar impurezas restantes que se pueden adquirir durante el proceso y que afecten la calidad del producto. El empaque final se hace dependiendo de los diferentes tamaños que se tengan a disposición del cliente en Colpisa.

Por último podemos ver el mapa de proceso de Colpisa a continuación.

## 2.3 Historia

Colpisa Motriz S.A. se creó en 1973 debido a la necesidad de la industria automotriz de obtener los productos necesarios del sector químico en el ensamble de vehículos.

- ❖ 1973, Inicia su producción con Masillas: guías de lijado, pinturas anticorrosivas, insonorizantes, asfálticas y esmaltes horneables, orientados primordialmente a la industria automotriz y a SOFASA.
- ❖ En septiembre de 1975 se constituye como sociedad.
- ❖ 1976 Se inician suministros a G.M. COLMOTORES.
- ❖ 1977, comienza a abastecer a C.C.A.
- ❖ 1984, se inicia la producción y comercialización de Repintado línea IXELL.
- ❖ A mediados de 1996 se separa la producción de sellantes, plastisoles e insonorizantes creando una nueva empresa.
- ❖ En 1996, G.M. COLMOTORES licita el suministro de todo el sistema de Electrodeposición Catódica y Fosfatos, licitación otorgada a Colpisa Motriz con productos de tecnología PPG.
- ❖ 1997, se logra el suministro de todos los materiales para el tratamiento catódico de vehículos para la ensambladora Sofasa. 1997 firma con la compañía PPG Auto Refinish un convenio para distribuir su línea de productos de repintado DELTRON.
- ❖ 1998 Colpisa consigue el otorgamiento del Certificado de Calidad ISO 9002 - QS9000
- ❖ 1999 Se abren nuevos mercados con las ensambladoras de motos: Suzuki, Yamaha y Honda. Así mismo con los carroceros.
- ❖ 2001 COLPISA es elegido por SOFASA como **PROVEEDOR LIDER.**
- ❖ 2001 Certificamos los primeros talleres con el plan de Garantía 36 meses PPG.
- ❖ 2002, se recibe la licencia para la fabricación de sellantes.



- ❖ 2002, COLPISA consigue el otorgamiento del Certificado Calidad ISO 9001/2000 -IQNET.
- ❖ 2004 Colpisa consigue el otorgamiento del Certificado ISO 14001:1996
- ❖ 2004 Colpisa ingresa a nuevos mercados como el arquitectónico, maderas, mantenimiento industrial, industrial polvo, entre otros, ofreciendo al mercado el mejor portafolio de productos y el mejor servicio.
- ❖ 2005 Colpisa Motriz cambia su razón social por COLPISA COLOMBIANA DE PINTURAS S.A., como resultado del ingreso a nuevos mercados de recubrimiento.
- ❖ 2006 Colpisa S.A es nombrado como proveedor líder en G.M. Colmotores y OBB Ecuador.
- ❖ 2006 Colpisa S.A. obtiene el certificado ISO-TS-16949:2002.
- ❖ 2006 Colpisa S.A. consigue la actualización de la NTC ISO 14001:1996 por la versión 14001:2004.
- ❖ 2007 Colpisa S.A. da inicio a la construcción de La Marca COLPISA.
- ❖ 2007 Colpisa S.A. inicio suministro de pinturas a la planta GM OBB en Ecuador.
- ❖ 2008 Colpisa S.A. recibe la certificación del sistema de seguridad y salud ocupacional OHSAS 18001:2007.
- ❖ 2008 Colpisa S.A. ingresa a dos nuevas ensambladoras en Colombia: HINO Motors y SUPERPOLO S.A. con suministro de producto y asistencia técnica.
- ❖ 2009 Colpisa S.A. consigue la actualización de la NTC ISO 9001:2000 por la versión 9001:2008.
- ❖ 2009 Colpisa S.A. lidera la conformación del Comité de Ayuda Mutua Centro Único Itagüí, teniendo como objetivo fortalecer a las empresas del sector en términos de Seguridad y Medio ambiente.
- ❖ 2009 Colpisa S.A. rediseña la estructura del canal de distribución propio en términos administrativos y financieros.
- ❖ 2009 Colpisa S.A. fortalece las relaciones comerciales con la ensambladora de Motos Auteco, incrementando su participación en el cliente.
- ❖ 2009 Colpisa S.A. participa en la construcción de los Coliseos para los juegos Suramericanos de Medellín 2010, con la pintura de la línea Industrial.

- ❖ 2009 Colpisa S.A. continúa con labores sociales donando productos para el mantenimiento de viviendas, colegios e iglesias de grupos sociales menos favorecidos en el país.
- ❖ 2009 Colpisa S.A. recibe reconocimiento de GM OBB como mejor proveedor en la categoría exteriores, a través de Colpisamotriz Ecuador S.A.
- ❖ 2010 Colpisa S.A. Establece una alianza tecnológica con EFTEC, principal fabricante de sellantes PVC en el mundo.
- ❖ 2010 Colpisa S.A. Segmenta la marca IXELL en las líneas económica y plus.
- ❖ 2010 Colpisa S.A. recibe reconocimiento de GM Colmotores como mejor proveedor en la categoría Body Exterior.
- ❖ 2011 La multinacional PPG anuncia la compra de Colpisa S.A. proceso de adquisición que se cerrará durante este mismo año.
- ❖ 2011 Colpisa S.A. hace una importante inversión en modernizar su sistema de red contra incendios dando cumplimiento a las normas internaciones NFPA para este tipo de sistemas contra incendios.
- ❖ 2011 Se entran en negociaciones con PPG para la adquisición de Colpisa como resultado a la apertura del TLC.

### 3 MARCO TEÓRICO

La molienda húmeda es la segunda etapa del proceso de fabricación de pinturas, en esta etapa las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto y abrasión. La molienda se realiza en molinos de forma cilíndrica que contienen ejes horizontales que giran y sujetan una carga de cuerpos sueltos conocidos como perlas de molienda, las cuales están libres para moverse a medida que el eje gira produciendo la disgregación de las partículas.

Un proceso de molienda está definido por cuatro puntos importantes: La intensidad de choque entre las perlas de molienda, el número de choques, la energía específica de molienda, el tiempo de residencia del producto en la cuba de molienda (tiempo en el cual el producto permanece dentro de la cuba).

En el proceso de molienda se miden dos propiedades el brillo y la molienda.

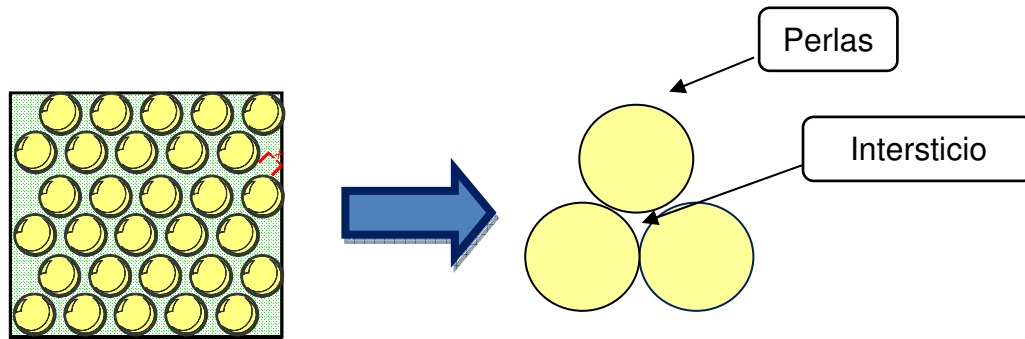
Para obtener una buena molienda es necesario que las perlas del molino se choquen entre ellas y partan o dividan las partículas del producto de acuerdo al tamaño que se debe adquirir, teniendo en cuenta que el intersticio que se genera en el choque de las perlas es lo que realmente va a determinar el tamaño (ver Imagen 4), esto se obtiene con la combinación de los siguientes parámetros:

1. Alto número de choques de las perlas.
2. Alto tiempo de residencia de las partículas.
3. Alta energía cinética.

El brillo es la propiedad óptica de una superficie de reflejar la luz especularmente. Una superficie con acabado brillante puede indicar la buena formación de la película de pintura.

Para obtener el brillo adecuado se tiene que dar la combinación entre los siguientes parámetros:

1. El tamaño de las partículas sean homogéneas.
2. Las partículas sean del menor tamaño posible.



**Imagen 4:** Perlas de molienda.

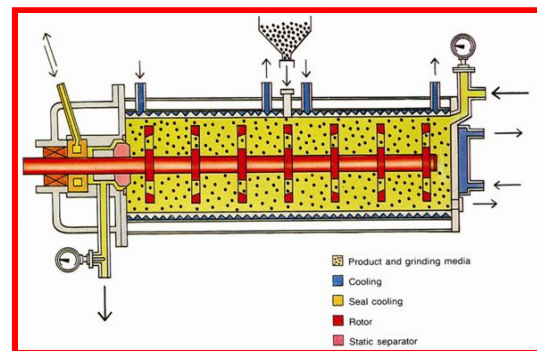
El propósito de la operación de molienda es ejercer un control estrecho en el tamaño del producto reduciendo el tamaño de las partículas de las materias primas buscando la finura y el brillo determinado por cada cliente, por esta razón frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de la calidad del producto.

El material obtenido debe ser homogeneizado para garantizar la característica del producto final.

La molienda se realiza en equipos mecánicos rotatorios, en los que la mezcla dosificada de materias primas es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas llamados molinos.

Existen los siguientes tipos de molinos:

**Molino de bolas:** “Es una herramienta o máquina donde se realiza la molienda, usando unos cuerpos trituradores que se introducen, bolas o cantos rodados de cuarzo, para reducir la materia al tamaño deseado, adecuando las característica necesarias a los esmaltes y pastas, así como, homogeneizando las mezclas”<sup>1</sup> (ver imagen 5).



**Imagen 5:** Molino de bolas.

<sup>1</sup> (sitio Web de Ebroacero)

“Los molinos de perlas pueden ser considerados como una extensión de la tecnología de los molinos de bolas sólo que utilizando medios más pequeños, tienen dos sistemas de presentación horizontal y vertical dependiendo de las necesidades de espacio. La molienda es realizada mediante fuerzas impartidas por las perlas sobre el pigmento. Sin embargo, un molino de perlas depende de las fuerzas centrífugas aplicadas a las perlas por un impulsor de disco plano que rota a gran velocidad logrando así la molienda; por otro lado



**Imagen 6:** Molino horizontal de bolas.

un molino de bolas utiliza fuerzas gravitacionales para provocar las fuerzas dispersantes. Algunas de las ventajas del molino de perlas incluyen la rapidez con que logra la molienda, la habilidad de trabajar con éxito en sistemas muy viscosos y el ser más pequeño en relación con la fórmula a ser dispersada. Una desventaja es que el molino de perlas requiere que los ingredientes de la fórmula estén premezclados para que resulte eficiente. Algunos de los medios utilizados en este sistema son: balas de acero, perlas de cristal y de material cerámico. Normalmente la molienda puede ser mejorada utilizando perlas más pequeñas para aumentar el número de puntos de impacto potenciales y manteniendo el volumen de perlas entre un 80 y 90% del volumen interno del molino. Al operar este tipo de molino, las perlas tienden a distribuirse en el mismo. El uso de muchas perlas resulta en un desgaste excesivo de las mismas. Con la práctica este sistema puede ofrecer excelentes resultados”<sup>2</sup>.

**Molino horizontal de bolas:** “Es un equipo ideal para ensayos de molienda fina en dispersiones de sólidos sobre un vehículo (mezcla de resinas y solventes)

---

<sup>2</sup> (sitio Web de Columbian Chemicals)

líquido. Su diseño horizontal permite un reparto homogéneo de la carga de bolas que mejora su efectividad.

El sistema de molienda en continuo se realiza en una cámara cerrada refrigerada exteriormente evitando un sobrecalentamiento del producto en el proceso llamada cuba de molienda y la carga de micro esferas puede ser de vidrio o cerámica según las características del producto a molturar. La alimentación del producto se hace de forma continua mediante una bomba con posibilidad de variación del caudal”<sup>3</sup> (ver imagen 6).

### **Partes principales de un molino de bolas.**

“Casco: El casco del molino está diseñado para soportar impactos y carga pesada, y está construido de placas de acero forjadas y soldadas. Tiene perforaciones para sacar los pernos que sostienen el revestimiento o forros. Para conectar las cabezas de los muñones tiene grandes flanges de acero generalmente soldados a los extremos de las placas del casco, los cuales tienen perforaciones para apernarse a la cabeza.

Extremos: Los extremos del molino, o cabezas de los muñones pueden ser de fierro fundido gris o nodular para diámetros menores de 1 m. Cabezas más grandes se construyen de acero fundido, el cual es relativamente liviano y puede soldarse. Las cabezas son nervadas para reforzarlas.

Revestimientos: Las caras de trabajo internas del molino consisten de revestimientos renovables que deben soportar impacto, ser resistentes a la abrasión y promover el movimiento más favorable de la carga. Los extremos de los molinos de barras tienen revestimientos planos de forma ligeramente cónica para inducir el centrado y acción rectilínea de las barras. Generalmente están hechas de acero al manganeso o acero al cromo-molibdeno, con alta resistencia al impacto (también los hay de goma). Los extremos de los molinos de bolas generalmente tienen nervaduras para levantar la carga con la rotación del molino.

---

<sup>3</sup> (sitio Web de Grupo Lleal)

Ellos impiden deslizamiento excesivo y aumentan la vida del revestimiento. Generalmente están hechos de fierro fundido blanco aleado con níquel ( Ni-duro) y otros materiales resistentes a la abrasión, como goma. Los revestimientos de los muñones son diseñados para cada aplicación y pueden ser cónicos, planos y con espirales de avance o retardo. Los revestimientos del molino son un costo importante en la operación del molino y constantemente se está tratando de prolongar su vida. En algunas operaciones se han reemplazados los revestimientos y elevadores por goma. Se ha encontrado que ellos son más durables, más fáciles y rápidos de instalar y su uso resulta en una significativa reducción del nivel de ruido. Sin embargo se ha informado que producen un aumento en el desgaste de medios de molienda comparados con los revestimientos Ni-duro. Los revestimientos de goma también pueden tener dificultades en procesos que requieren temperaturas mayores que 80°C.”<sup>4</sup>

**Molino vertical de bolas:** “El concepto de la máquina se destaca por el requerimiento de espacio notablemente reducido y el menor consumo de energía en un 30 - 40 %, comparado con los molinos de bolas convencionales. Características y ventajas: tamaño granular hasta 10 mm, molinos de tamaño estándar entre 0,4 kW hasta 1120 kW, ahorro de energía posible gracias a la molienda altamente eficiente, menos material sobremolido, molienda continua, ciclos abiertos y cerrados ,nivel acústico y vibraciones bajas, ocupa poco espacio, apropiado para ampliación (ver imagen 7)”<sup>5</sup>.



**Imagen 7:** Molino vertical de bolas.

---

<sup>4</sup> (sitio Web de Alipso)

<sup>5</sup> (sitio Web de Eirich The Pioneer in Material Processing)

**Molino de rodillos:** “Son recomendados para pastas de alta pegajosidad que no pueden fluir, tales como las tintas de offset. Son muy efectivos, pero poco eficientes en la molienda, siendo su principal ventaja la facilidad de limpieza.

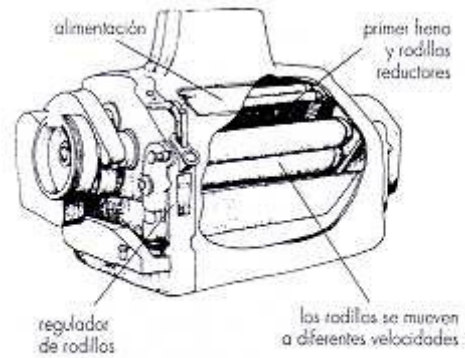
Son para reducir el tamaño de productos de molienda quebradizos, con dos rodillos de molienda que cargan uno contra el otro con elevada presión, los rodillos se mueven en

sentido inverso, uno a una velocidad y el otro a dos o tres veces la velocidad del otro. En este proceso, las proporciones de los ingredientes utilizados y la temperatura del rodillo deben permitir que el lote sea lo suficientemente suave para unirse al molino de dos rodillos al principio del proceso. Un cuidadoso control de la temperatura es necesario para regular la dureza del lote y para prevenir que una cantidad excesiva del solvente se pierda y el producto se descomponga (ver imagen 8).

Dependiendo del producto deseado el lote puede pasarse por entre los dos rodillos como una hoja flexible o frágil que ya después puede ser diluida con solventes en la mezcladora apropiada. Las hojas producidas por el molino de dos rodillos pueden ser despedazadas y almacenadas para luego ser usadas”<sup>6</sup>.

Las necesidades de potencia del motor van a depender de: la clase y la calidad del grano, la condición de los rodillos, contenido de humedad del grano, la velocidad de operación, la potencia disponible, la velocidad de alimentación.

Para la mayoría de las aplicaciones, es mejor utilizar molinos de perlas, ya que para la misma capacidad de motor, ofrecen comparativamente mucha mayor productividad y mucho menor costo.



*Molino de rodillo*

**Imagen 8:** Molino de rodillo

---

<sup>6</sup> (sitio Web de Alipso)



**Medición de molienda:** El grado de molienda influye en las propiedades físicas y ópticas del recubrimiento.

“El grindómetro sirve para determinar la finura de molienda y las partículas de mayor tamaño o bien aglomerados en el proceso de dispersión. No determina el tamaño real del grano ni la distribución de los granos.

Los grindómetros se emplean para el control de calidad, en los procesos de producción, almacenamiento y aplicación de dispersiones en las industrias de la pintura, de los colores de impresión, del papel, de la cerámica, farmacéutica y alimenticia y otras muchas.

El grindómetro es un bloque plano de acero con dos ranuras planas cuneiformes cortadas en su superficie. Estas ranuras transcurren desde una profundidad máxima en un extremo del grindómetro uniformemente hasta el punto cero en el otro extremo del bloque de acero. La profundidad de la cuña puede leerse en la escala grabada en el lateral (ver imagen 9).

El grado de dispersión se indica en  $\mu\text{m}$  y en valores Hegman. La escala Hegman va de 0 a 8, siendo el número más alto de Hegman el que determine a la partícula más pequeña.

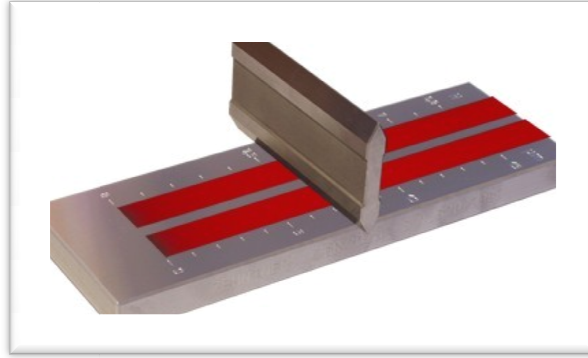
0 Hegman = Tamaño de grano  $100 \mu\text{m}$

4 Hegman = Tamaño de grano  $50 \mu\text{m}$

8 Hegman = Tamaño de grano  $0,1 \mu\text{m}$ <sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> (sitio Web de Solos Stocks)



**Imagen 9:** Grindómetro.

### **¿Por que medir el grano de finura de molienda?**

- Las películas insuficientemente molidas dan películas no nítidas, falta de brillo y con escasa capa protectora.
- La molienda resulta cara, por lo que este proceso no ha de prolongarse.
- Para cada producto ha de determinarse el proceso de molienda más conveniente económicamente.
- Para ajustar los elementos de molienda al grado más eficaz y favorable.
- Comparación del efecto de la molienda, entre pigmento de la misma índole, pero en distintas procedencias en iguales de condiciones.
- Control de salida en las fábricas de pinturas.
- Control de entrada para los consumidores de pinturas.
- Racionalización de la producción y control de calidad para evitar reclamaciones.

La tecnología actual de Colpisa S.A. para el proceso de molienda son los molinos de perlas horizontales o verticales, el choque de las perlas de molienda ocurre gracias a los sistemas de agitación de pines, discos o superficies lisas.

La cuba de molienda debe tener entre un 70-90% de cuerpos de molienda de 0.1 a 6 mm y un flujo axial continuo através de la cuba de molienda. A la salida del molino, el producto se separa de las perlas de molienda.

La operacion de los molinos de perlas esta influenciada por los parámetros del proceso tales como las propiedades de las perlas de molienda y la viscosidad del producto etc; tambien esta influenciada por los parametros de la operacion como pasadas (doble molino),pasadas simples, molienda en serie y recirculación.

### **Parametros del proceso**

❖ “Velocidad de rotación (revoluciones por minuto, r.p.m.). De acuerdo a ésta, se determina el tamaño (diámetro interior) de la jarra. Si los materiales para moler son muy viscosos, requiere una máquina que tenga control de velocidad, pero no es estable; entonces para controlar el problema se le pone la mitad de los materiales que habitualmente se usa con mas agua. Este problema se presenta en caolines y arcillas. La velocidad crítica es en la que la fuerza centrífuga está actuando, de forma que impide la molienda al “pegar” los materiales y las bolas a las paredes de la jarra sin caer.

❖ Cantidad de bolas. Suelen ser de alúmina, sílice e incluso metálicas. Las bolas deben ocupar de 30 ~ 55% del volumen interior de la cuba. Se puede manejar por peso una vez establecido el volumen, pero se deben mantener constantes el tamaño y peso de la bola o el volumen se altera. El desgaste influye enormemente en el cambio de volumen, se debe vigilar el desgaste para ir nivelando el contenido de bolas, agregando nuevas y eliminando las chiquitas. El tamaño del molino se determina según la capacidad del horno, no olvidar que el 10% del peso de las piezas corresponde a esmalte; con esto se determina la cantidad de esmalte a preparar, el tamaño de las jarras, el numero de moliendas y la capacidad de la máquina.

❖ Tamaño y forma de las bolas. Hay dos factores a tomar en cuenta: la superficie de contacto con que se muele, las bolas pequeñas, en este sentido son mejores, y el movimiento, que es de dos formas; uno en que las bolas giran entre

sí, patinando, y otro en que las bolas “chocan” separándose entre sí, en este punto las bolas grandes son mejores. Se debe encontrar un equilibrio entre ambos factores. El tamaño óptimo de las perlas depende del tamaño inicial de las partículas presentes en el producto y del tamaño final deseado, se debe diferenciar entre la molienda real y desaglomeración, los productos de fácil y difícil molienda, para los productos de fácil molienda se pueden emplear perlas menores y para productos de difícil molienda las perlas deben ser un poco mayores.

Se considera un desgaste específico de las perlas de molienda en relación a la energía introducida y a la cantidad producida. Para moler más fino se requieren bolas más chiquitas. Es necesario revisar las bolas periódicamente, cuando tengan un muy alto desgaste se eliminan porque las bolas nuevas las muelen alterando la composición de la molienda. En el caso anterior cuando las bolas bajan de 1.5 a 1 cm se retiran; las bolas de éste diámetro son ideales para cubas pequeñas que se usan para pintura. Una vez decidida la forma de trabajo para la molienda, ésta no se debe cambiar porque se obtendrían resultados diferentes en cada molienda.

❖ Densidad de las bolas. La densidad de las perlas se clasifican según la aplicación a la que van a ser expuestas las perlas, los fabricantes recomiendan usarlas con diferentes densidades:

- Blancos: 3.7 – 4.6 g/cm<sup>3</sup>
- Cremas: 4.7 – 6.0 g/cm<sup>3</sup>
- Blancos Perlados: 6.02 – 6.2 g/cm<sup>3</sup>
- Oscuros: > 6.2 g/cm<sup>3</sup>

A mayor densidad, mayor desgaste de piezas del molino y de las perlas de molienda.

❖ Cantidad de materiales. La cantidad de materiales y agua siempre tiene relación porque determina la viscosidad, la viscosidad controla el movimiento de las bolas. Si es poca agua, las bolas casi no se mueven, en el caso de haber exceso de agua, las bolas brincan y rebotan en el fondo y paredes de las cubas desgastándose prematuramente. El sonido producido por las bolas deber ser constante, si no hay sonido, no hay molienda; si el sonido es agudo y fuerte, se están desgastando excesivamente las bolas y el forro de la cuba; para esto hay que entrenar el oído, el ruido es bajo al principio, pero aumenta conforme la molienda avanza. Teóricamente la cantidad ideal de materiales debe llenar los espacios entre las bolas y cubrirse ligeramente con agua. Hay gran diferencia entre el trabajo teórico y el práctico; a veces en la práctica se carga más o menos una cantidad, como regla, se puede aplicar la siguiente fórmula: cantidad de bolas (en peso)  $\times 1 \sim 1.8 =$  materiales. Pero cuidado, si se aumenta ligeramente la cantidad de materiales, el tiempo de molienda cambia; la cantidad de materiales y el tiempo de molienda no están proporcionalmente relacionados. No es válido que, por ejemplo, si tres kilos de esmalte se muelan en cuatro horas, entonces seis kilos se pueden moler en ocho horas; para saber en cuánto tiempo se muele esa cantidad se debe probar.

❖ Cantidad de agua (en caso de molienda húmeda). Según el contenido de los materiales, la cantidad de agua varía. Incluso se puede aplicar la siguiente regla: peso de materiales  $\times 1 \sim 1.3 =$  agua. La densidad ideal para un esmalte transparente es de  $45 \sim 50^\circ \text{Bè}$ , y para un mate aluminoso  $40 \sim 45^\circ \text{Bè}$ ; todos los datos anteriores son como patrones para esmaltes; en el caso de pastas y engobes se deben cambiar todos los datos a  $\frac{1}{2}$  o  $\frac{1}{3}$  de parte, según la viscosidad de la arcilla.

❖ Tiempo de operación. Tiempo de molienda. La duración la molienda, como ejemplo, para esmaltes está entre 8 a 12 horas, según la situación, para pasta de 20 a 24 horas según sea el caso. El consumo de energía para la molienda está relacionado con la superficie. Para moler pintura (que debe ser más fina que el esmalte) a veces es necesario moler por días enteros; para el caso del esmalte no

debe molerse demasiado fino porque se escurrirá irremediablemente en la quema. Al ir moliéndose los materiales, la superficie aumenta, al aumentar la superficie se requiere más energía, es decir, que para moler muy fino se necesita más energía. Al moler pasta o feldespatos, la viscosidad va cambiando; al principio es muy viscoso, pero después va siendo más aguado, esto es porque una parte del sodio - potasio se va disolviendo, que en estado iónico funciona como defloculante; este fenómeno es el causante de que los esmaltes se sedimenten endureciéndose mucho, para evitarlo se agrega un aditivo. La densidad es importante para proteger la vida útil de las jarras porque entre más “aguada” sea la molienda mayor desgaste tiene el forro de la cuba.

❖ Viscosidad y flujo del producto: Estos dos parámetros están altamente relacionados, ya que el flujo depende de la viscosidad del producto, si es poco viscoso el flujo se puede aumentar y esto nos genera alto rendimiento en la molienda y si el producto es viscoso el flujo es bajo y esto nos arroja un tiempo de molienda más alto y bajo rendimiento en la molienda por tanto un incremento en la viscosidad del producto conlleva a:

- Aumentar la fuerza de arrastre axial
- Aumentar la potencia de molienda
- Aumentar el cizallamiento en la región de molienda
- Disminuir tiempos de molienda
- Reducir pérdidas de producto
- Posible compactación de perlas en la salida del producto

❖ Carga de Perlas:

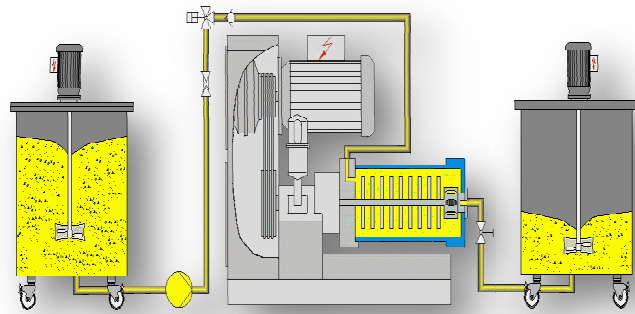
- A mayor cuba vacía en el molino
  - Mayor granulometría
  - Menor temperatura del producto a la salida
  - Mayor tiempo de molienda
- Sobrecarga en el molino
  - Aumenta la presión en la cuba
  - Aumenta la potencia de molienda
  - Aumenta la temperatura del producto a la salida

❖ Temperatura. En los molinos no existe un sistema de calentamiento pero si se puede existir de enfriamiento, este puede estar ubicado en las chumaceras que se calientan constantemente debido a la rotación que realizara el molino y al peso que soporta. Pero este sistema de enfriamiento lo realizara el sistema de lubricación cuando constantemente va lubricado, este factor afecta directamente el proceso de molienda ya que si el producto es dificil de moler el molino adquiere temperaturas altas.”<sup>8</sup>

### Sistemas de molienda en el medio existentes

Por pasada (ver imagen 10):

- La calidad del producto depende del control de vacío de la bomba.
- Ocupa dos ollas durante todo el proceso.
- Recomendado para productos de fácil molienda.



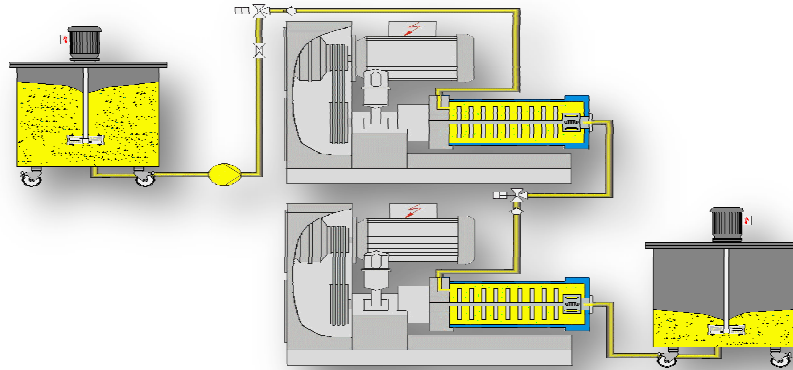
**Imagen 10:** Por pasada.

---

<sup>8</sup> (sito web de cerawikia)

Cascada (ver imagen 11):

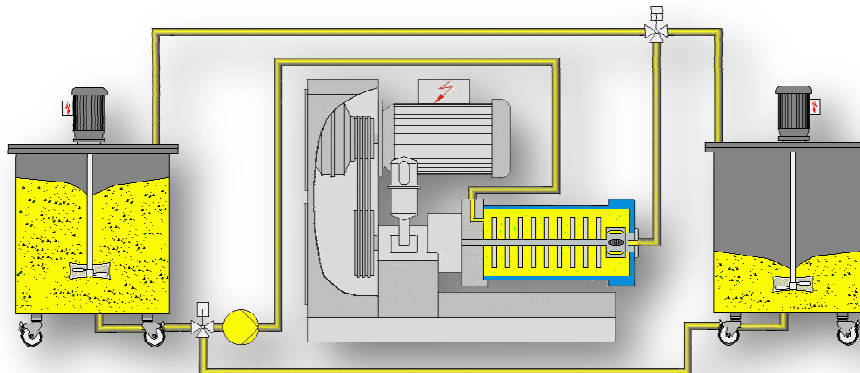
- Para Productos de alto volumen.
- Ocupa dos ollas y dos molinos durante todo el proceso.



**Imagen 11:** Cascada.

Pendular (ver imagen 12):

- Menor consumo de energía
- Proceso de múltiples pasadas
- Productos de alto requisito de molienda
- Ocupa dos ollas todo el proceso

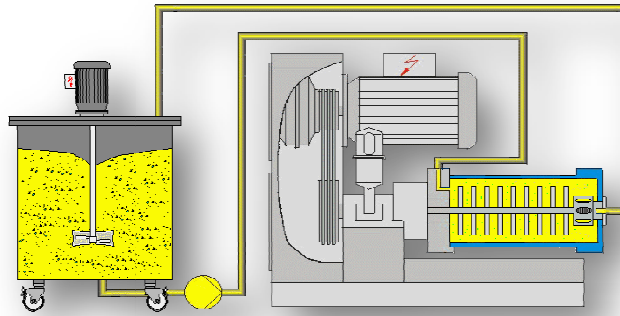


**Imagen 12:** Pendular.



Recirculación (ver imagen 13):

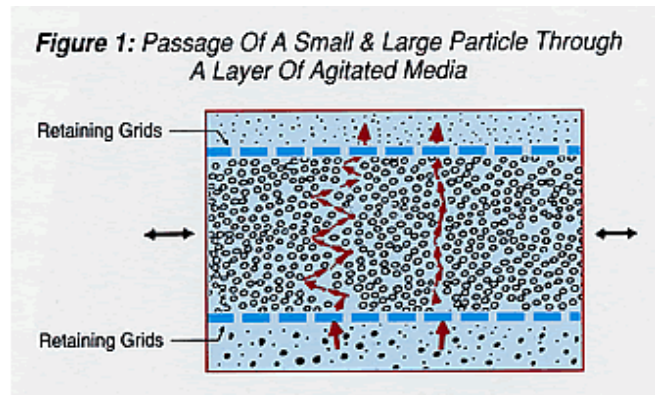
- Circulación plena.



**Imagen 13:** Recirculación.

Como funciona este metodo?

“La molienda con circulación es una combinación de un molino y un tanque grande de retención que generalmente es 10 veces más grande que el molino. El molino se carga con bolas de molienda y contiene rejillas que restringen el paso de las bolas mientras que permiten el paso del producto (ver imagen 14).

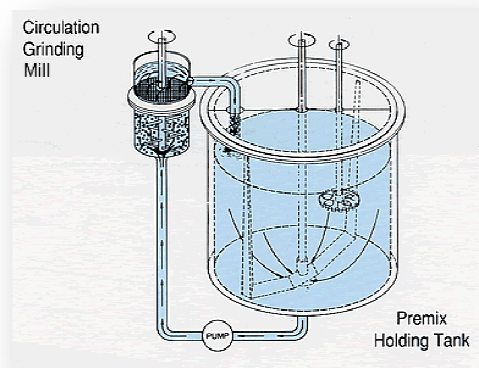


**Imagen 14:** Interior de la cuba de molienda.

El principio único del molino con circulación es la elevada velocidad de circulación (bombeo). El contenido total del tanque de retención se pasa a través del molino por lo menos una vez cada 7 minutos y medio, o aproximadamente 8 veces por hora.

Esta velocidad alta de bombeo da una molienda más rápida y una distribución de tamaño de partícula más pequeña. Este fenómeno se explica por el principio de molienda preferencial (ver imagen 15). El rápido caudal de bombeo a través de las bolas de molienda agitadas hace que la cuba de molienda con circulación actúe como un tamiz o filtro dinámico, permitiendo que las partículas finas pasen y se muevan rápidamente por el mismo, mientras que las partículas más gruesas sigan un camino más tortuoso a través del intersticio formado por las bolas.

Con el proceso de circulación, a diferencia de un equipo continuo donde el producto pasa una sola vez, el material pasa varias veces a través de la cámara de molienda hasta obtener el tamaño de partícula deseado.



**Imagen 15:** Principio de molienda preferencial.

Las bolas para molienda usadas en los molinos con circulación tienen un diámetro que varía en tamaño desde 3/32" hasta 1/4". Los materiales comúnmente usados en las bolas para molienda son el cromo, el acero, la esteatita y el óxido de zirconio<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> (Union process)

## Teoría de un diseño experimental

“El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés o de respuesta. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas que determina que variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto.

Las situaciones en las que se puede aplicar el DEE son muy numerosas. De forma general, en los cuales se observan una o más variables experimentales dependientes o respuestas y cuyo valor depende de los valores de una o más variables independientes ( $x$ ) controlables llamadas factores. Las respuestas además pueden estar influidas por otras variables que no son controladas por el experimentador. La relación entre  $x$  e  $y$  no tiene porqué ser conocida.

Aunque el DEE se puede aplicar cuando se estudia un solo factor (como por ejemplo en la elección de los patrones más adecuados para construir una recta de calibrado), sin duda sus ventajas se aprecian mejor cuando se debe estudiar más de un factor.

Diseño factorial  $2^k$ : cuando en un experimento hay varios factores de interés, utilizamos el diseño experimental factorial.

En el experimento factorial, se analizaran todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada réplica del experimento, para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta.

Pasos para el diseño de un experimento:

1. Observación
2. Planteamiento del problema de investigación
3. Hipótesis: premisas.

4. Método (incluye la elección de los sujetos, para la conformación de la muestra; el procedimiento, es decir, el tratamiento a los sujetos; las variables consideradas: variable dependiente, variable independiente, variables extrañas)

5. Resultados: aquí se describen cuáles fueron las relaciones observadas entre las variables (si los valores de la variable independiente realmente influyeron significativamente sobre los de la variable dependiente, si hubo tantas variables extrañas como se pensaba o si surgieron otras), para lo cual se añaden a dicha descripción tanto gráficas (de barras, de pastel, etc.) como cuadros.

6. Conclusiones”<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> (Runger, 2002)

## 4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

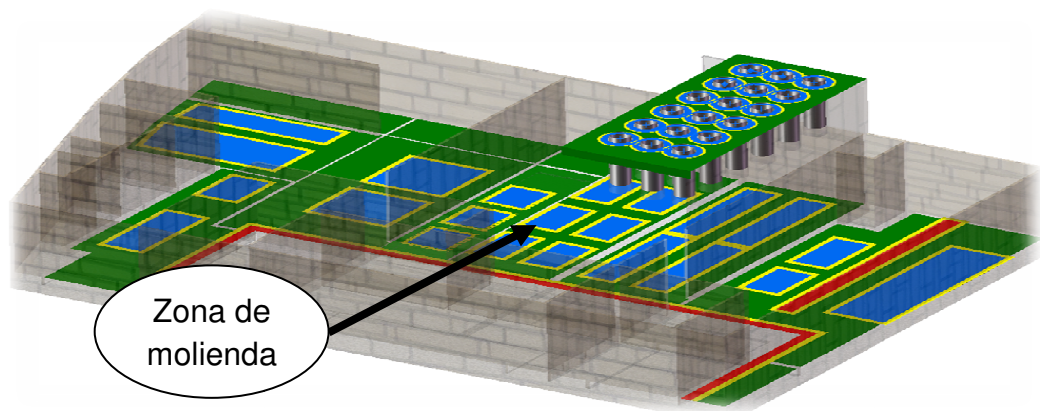
Altos tiempos de molienda en la producción, comparados con estándares de empresas de clase mundial como la casa matriz PPG que posee el 50% menos de los tiempos de molienda en sus productos, teniendo en cuenta la tecnología de molinos que actualmente utiliza Colpisa, ya que con esta tecnología se pueden disminuir los tiempos a la mitad según los propios fabricantes de estos equipos.

Porque los tiempos de molienda son altos?

### Causas:

1. Porque los equipos de molienda no alcanzan un estándar ideal de trabajo.
2. Subutilización de la capacidad productiva de los equipos.
3. Porque hay variaciones en la formulación del producto que afecta la eficiencia del proceso.
4. Falta un estudio de escalamiento de resultados pilotos del desarrollo de un producto y el producto a nivel industrial.

Este proyecto se va a llevar a cabo en la plata pinturas de Colpisa S.A en la etapa de Molienda (ver imagen 16).



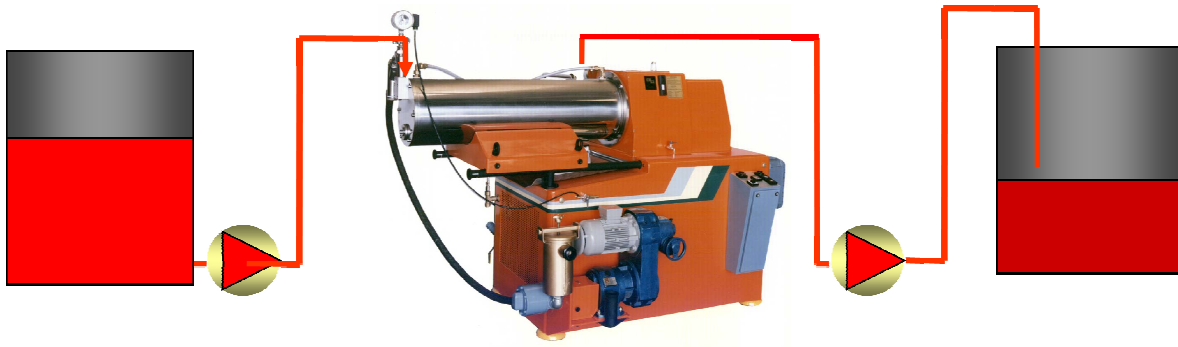
**Imagen 16:** Zona Molienda Plata Pinturas Colpisa S.A.

## 5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La etapa de molienda es uno de los cuellos de botella identificados en el proceso. Existen 7 molinos que operan por el sistema de molienda olla a olla (sistema en el cual opera un molino y dos recipientes grandes llamados ollas, ver imagen 17), en este sistema se requiere usar 2 ollas para cada molino, estas ocupan el 35% del área de molienda y se dificulta realizar otras operaciones tales como las del montacarga y irrumpe el espacio para ubicar el jugado de molino (materias primas tales como disolvente y resinas), esta mezcla es la que se le adiciona al final del proceso de molienda para poder retirar los residuos de pasta que quedan en el molino y en las ollas para luego adicionarlos al producto final que sale del proceso de molienda.

Durante el desarrollo del proyecto se realizarán ensayos piloto de 6 referencias las cuales poseen mayor demanda en el mercado. Esto se lleva a cabo cambiando los parámetros de molienda, para así encontrar resultados significativos en el rendimiento del proceso, además existe un método que puede ser más eficiente en la industria de pinturas automotriz, que el de olla a olla, llamado recirculación ya que presenta menos complejidad en la operación y logra una gran calidad a elevados caudales, dando una curva estrecha de distribución de tamaño de partícula. Con un mínimo control, garantiza la máxima reproducibilidad, ahorrando costos adicionales. Este sistema se ve empleado con frecuencia en la industria de pinturas, como referencia tenemos la casa matriz de Colpisa S.A: PPG industriales la cual es líder en sus mercados como la segunda industria de pinturas en el mundo, es un fabricante ágil, eficiente y opera en la vanguardia de las nuevas tecnologías y soluciones. Su visión es continuar siendo líderes en el mundo de revestimientos, productos especializados y de servicios, ofreciendo a clientes productos de construcción, mercados industriales, de transporte y mercados postventa. PPG tiene instalaciones de fabricación y empresas asociadas en más de 60 países de todo el mundo liderando el mercado mundial, por tanto es importante basarnos en sus tecnologías, métodos y sistemas de producción, y así

mejorar lo anteriormente nombrado y traer grandes beneficios en la molienda y de todo el proceso productivo.



**Imagen 17:** Sistema de molienda olla a olla.

## **6 OBJETIVOS**

### **9.1. Objetivo general**

- Incrementar la productividad del proceso de molienda en la planta pinturas de COLPISA S.A.

### **9.2. Objetivos específicos**

- Analizar, estudiar y medir los parámetros de operación que afectan la productividad del proceso de molienda.
- Por medio de un diseño experimental realizar ensayos donde se varíen los diferentes parámetros de operación que permitan mejorar las condiciones de molienda, en Colpisa S.A.
- Realizar Mejoras al sistema y al proceso actual de molienda.
- Comparar los tiempos de molienda actuales con respecto a los tiempos mejorados.



## 7 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el objetivo de este proyecto es necesario enfocarse en el desarrollo de los 4 objetivos específicos trasados anteriormente.

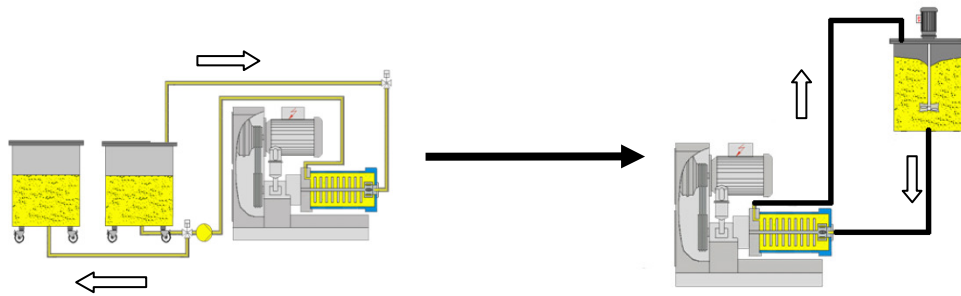
- Analizar, estudiar y medir los parámetros de operación que afectan la productividad del proceso de molienda.

### **7.1 Analizar, estudiar y medir los parámetros de operación que afectan la productividad del proceso de molienda.**

Este objetivo se lleva a cabo por medio de investigaciones que inciden en el proceso de molienda anteriormente nombrados en el marco teórico, con todo el análisis previamente realizado, consultas sobre el tema, experiencia de los profesionales expertos en el tema y premisas se definen los parámetros a estudiar en conjunto con las áreas a fines al proceso productivo, de acuerdo a la situación a mejorar se precisan los siguientes parámetros: tamaño de perlas y velocidad de eje.

### **7.2 Mejoramiento del sistema actual de molienda.**

Se cambiará el método actual de molienda olla a olla por el método de recirculación por las causas anteriormente nombradas en la justificación como se muestra en la figura. Se molerán las 6 referencias por este método para así comparar los tiempos de molienda con los actuales (ver imagen 18).



**Imagen 18:** Cambio de proceso de molienda.

El montaje de este cambio de proceso consistirá en utilizar los tanques con agitación propia del área de dilución los cuales se encuentran ubicados en el segundo piso de la planta, conectándolo por medio de mangueras al molino y realizar de esta forma la recirculación del producto.

Se definirá y medirá el indicador de productividad del proceso de molienda, tomando datos de los registros históricos de tiempos de molienda de las 6 referencias con mayor demanda a evaluar, se realizara un promedio del tiempo de cada una de estas para así crear el indicador de productividad el cual va a estar dado por el promedio de tiempo de molienda dividido los kilos producidos. Quedando entonces de la siguiente manera:

Productividad = kilos producidos/tiempo de molienda.

### **7.3 Identificar los parámetros adecuados de operación de los molinos para lograr una máxima eficiencia por medio de un diseño experimental.**

El diseño experimental se define como una metodología basada en útiles matemáticos y estadísticos cuyo objetivo es ayudar al experimentador a:

1. Seleccionar la estrategia experimental óptima que permita obtener la información buscada con el mínimo coste.
2. Evaluar los resultados experimentales obtenidos, garantizando la máxima fiabilidad en las conclusiones que se obtengan.

Para identificar los factores adecuados de molienda se realizaran 6 ensayos variando los parámetros anteriormente definidos en el numeral 7.1.

**Ensayo No1:** Consiste en cambiarles las condiciones para moler a los molinos, en este ensayo se molerá la referencia de mayor dificultad para (referencia 1) y se molerá con perlas de 1mm de diámetro que corresponde a las perlas pequeñas a una velocidad de eje baja.

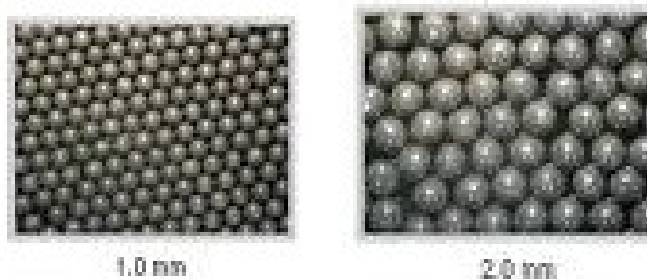
**Ensayo No2:** Se muele esta misma referencia con perlas de 2mm de diámetro que corresponden a las perlas grandes a una velocidad de eje baja.

**Ensayo No3:** Se muele la referencia 1 con una combinación de perlas pequeñas y perlas grandes a una velocidad de eje baja, donde se empieza a moler con perlas grandes (2mm) hasta la mitad de las pasadas estas favorecen a la molienda y luego se realizar un cambio por las pequeñas que favorecen al brillo (1mm) (ver imagen 19).

**Ensayo No4:** Se muele el mismo producto con las perlas pequeñas a una velocidad de eje alta.

**Ensayo No5:** Se muele el mismo con las perlas grandes a una velocidad de eje alta

**Ensayo No6:** Moler a alta velocidad de eje la misma referencia haciendo también la combinación o cambio de perlas en la mitad del tiempo de molienda.



**Imagen 19:** Perlas pequeñas y grandes.

Después de los ensayos anteriores se procede a crear las curvas de rendimiento o productividad de la etapa de molienda para comparar los tiempos de molienda actuales con respecto a los tiempos mejorados.

A los 6 ensayos nombrados anteriormente se les harán un seguimiento riguroso a la evolución de las propiedades de la pintura tales como brillo y molienda (ver imagen 3), evaluando en cada pasada que el producto pase por el molino estas propiedades y así poder concluir el comportamiento de este con respecto a la variación de los parámetros del molino y los tiempos de molienda arrojados.

Se analizan los resultados adquiridos en los 6 ensayos, se selecciona la mejor forma de moler de acuerdo a los menores tiempos que arrojen las gráficas y se realiza una comparación. Una vez seleccionado el mejor método de molienda se espera tener un aumento de la productividad de las referencias estudiadas.

## **8 ALCANCE**

Mejorar el proceso productivo de molienda en la planta de pinturas de Colpisa a través de un diseño experimental donde se varíen los parámetros de operación en los productos que llevan más tiempo (primers), por medio de ensayos experimentales, para estandarizar y aumentar la eficiencia según las características del producto, utilizando la tecnología actual: molinos horizontales de perlas, además se realizaran análisis y evaluaciones de diferentes alternativas de molienda en el sector de pinturas.

## 9 SITUACION ACTUAL DE LA ZONA DE MOLIENDA EN LA PLATA DE PINTURAS DE COLPISA S.A.

El área de molienda está compuesta actualmente por 7 molinos en la planta de pinturas, este proceso se realiza por el método olla a olla. Método que consiste en conectar la olla donde fue realizado el empastado del producto por medio de una manguera a la cuba del molino, allí se muele el producto y sale por medio de otra manguera a otra olla vacía de igual tamaño, esto se denomina una pasada (ver imagen 20). Para las pasadas siguientes que se necesiten se realiza el intercambio de la manguera que entra al molino por la que sale.



**Imagen 20:** Método olla a olla.

El criterio para escoger el número de pasadas o tiempo de permanencia del producto por el molino es por registros históricos de lotes anteriores realizados. Así se lleva una idea del número de pasadas que el producto requiere, sin embargo estos registros históricos no son de mucha ayuda porque no se tienen estandarizadas las condiciones óptimas de trabajo del molino. Lo cual no permite ver claramente cuantas pasadas necesita el producto exactamente ya que siempre arrojan tiempos diferentes en cada lote del mismo producto.

Actualmente se tiene el siguiente registro histórico de las 6 referencias a evaluar las cuales cuentan con la mayor demanda en la empresa y tienen mayor dificultad en el proceso de molienda, aquí se definió y se midió el indicador de productividad del proceso dado por la siguiente fórmula:

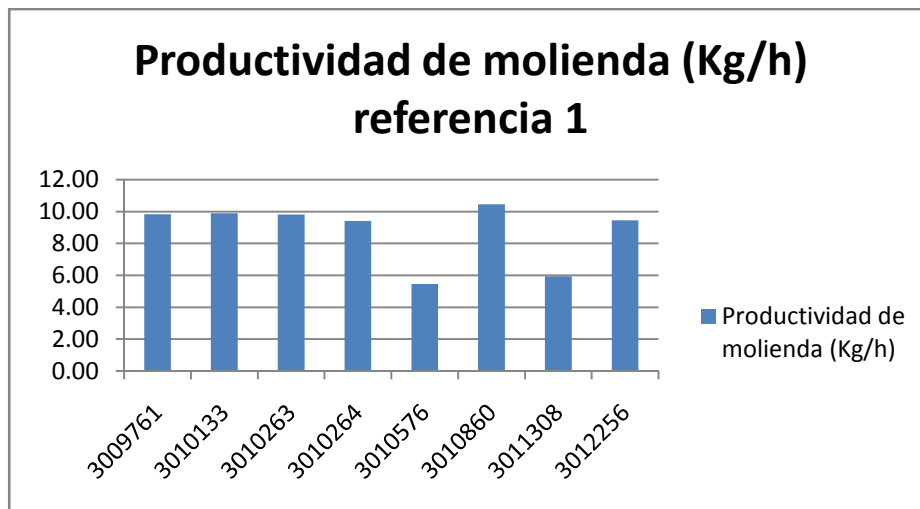
**Productividad de molienda** = cantidad del producto / tiempo total de molienda.

A continuación se muestra de manera grafica la situación actual de cada una de las 6 referencias a evaluar, con el fin de poder ver los registros históricos y productividad de una manera más clara y poder facilitar la comprensión de la situación.



Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kgs]	Tiempo total de molienda (h)	# Total de pasadas	Productividad de molienda (Kg/h)
REFERENCIA 1	3009761	1675.08	170.3	30	9.84
REFERENCIA 1	3010133	1608.13	162.6	17	9.89
REFERENCIA 1	3010263	1666.79	170.0	18	9.80
REFERENCIA 1	3010264	1687.63	179.2	17	9.42
REFERENCIA 1	3010576	1673.54	306.3	20	5.46
REFERENCIA 1	3010860	1654.64	158.2	22	10.46
REFERENCIA 1	3011308	1647.16	276.9	45	5.95
REFERENCIA 1	3012256	1614.61	170.8	21	9.45

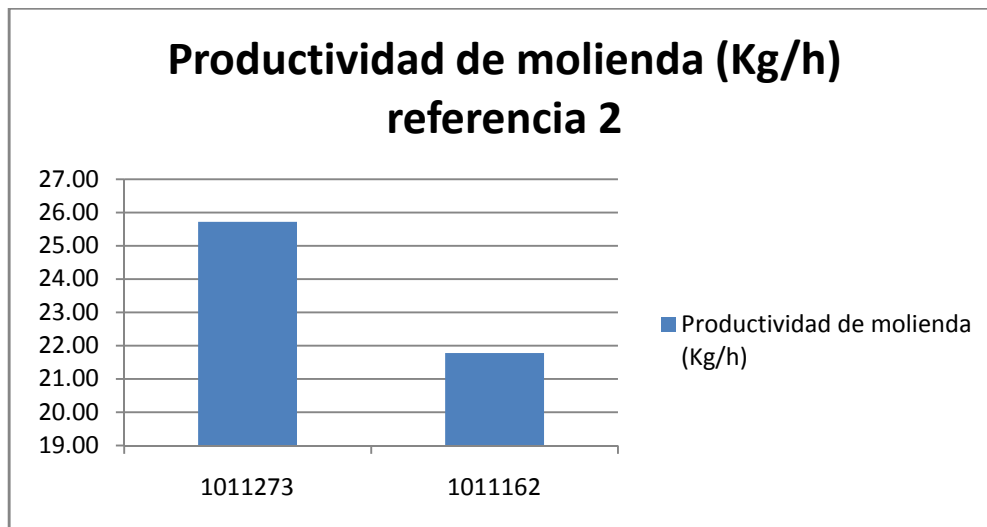
**Tabla 1:** Registro histórico de la referencia 1.



**Grafica 1:** Productividad de molienda referencia 1.

Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kgs]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)	Productividad de molienda (Kg/h)
REFERENCIA 2	1011273	1890.1	13	73.49	25.72
REFERENCIA 2	1011162	1890.5	16	86.82	21.78

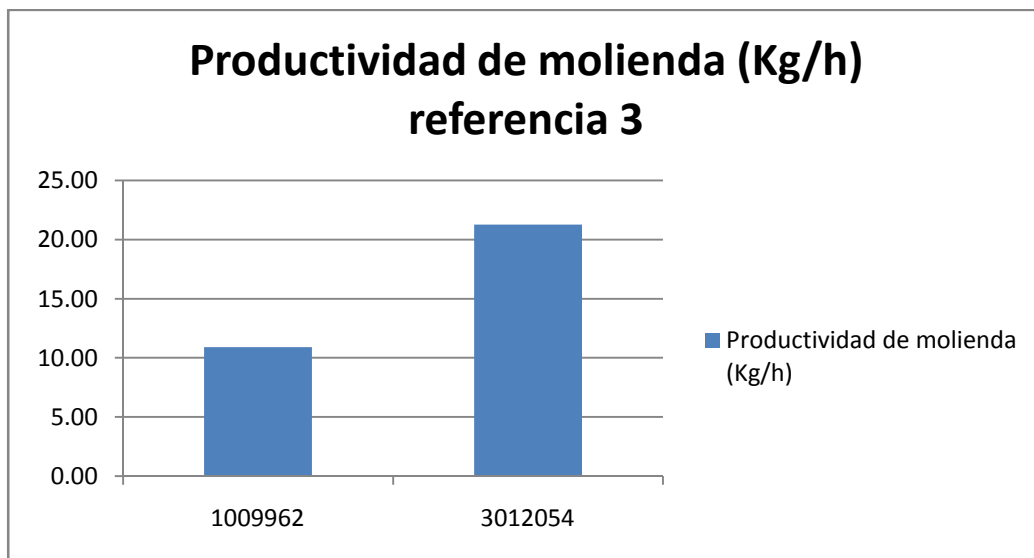
**Tabla 2:** Registro histórico de la referencia 2.



**Grafica 2:** Productividad de la referencia 2.

Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kgs]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)	Productividad de molienda (Kg/h)
REFERENCIA 3	1009962	1622.1	27	148.8	10.90
REFERENCIA 3	3012054	1679.7	14	79.0	21.26

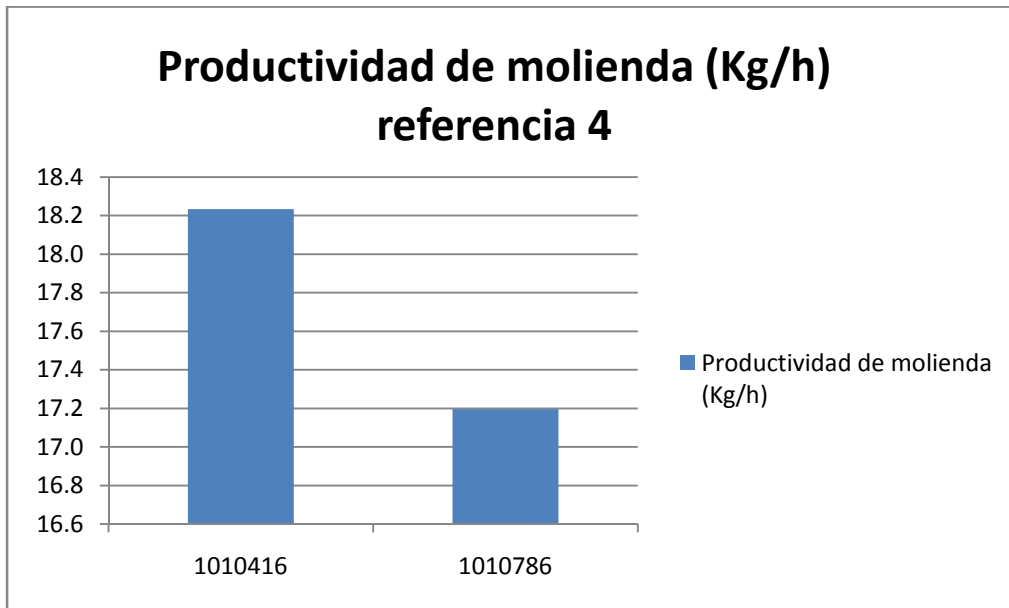
**Tabla 3:** Registro histórico de la referencia 3.



**Grafica 3:** Productividad de la referencia 3.

Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kgs]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)	Productividad de molienda (Kg/h)
REFERENCIA 4	1010416	3.557	26	195	18.2
REFERENCIA 4	1010786	3.558	30	207	17.2

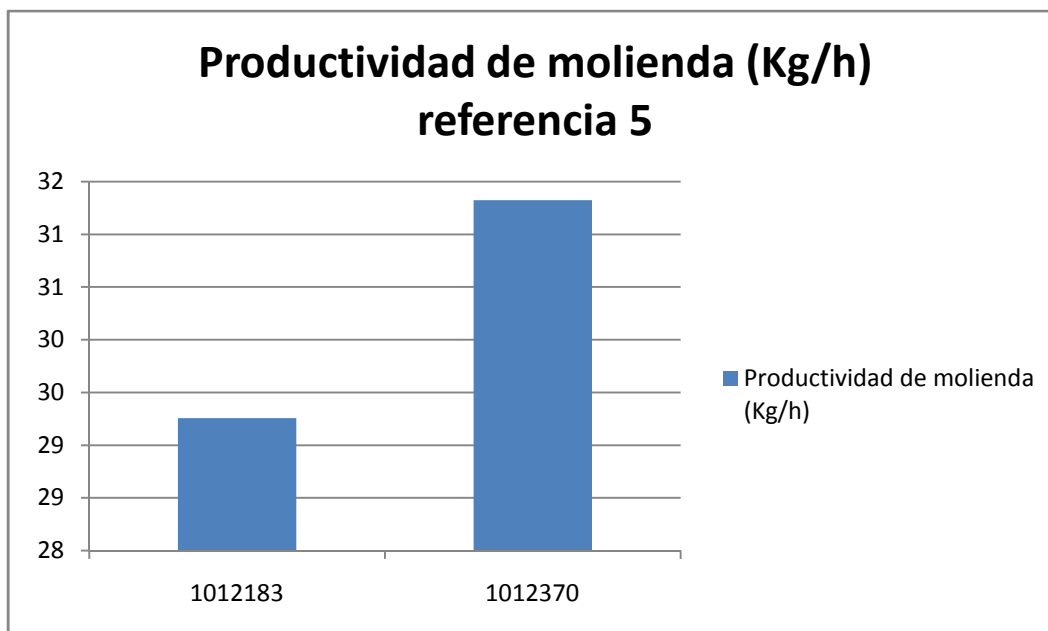
**Tabla 4:** Registro histórico de la referencia 4.



**Grafica 4:** Productividad de la referencia 4.

Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kgs]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)	Productividad de molienda (Kg/h)
REFERENCIA 5	1012183	2165	3	74	29
REFERENCIA 5	1012370	2152	3	69	31

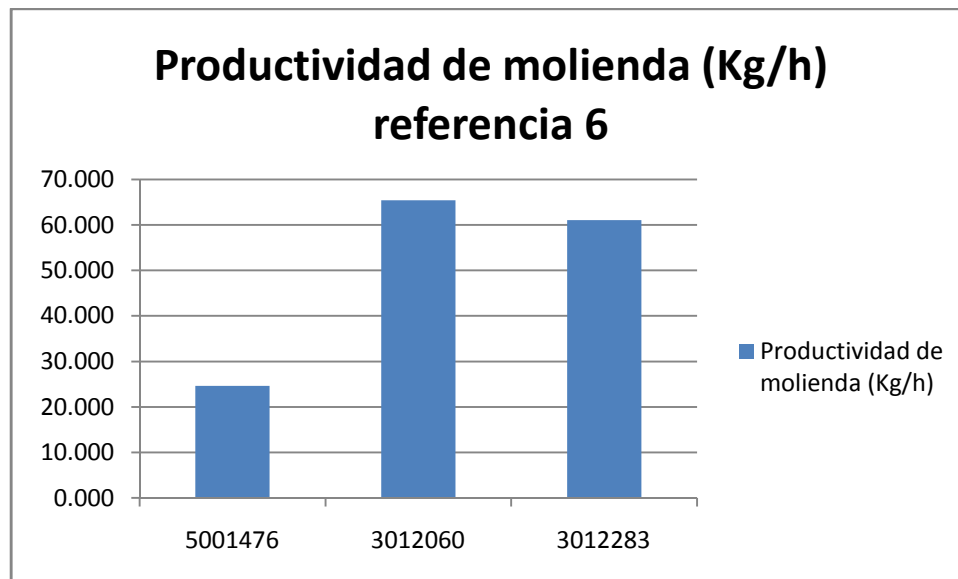
**Tabla 5:** Registro histórico de la referencia 5.



**Grafica 5:** Productividad de la referencia 5.

Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kgs]	Tiempo total de molienda (h)	# Total de pasadas	Productividad de molienda (Kg/h)
REFERENCIA 6	5001476	262.2	12	10.64	24.651
REFERENCIA 6	3012060	2277.6	5	34.8	65.457
REFERENCIA 6	3012283	2207.8	5	36.1	61.081

**Tabla 6:** Registro histórico de la referencia 6.



**Grafica 6:** Productividad de la referencia 6.

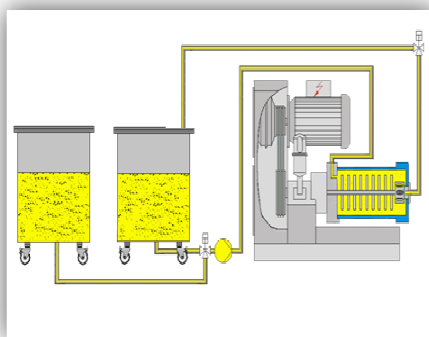
En esta situación actual se puede identificar que en algunos casos se tiene más registros históricos que en otros ya que la toma de datos de este proceso en el sistema se inicio desde hace poco para mucho de los productos que vamos a evaluar en el proyecto, también podemos ver que no hay uniformidad en el número de pasadas lo que muestra una ineficiencia del proceso actual de molienda

## 10 AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE COLPISA S.A.

### 10.1 Mejoramiento del sistema actual de molienda

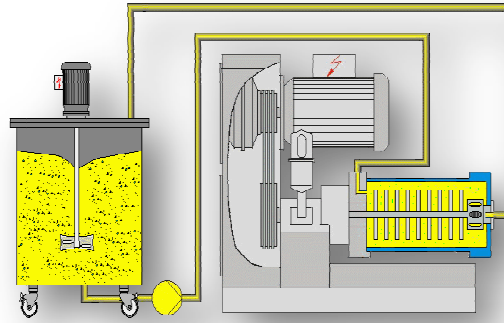
Para el desarrollo de la primera etapa del proyecto, en la cual se lleva a cabo el proceso de molienda olla a olla, se establece como punto de partida, la selección de uno de los métodos de molienda anteriormente nombrados en el marco teórico: recirculación, teniendo en cuenta las investigaciones realizadas en las diferentes industrias del sector como punto de referencia PPG, las recomendaciones e indicaciones hechas por los propios fabricantes de los molinos que posee Colpisa (NETZSCH) y las ventajas del proceso mencionadas previamente en el marco teórico, por ultimo con el apoyo del área de mantenimiento, producción y laboratorio se selecciona el método que mayor beneficios traiga a Colpisa.

- En la molienda olla a olla se garantiza que todas las partículas de pigmento pasen por la cuba (ver imagen 21).



**Imagen 21:** Proceso por olla a olla.

- La molienda por recirculación significa aumentar el flujo para que el producto tenga mas pasadas por la cuba (ver imagen 22).

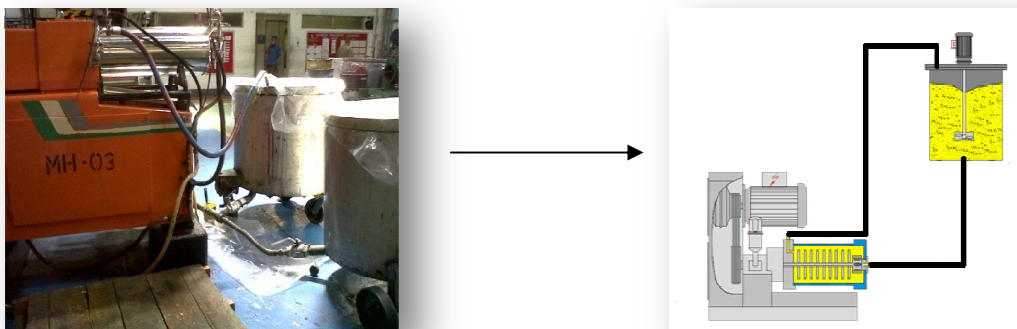


**Imagen 22:** Proceso por recirculación.

El método de recirculación es el elegido para mejorar el sistema de molienda por sus altos beneficios y su principal objetivo es lograr optimizar y aumentar la productividad del proceso, implementando el sistema por recirculación con el cual se espera disminuir el tiempo de molienda, y como factor agregado tener una menor manipulación de ollas que ayudara abastecer otras necesidades de estas en diferentes procesos tales como empastado y también permitirá tener un mayor espacio para la movilización del montacargas.

### 10.1.1 Montaje de recirculación

El montaje actual olla a olla va a ser modificado por el método de recirculación (ver imagen 23).



**Imagen 23:** Cambio de proceso.



Aplicando el principio de recirculación se procede a realizar el montaje de un sistema de circulación plena en la planta Colpisa S.A para este montaje se utilizo el molino MH-03 con una tubería de acero inoxidable que va conectado a los tanques los cuales se encuentran en la parte de dilución segundo piso (ver imagen 24).



**Imagen 24:** Montaje de recirculación.

El cambio de método constara en moler por el procedimiento de recirculación las siguientes 6 referencias las cuales son de alta rotación y de alta dificultad para moler.

### 10.1.2 Referencia 1

Se toma la referencia 1 para iniciar los ensayos del método de recirculación, se procede a moler el lote 1012673 el cual tiene las siguientes características (ver tabla 7).

Referencia 1		
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]
REFERENCIA 1	1012673	1678

**Tabla 7:** Características referencia 1.

Los 1678 Kg de pasta de la referencia 1 se adicionan a una olla donde se conecta al molino y el molino al tanque y de este nuevamente a la olla de la siguiente manera (ver imagen 24).

De acuerdo con la tarjeta de producción que entrega el laboratorio se toma en cuenta el número de pasadas recomendadas que el producto debe dar por el sistema de recirculación.

Resultado de la referencia 1:

Resultado de molienda por recirculación referencia 1				
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]	Tiempo total de molienda (h)	# Total de pasadas
REFERENCIA 1	1012673	1678,00	155	27

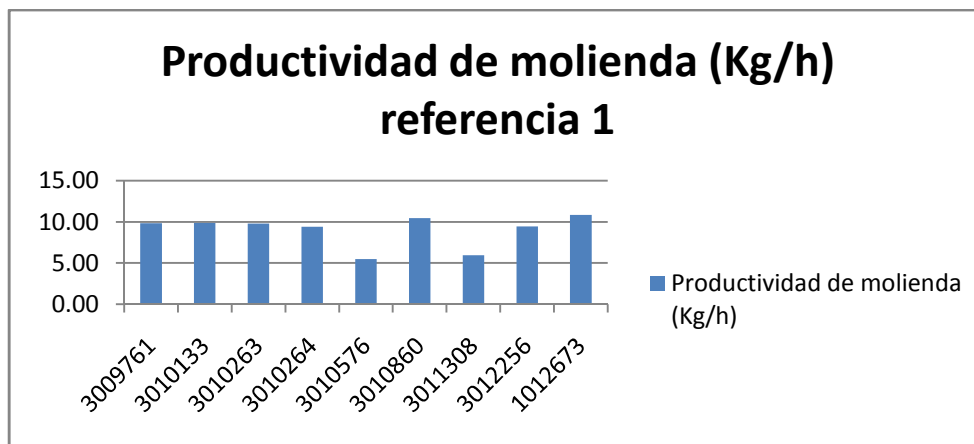
**Tabla 8:** Resultados referencia 1.

Análisis de resultados de la referencia 1: a continuación se muestra un cuadro comparativo donde se puede observar diferentes lotes que se han fabricado del producto de la referencia 1 (ver tabla 9).

<b>Cuadro comparativo de diferentes lotes de la referencia 1</b>					
Descripción	Lote producto	Cantidad inicial [Kg]	Tiempo total de Molienda ( h)	# Total de pasadas	Productividad de molienda (kg/h)
REFERENCIA 1	3009761	1675,08	170,3	30	9,84
REFERENCIA 1	3010133	1608,13	162,6	19	9,89
REFERENCIA 1	3010263	1666,79	170,0	18	9,80
REFERENCIA 1	3010264	1687,63	179,2	17	9,42
REFERENCIA 1	3010576	1673,54	306,3	20	5,46
REFERENCIA 1	3010860	1654,64	158,2	22	10,46
REFERENCIA 1	3011308	1647,16	276,9	45	5,95
REFERENCIA 1	3012256	1614,61	170,8	21	9,45
REFERENCIA 1	1012673	1678,00	155,0	27	10,83

**Tabla 9:** Cuadro comparativo referencia 1.

Obteniendo el indicador de productividad con el lote de recirculación observamos que es de 10.83 (kg/h) lo cual nos demuestra que moler por el método recirculación es un método eficiente y productivo (ver grafica 7).



**Grafica 7:** Productividad de molienda referencia 1.

### 10.1.3 Referencia 2

Se evalúa la referencia número 2 con un lote de 1012563 referencia 2 el cual tiene las siguientes características (ver tabla 10).

Referencia 2		
Descripción	Lote producto	Cantidad inicial [Kg]
REFERENCIA 2	1012563	2263

**Tabla 10:** Características referencia 2.

Los 2263 Kg de pasta de la referencia 2,3,4,5 y 6 se conectan de la misma manera que el ensayo número uno anteriormente mencionado teniendo en cuenta las indicaciones de la tarjeta de producción que genera el laboratorio de Colpisa.

Resultados de la referencia 2.

<b>Resultados de molienda por recirculación de la referencia 2</b>				
Descripción	Lote de producto	Cantidad inicial [Kg]	Tiempo total de molienda	# Total de pasadas
REFERENCIA 2	1012563	2263	33	5

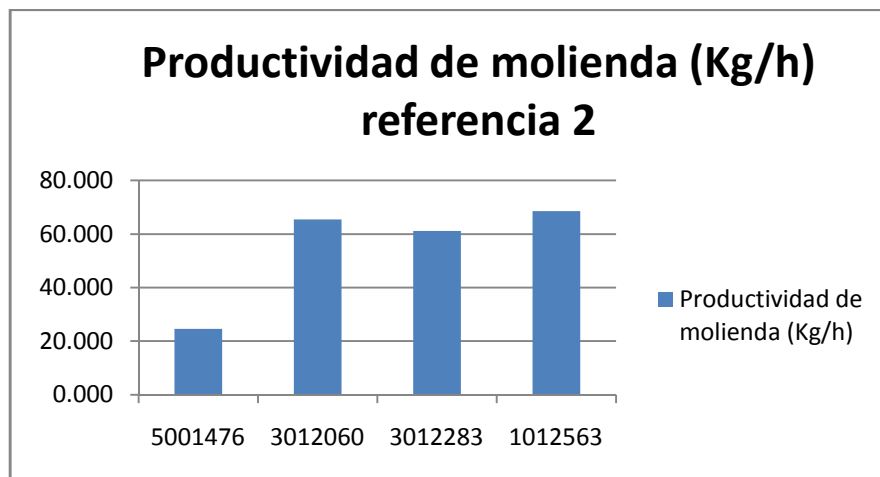
**Tabla 11:** Resultados referencia 2.

Análisis de resultados de la referencia 2: a continuación se muestra un cuadro comparativo donde podemos observar diferentes lotes que se han fabricado de la referencia 2 (ver tabla 12).

<b>Cuadro comparativo de diferentes lotes de la referencia 2</b>					
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]	# Total de Pasadas	Tiempo total de molienda (h)	Productividad de molienda (kg/h)
REFERENCIA 2	3012060	2278	5	34,8	65,457
REFERENCIA 2	3012283	2208	5	36,1	61,081
REFERENCIA 2	1012563	2263	5	33	68,576

**Tabla 12:** Cuadro comparativo referencia 2.

Se puede observar que estos tres lotes tuvieron la misma cantidad de pasadas pero se ve que el tiempo de molienda de recirculación fue menor en comparación con los demás reduciendo 2,3 horas correspondiente al 31,82% lo cual es de gran satisfacción ya que tenemos un aumento de productividad de 18,179 kg/h que corresponde a un aumento del 36,07% (ver grafica 8 y tabla 25).



**Grafica 8:** Productividad de molienda referencia 2.

#### 10.1.4 Referencia 3

Se evalúa la referencia 3 con un lote de 1012580 el cual tiene las siguientes características.

Referencia 3		
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]
REFERENCIA 3	1012580	2150

**Tabla 13:** Características referencia 3.

Resultado de la referencia 3

<b>Resultado de molienda por recirculación de la referencia 3</b>				
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]	Tiempo total de molienda (h)	# Total de pasadas
REFERENCIA 3	1012580	2150	25	6

**Tabla 14:** Resultados referencia 3.

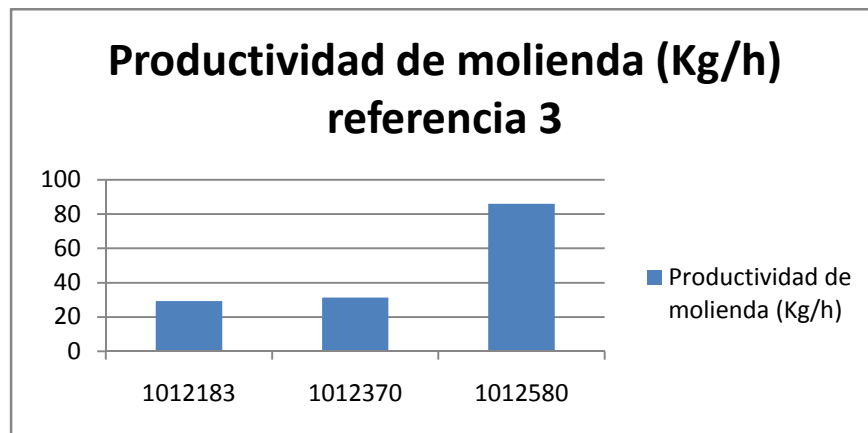
Análisis de resultados de la referencia 3: a continuación se muestra un cuadro comparativo donde podemos observar diferentes lotes que se han fabricado la referencia 3(ver tabla 15).

<b>Cuadro comparativo de diferentes lotes de la referencia 3</b>					
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)	Productividad de molienda (Kg/h)
REFERENCIA 3	1012183	2165	3	74	29
REFERENCIA 3	1012370	2152	3	69	31
REFERENCIA 3	1012580	2150	6	25	86

**Tabla 15:** Cuadro comparativo referencia 3.

Se compara el lote de recirculación el cual esta subrayado en amarillo con dos lotes anteriores. En este cuadro comparativo observamos cantidades casi

idénticas pero con un número de pasadas que duplican los otros 2 lotes anteriores, y a la vez se observa que el tiempo total de molienda se redujo aproximadamente en 46,35 horas correspondiente a un decrecimiento en 64,96% lo que nos demuestra con este ensayo número 3 un buen patrón de resultados, con el método de recirculación se dio un crecimiento del 183,92% correspondiente a un aumento de 55,7 kg/h en la productividad muy significativo como se puede ver en la gráfica 9 y en la tabla 25.



**Grafica 9:** Productividad de molienda referencia 3.

#### 10.1.5 Referencia 4.

Se evalúa la referencia 4 con un lote de 1011254 el cual tiene las siguientes características.

Referencia 4		
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]
REFERENCIA 4	1011254	3.592

**Tabla 16:** Características referencia 4.



Resultado de la referencia 4.

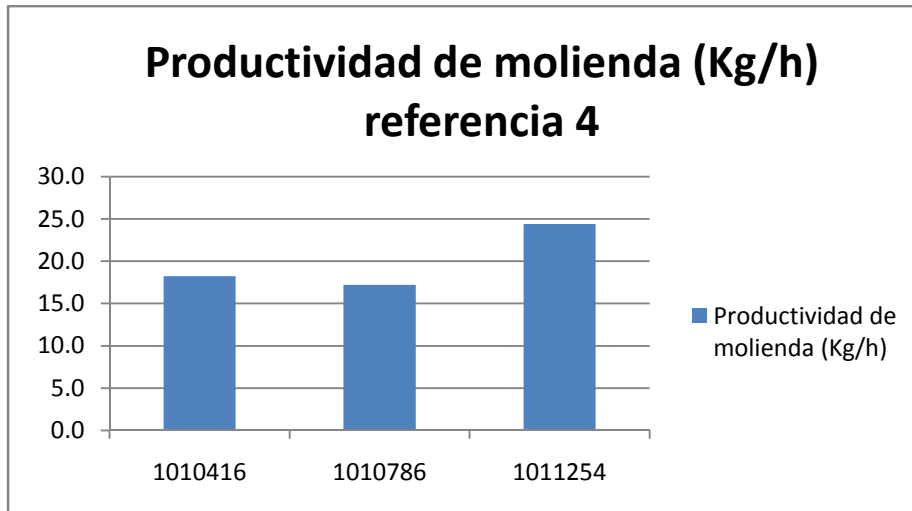
<b>Resultados de molienda por recirculación de la referencia 4</b>				
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)
REFERENCIA 4	1011254	3.592	27	147

**Tabla 17:** Resultados referencia 4.

El tiempo total de molienda disminuyo significativamente 53,9 horas que es un decrecimiento del 26,82% y a la vez que su productividad aumento 6,7 kg/h correspondientes a un 37,84% (ver grafica 10 y tabla 25).

<b>Cuadro comparativo de diferentes lotes de la referencia 4</b>					
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)	Productividad de molienda (Kg/h)
REFERENCIA 4	1010416	3.557	26	195	18,2
REFERENCIA 4	1010786	3.558	30	207	17,2
REFERENCIA 4	1011254	3.592	27	147	24,4

**Tabla 18:** Cuadro comparativo referencia 4.



**Grafica 10:** Productividad de molienda referencia 4.

### 10.1.6 Referencia 5

Se evalúa la referencia número 5 con un lote de 1011525 el cual tiene las siguientes características.

Referencia 5		
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]
REFERENCIA 5	1011525	1621

**Tabla 19:** Características referencia 5.

Resultado de la referencia 5

**Resultados de molienda por recirculación de la referencia 5**

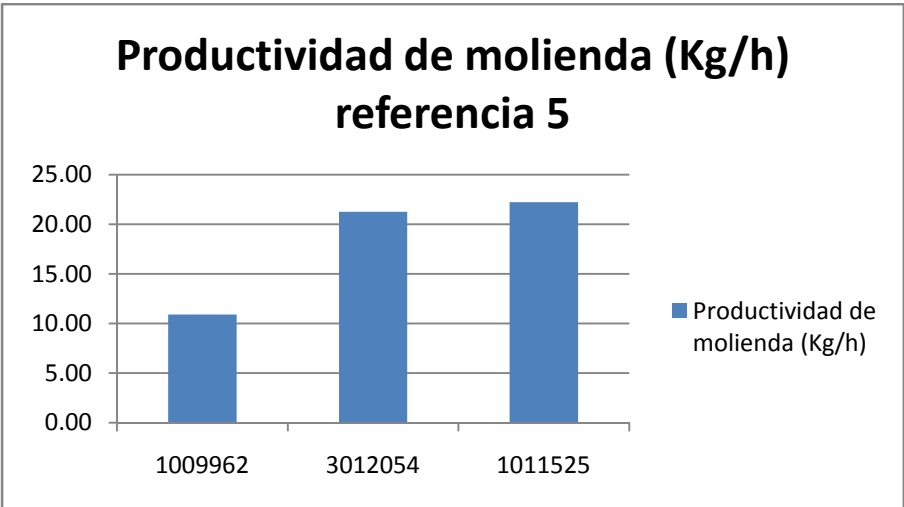
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)
REFERENCIA 5	1011525	1621,5	26	73

**Tabla 20:** Resultados referencia 5.

Aunque se ve que el numero de pasadas del lote 3012054 es mucho menos al los otros 2 el lote de recirculación sigue teniendo ventaja sobre este en un 38,13% que corresponde a un crecimiento en la productividad de 6,13 kg/h y se observa una disminución del tiempo de molienda en un 35,92% correspondientes a un decrecimiento de 40,91 horas (ver grafica 11 y tabla 25).

Cuadro comparativo de diferentes lotes de la referencia 5					
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)	Productividad de molienda (Kg/h)
REFERENCIA 5	1009962	1622.1	27	148.8	10.90
REFERENCIA 5	3012054	1679.7	14	79.0	21.26
REFERENCIA 5	1011525	1621.5	26	73	22.21

**Tabla 21:** Cuadro comparativo referencia 5.



**Grafica 11:** Productividad de molienda referencia 5.

### 10.1.7 Referencia 6

Se evalúa la referencia número 6 con un lote de 1011520 el cual tiene las siguientes características.

Referencia 6		
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]
REFERENCIA 6	1011520	1890

**Tabla 22:** Características referencia 6.

Resultado de la referencia 6

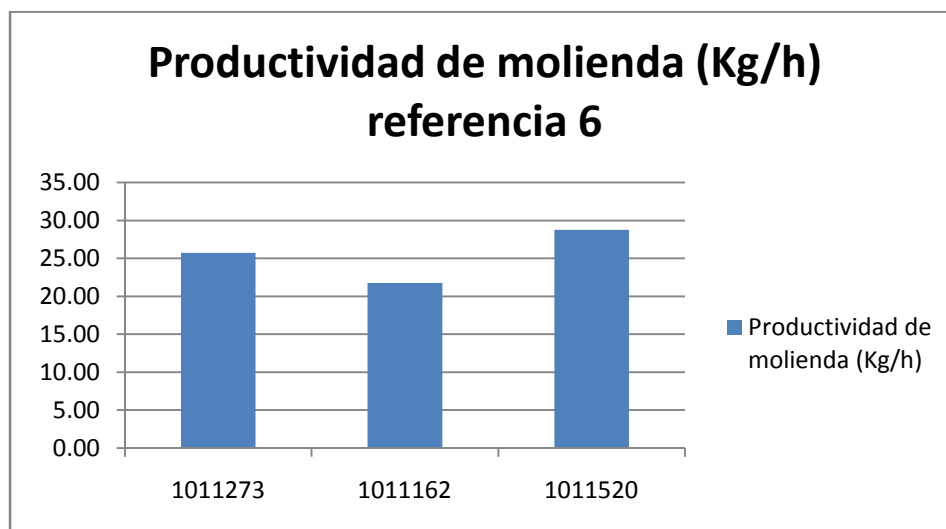
Resultados de molienda por recirculación de la referencia 6				
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)
REFERENCIA 6	1011520	1890,1	23	65,7

**Tabla 23:** Resultado referencia 6.

Se obtuvo un aumento en su productividad de molienda de un 21,13% que corresponde a un crecimiento de 5,01 kg/h y por lo tanto el tiempo de molienda tuvo una reducción del 18,02% disminuyendo 14,44 horas (ver grafica 12 y tabla 25).

<b>Cuadro comparativo de diferentes lotes de la referencia 6</b>					
Descripción	Lote del producto	Cantidad inicial [Kg]	# Total de pasadas	Tiempo total de molienda (h)	Productividad de molienda (Kg/h)
REFERENCIA 6	1011273	1890,1	13	73,5	25,7
REFERENCIA 6	1011162	1890,5	16	86,8	21,8
REFERENCIA 6	1011520	1890,1	23	65,7	28,8

**Tabla 24:** Cuadro comparativo referencia 6.



**Grafica 12:** Productividad de molienda referencia 6.

Comparando los registros históricos de estos producto con el lote de recirculación (la fila amarilla), se puede observar que las cantidades iniciales son muy similares entre si ya que manejan un estándar de la misma cantidad a fabricar, sin embargo se puede ver que el tiempo de molienda y el número total de pasadas tienen una diferencia significativa esto puede ser por varios motivos que la empresa todavía no ha solucionado y tienen que ver con la formulación y materias primas del producto.

El método de recirculación arrojó resultados de alto impacto a la hora de evaluarlos y se obtuvieron las siguientes observaciones:

Se logró en cada una de las referencias anteriores mejoras significativas al reducir los tiempos de molienda y aumentar la productividad del proceso.

Un incremento en la motivación del personal con el nuevo sistema de recirculación ya que solo se tiene que intervenir a la hora de montar el producto al sistema, se gana ergonomía puesto que se mejora en los lugares de trabajo, herramientas y tareas que coinciden con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades del trabajador.

Una liberación de espacio de gran significancia en el área de molienda ya que no se requiere el uso de 2 ollas para esta operación. Se dio un aprovechamiento de recursos en otras áreas que se requerían como en empastado con las ollas restantes.

Mayor facilidad en la movilidad del producto ya que no tiene que ser desplazado hacia el área de dilución (ver imagen 25), puesto que el producto final ya se encuentra dentro del tanque.



**Imagen 25:** Manipulación manual de las ollas antes.

Por último y lo mas impórtate fue que se aumento el numero de pasadas ya que con el sistema de recirculación se trabaja al flujo máximo permitido, por lo tanto el producto pasa mayor número de veces por la cuba a la mas alta velocidad que el molino puede trabajar, sin embargo aunque la cantidad de pasadas sean superiores a algunos lotes mostrados anteriormente, se observa que el tiempo total de molienda de los lotes trabajados por el sistema de recirculación fue el menor a comparación de los demás.

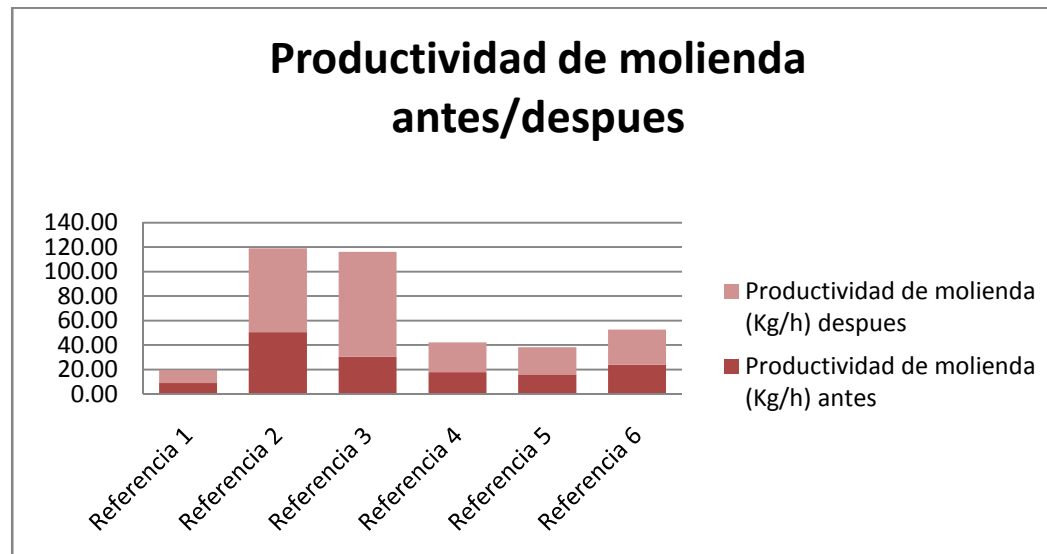
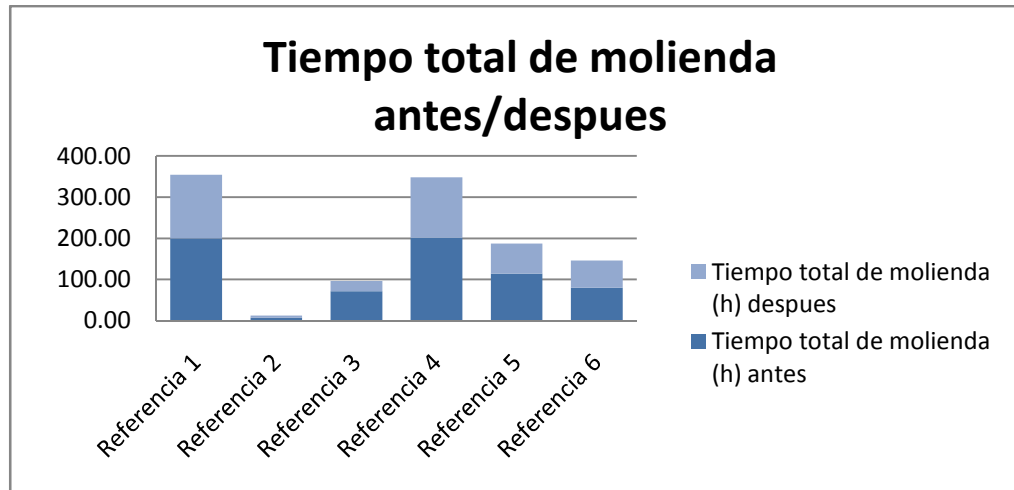
Mediante la culminación de este ensayo se logro reducir en promedio el tiempo de molienda de dichas referencias en un 33,29% del tiempo anterior (ver anexo 1).



A continuación se muestra una recopilación de los datos del antes y el después del ensayo de recirculación y sus porcentajes de mejora comparados con los promedios de los datos históricos en modo de resumen para ver más clara la situación (ver tabla 25).

Resumen de recirculación								
Descripción	Tiempo total de molienda (h) antes	# Total de pasadas antes	Productividad de molienda (Kg/h) antes	Tiempo total de molienda (h) después	# Total de pasadas después	Productividad de molienda (Kg/h) después	Porcentaje de reducción de tiempo de molienda (%)	Porcentaje de mejoramiento de productividad (%)
Referencia 1	199.29	23.75	8.78	155.00	27	10.83	22.22	23.24
Referencia 2	7.33	27.19	50.40	5.00	33	68.58	31.82	36.07
Referencia 3	71.35	3	30.29	25.00	6	86.00	64.96	183.92
Referencia 4	201.00	28	17.72	147.10	27	24.42	26.82	37.84
Referencia 5	113.91	20.5	16.08	73.00	26	22.21	35.92	38.13
Referencia 6	80.15	14.5	23.75	65.71	23	28.76	18.02	21.13

**Tabla 25:** Resumen ensayo de recirculación.



**Grafica 13:** Comparación de tiempos y productividad de molienda del antes y después del ensayo de recirculación.

## **10.2 Por medio de un diseño experimental realizar ensayos donde se varíen los diferentes parámetros de operación que permitan mejorar las condiciones de molienda y brillo, en Colpisa S.A.**

Para el desarrollo de la segunda etapa, en la cual se lleva a cabo el proceso de molienda por recirculación, se establece como punto de partida, la selección adecuada de los parámetros que afectan este proceso con base en investigaciones realizadas con el área de mantenimiento, producción y laboratorio de Colpisa.

### **10.2.1 Identificación de parámetros a estudiar**

A continuación siguiendo el orden de los objetivos específicos se procede a identificar los parámetros que se escogieron anteriormente que afectan el proceso de molienda.

Para esto se realizó una investigación con el área de mantenimiento y el laboratorio de Colpisa S.A basándonos en la experiencia de estas áreas con el método de molienda y con la teoría o premisas de fabricantes de molinos y perlas tales como Oliver, Alfacircon y Netzsch.

Las siguientes son algunas de las premisas e información más importante de los parámetros elegidos de todos los parámetros referenciados anteriormente en el marco teórico en esta investigación:

- A mayor número de choques entre perlas, menor tiempo de molienda esto se genera con alta velocidad del eje del molino.
- Tamaño de perlas homogéneo.
- La geometría esférica de las perlas para obtener choques perfectamente elásticos.
- Material de las perlas resistente al desgaste.

- Perlas de alta densidad:  
La densidad específica varía entre 3,7 g/cc y 6,2 g/cc  
La densidad del volumen varía entre 2,3 g/cc y 3,9 g/cc
- Perlas grandes (2.0 mm) disminuye tamaño grano, genera mayor molienda.
- Las perlas pequeñas (1.0 mm) generan mayor brillo.

### **10.2.2 Clasificación de parametros a estudiar**

De acuerdo con las consultas y el estudio previo se realizó una decisión conjunta con el área de producción y laboratorio Colpisa de los parámetros que afectan directamente y los cuales deben ser los parámetros a evaluar en este proyecto y poder así ver cual tiene mejor respuesta en el tiempo de molienda.

#### **Parametros y variables a evaluar:**

- Perlas grandes (2mm).
- Perlas pequeñas (1 mm).
- Combinación de ambas perlas (2mm) (1mm).
- Trabajar a baja velocidad de eje.
- Trabajar a alta velocidad de eje.

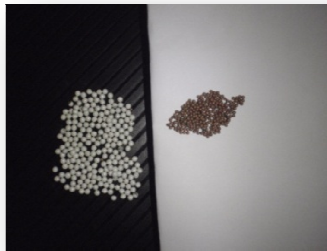
### **10.2.3 Procedimiento del diseño de los ensayos**

Los ensayos se realizarán con un molino pequeño (ver imagen 26) haciendo ensayos pilotos modificando cada una de las variables (perlas grandes, pequeñas, la combinación de ambas y la velocidad de eje alto, bajo). Se le medirá el brillo y la molienda en cada pasada que el producto de por el molino y así poder estudiar y definir cuál es la mejor forma de trabajar estos productos para que tengan un menor tiempo de molienda. Hay que resaltar que estos ensayos no cuentan con estudios de posible desgaste de cuba, de perlas y de diferentes elementos externos a los anteriormente nombrados.



**Imagen 26:** Molino pequeño en el cual se hicieron los ensayos pilotos.

**Características a evaluar:** perlas grandes, perlas pequeñas, combinación de ambas perlas, velocidad alta del eje y velocidad baja del eje (ver imagen 27).



**Imagen 27:** Perlas utilizadas en los ensayos pilotos.

**Primer paso:** Seleccionar la pasta a trabajar, separarla en canecas de a 9 kg cada una para su respectivo ensayo (ver imagen 28).



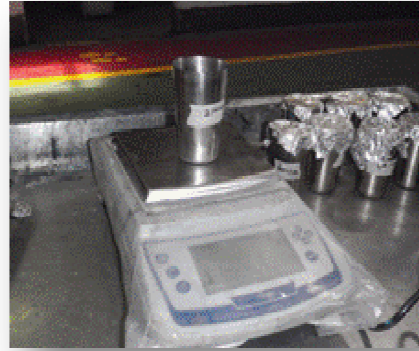
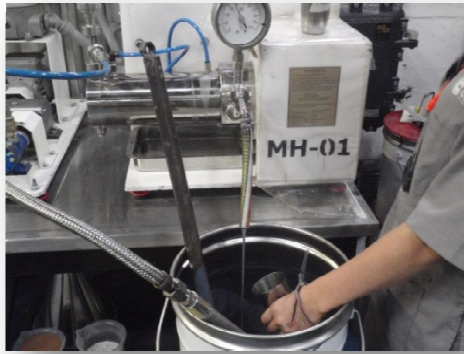
**Imagen 28:** Canecas utilizadas para los ensayos pilotos.

**Segundo paso:** Se realiza la molienda del producto, se toma el flujo para saber cuántos minutos se demora para moler un litro y así poder calcular cuánto se demora una pasada de todo el producto por el molino (ver imagen 29).



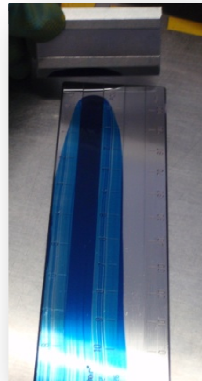
**Imagen 29:** Medición de flujo.

**Tercer paso:** Se toma muestra en cada pasada para analizar cómo se comporta el producto con respecto al brillo y a la molienda con la variable a trabajar y así también poder ver en qué pasada el producto logra el brillo y molienda con exactitud (ver imagen 30).



**Imagen 30:** Toma de muestras.

**Cuarto paso:** Se realiza el chequeo de molienda y se registra en el formato, este chequeo se realiza para mirar cuan dispersado están las partículas de pigmento (ver imagen 31).



**Imagen 31:** Chequeo de molienda

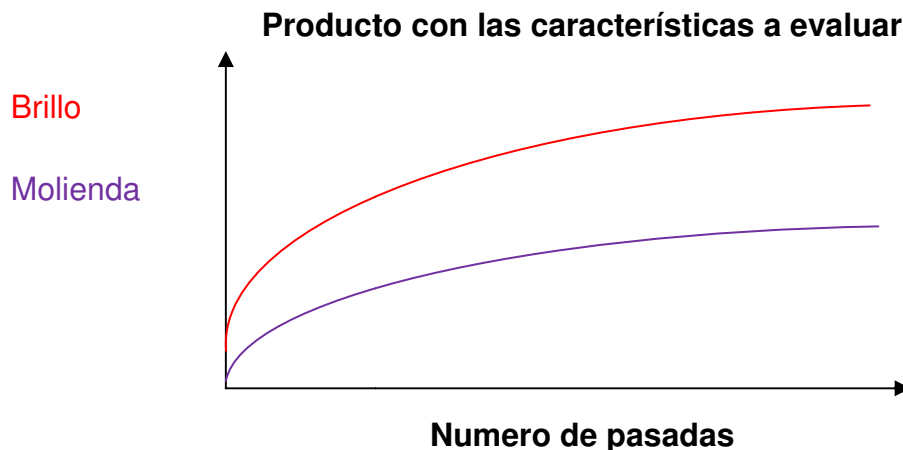
**Quinto paso:** Se aplica el producto en láminas pequeñas, se hornean para luego medirles el espesor y finalmente medirle el brillo (ver imagen 32).



**Imagen 32:** Medición de brillo.

**Sexto paso:** Registros de los datos de molienda y brillo para cada pasada que el producto pase por el molino.

**Séptimo paso:** Se construye la curva de molienda a partir de los resultados obtenidos en cada ensayo, se define las condiciones óptimas de molienda de acuerdo a los ensayos que arrojen menor tiempo de molienda y brillo por consecuencia menor número de pasadas.



Ya definidos los parámetros a evaluar y el procedimiento a seguir el área de producción de Colpisa desea saber qué factores son más importantes del proceso de molienda, para obtener la molienda y brillo en uno de sus productos en el menor tiempo posible. Para realizar el experimento se han identificado 2 parámetros que se consideran de mayor importancia, la velocidad de eje del molino y el tamaño de las perlas. Se ha decidido realizar un experimento a dos niveles alto y bajo para la velocidad de eje, pequeñas, grandes y combinación de ambas para el tamaño de las perlas, con 2 factores.



El tamaño de muestra es  $n=2$  para cada combinación de las variables independientes: velocidad de eje y tamaño de perlas, para así determinar con mayor exactitud la respuesta sobre las variables dependientes (continuas): brillo y molienda.

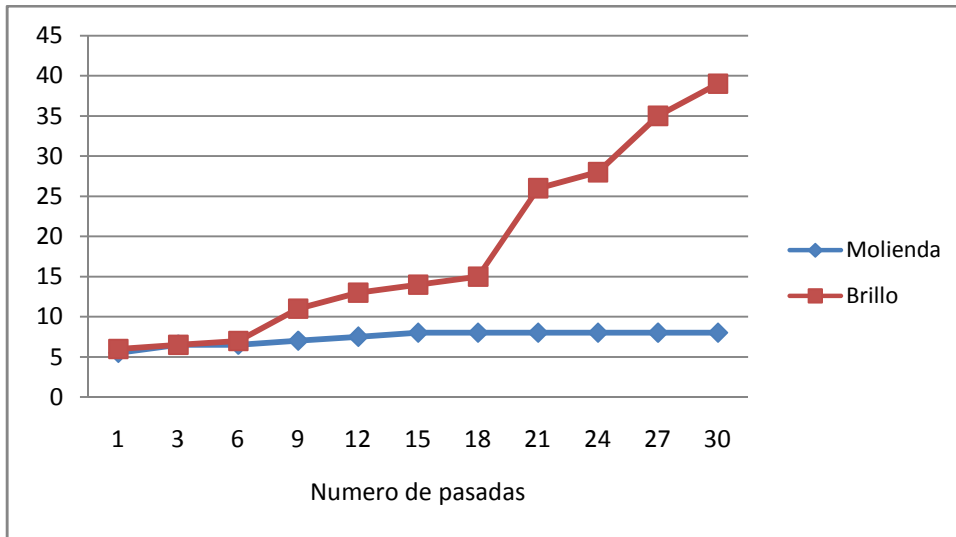
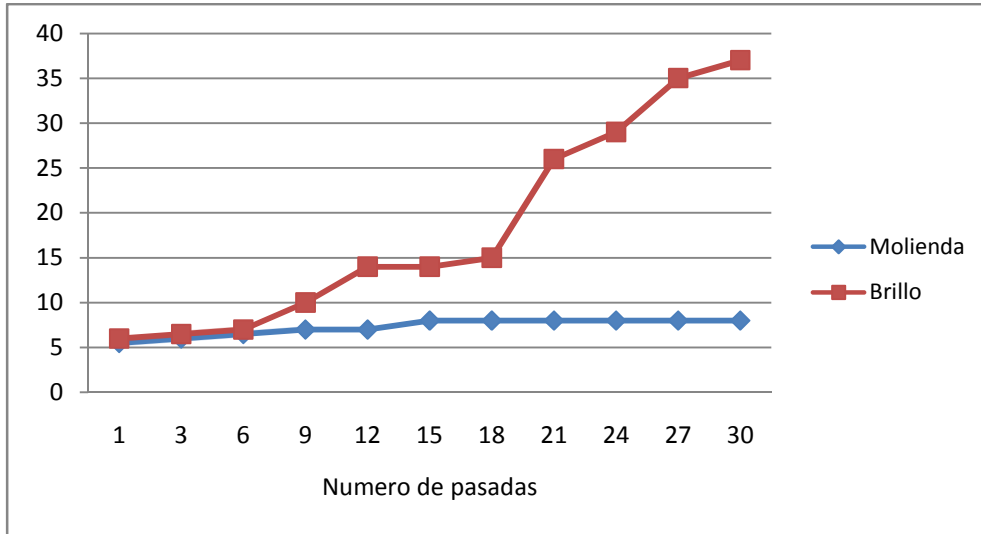
Los datos tomados son los siguientes.

**Ensayo No1:** Consiste en moler la referencia 1 con perlas de 2mm de diámetro que corresponden a las perlas grandes a una velocidad de eje baja (ver tabla 26 y grafica 14).

Pasada	Molienda	Brillo
1	5.5	6
3	6	6.5
6	6.5	7
9	7	10
12	7	14
15	8	14
18	8	15
21	8	26
24	8	29
27	8	35
30	8	37

Pasada	Molienda	Brillo
1	5.5	6
3	6.5	6.5
6	6.5	7
9	7	11
12	7.5	13
15	8	14
18	8	15
21	8	26
24	8	28
27	8	35
30	8	39

**Tabla 26:** Ensayo 1.



**Grafica 14:** Comportamiento Ensayo 1.

Se realizo el ensayo con perlas grandes a una velocidad de eje baja, normalmente estas son las condiciones con las que la compañía trabaja estos productos.

El ensayo nos mostro una curva donde la molienda se desarrolla rápidamente desde la pasada 15 y el brillo se demora en desarrollarse hasta la pasada 30. La idea es tratar de bajar el número de pasadas lo más que se pueda ya que el

tiempo se ve reflejado en estas y cómo podemos observar moler con perlas grandes nos está arrojando tiempos muy altos de molienda.

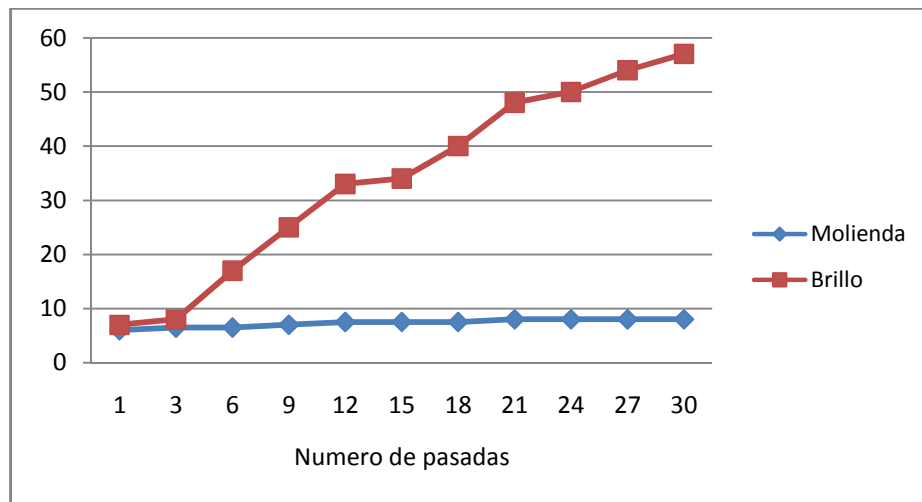
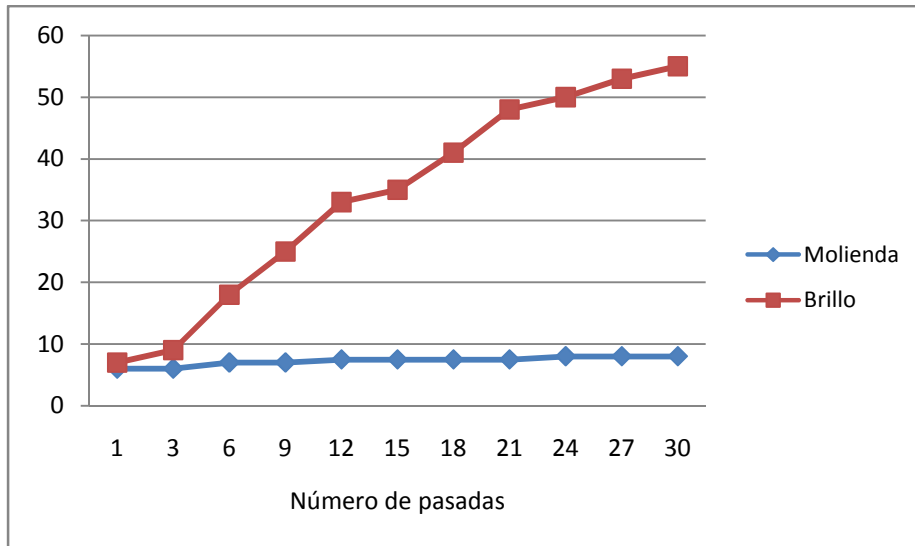
El tiempo de fabricación con estas condiciones de molienda las cuales son las que se trabajan actualmente en Colpisa (perlas grandes, velocidad de eje baja) es de 720.000 pesos para un lote tipo de producción de 4.000kg que es el lote estándar.

**Ensayo No2:** Se muele esta misma referencia con perlas de 1mm de diámetro que corresponde a las perlas pequeñas a una velocidad de eje baja (ver tabla 27 y grafica 15)

Pasada	Molienda	Brillo
1	6	7
3	6	9
6	7	18
9	7	25
12	7.5	33
15	7.5	35
18	7.5	41
21	7.5	48
24	8	50
27	8	53
30	8	55

Pasada	Molienda	Brillo
1	6	7
3	6.5	8
6	6.5	17
9	7	25
12	7.5	33
15	7.5	34
18	7.5	40
21	8	48
24	8	50
27	8	54
30	8	57

**Tabla 27:** Ensayo 2.



**Grafica 15:** Comportamiento ensayo 2.

Haciendo el ensayo con estas perla pudimos observar que el brillo se desarrollo mucho más rápido promediándolo desde la pasada numero 17 pero la molienda se nos demoro un poco más en un promedio de 22 pasadas

Estos resultados fueron más satisfactorios que con perlas grandes ya que hubo un ahorro en tiempo de molienda de 8 pasadas que equivales a 48 horas de molienda puesto que cada pasada de un lote de 4.000 kg de demora un promedio

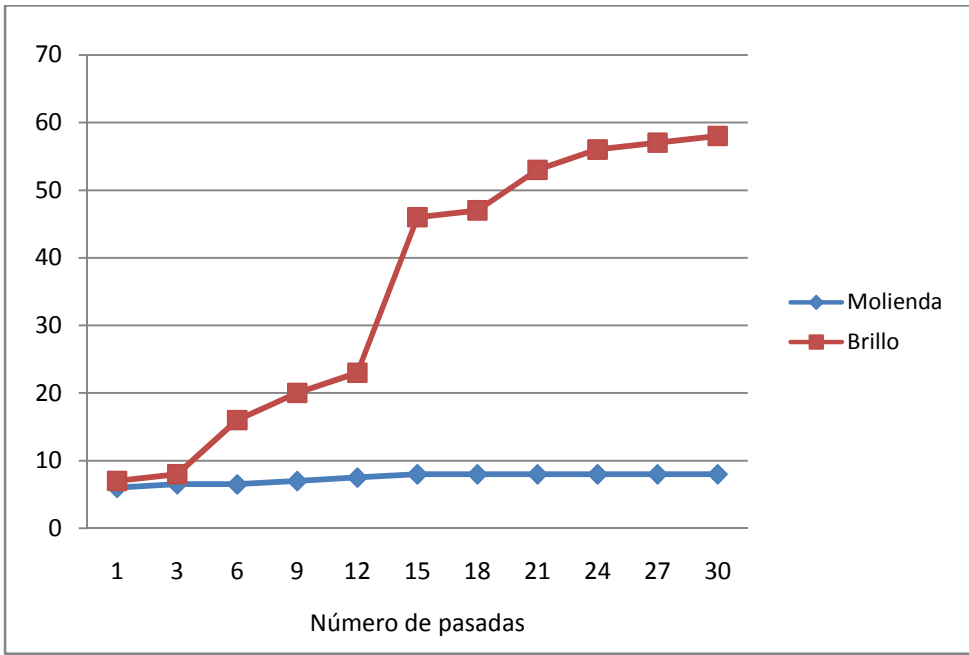
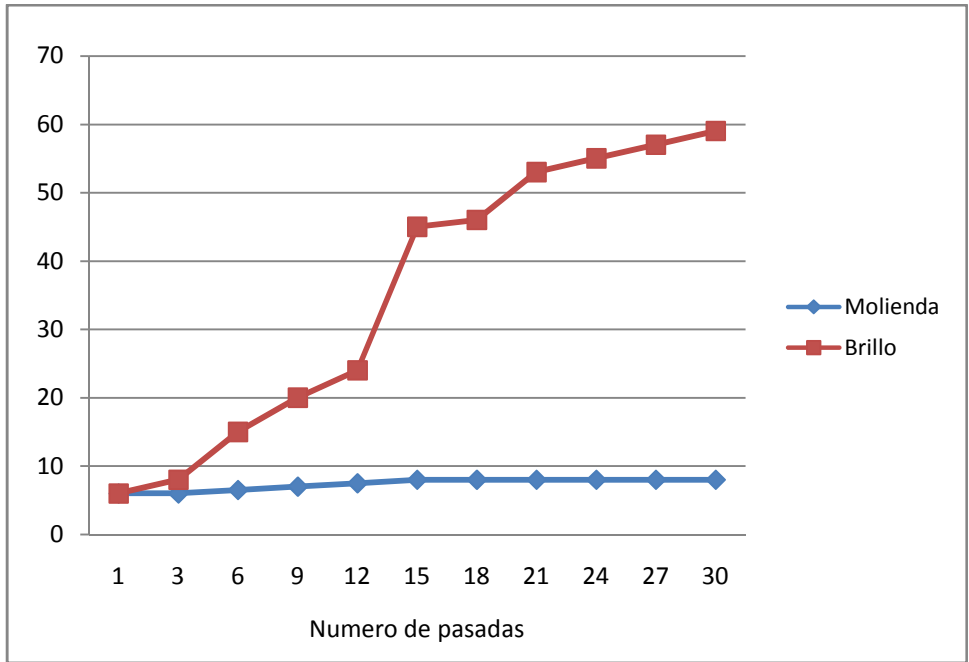
de 6 horas por cada pasada y por consiguiente un ahorro monetario de 192.000 pesos de tiempo de fabricación del producto teniendo en cuenta que la hora de trabajo la pagan a 4.000 pesos.

**Ensayo No3:** Se muele la referencia 1 con una combinación de perlas pequeñas y perlas grandes a una velocidad de eje baja, donde se empieza a moler con perlas grandes (2mm) hasta la mitad de las pasadas estas favorecen a la molienda y luego se realizar un cambio por las pequeñas que favorecen al brillo (1mm) (ver tabla 28 y grafico 16).

Pasada	Molienda	Brillo
1	6	6
3	6	8
6	6.5	15
9	7	20
12	7.5	24
15	8	45
18	8	46
21	8	53
24	8	55
27	8	57
30	8	59

Pasada	Molienda	Brillo
1	6	7
3	6.5	8
6	6.5	16
9	7	20
12	7.5	23
15	8	46
18	8	47
21	8	53
24	8	56
27	8	57
30	8	58

**Tabla 28:** Ensayo 3.



**Grafica 16:** Comportamiento ensayo 3.

Los resultados de la combinación de ambas perlas fue muy significativo ya que se puede observar una reducción del 50% en el numero de pasadas y se observo

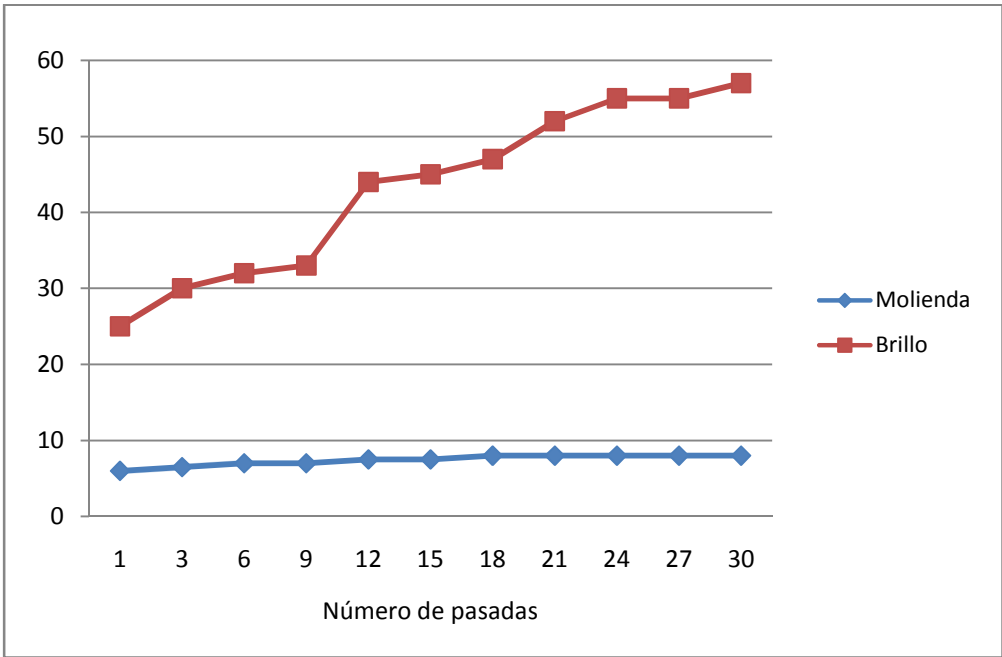
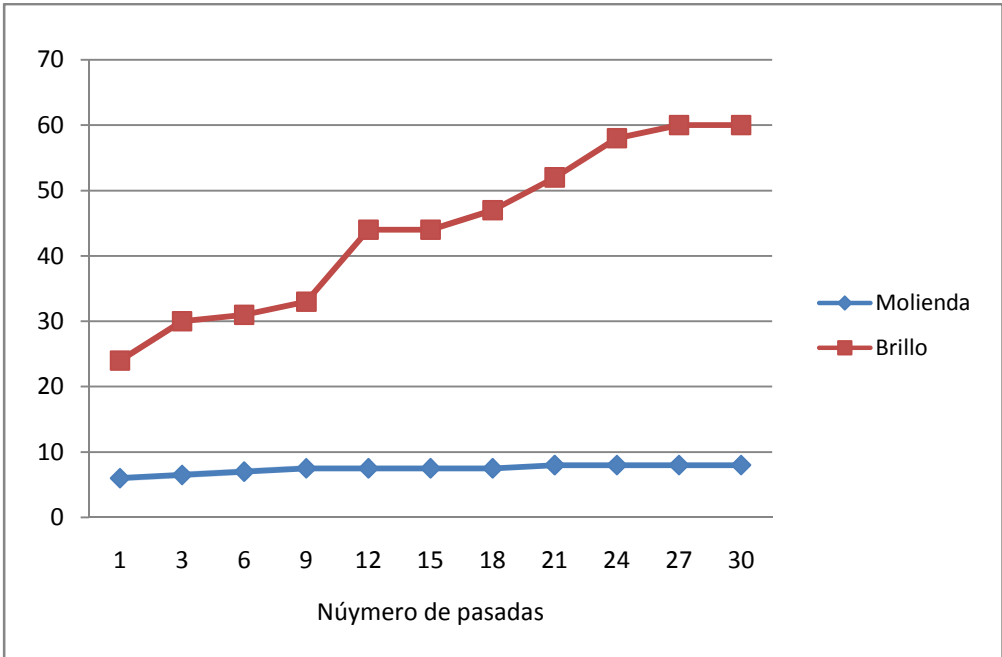
que en casi todas las pruebas con perlas grandes la molienda se logra a partir de la pasada 14 a la 15 pero con la diferencia que el brillo se obtiene mucho mas rápido esta vez puesto que se desarrolla desde la pasada numero 15 también, tenemos un ahorro significativo en el tiempo de fabricación del producto para el desarrollo de un lote normal de producción de 4.000kg que cuesta 720.000 pesos con las condiciones actuales de molienda y si implementamos las condiciones de molienda de este ensayo el tiempo de fabricación del producto seria de 360.000 pesos.

**Ensayo No4:** Se muele el mismo producto con las perlas pequeñas a una velocidad de eje alta (ver tabla 29 y grafica 17).

Pasada	Molienda	Brillo
1	6	24
3	6.5	30
6	7	31
9	7.5	33
12	7.5	44
15	7.5	44
18	7.5	47
21	8	52
24	8	58
27	8	60
30	8	60

Pasada	Molienda	Brillo
1	6	25
3	6.5	30
6	7	32
9	7	33
12	7.5	44
15	7.5	45
18	8	47
21	8	52
24	8	55
27	8	55
30	8	57

**Tabla 29:** Ensayo 4.



**Grafica 17:** Comportamiento ensayo 4.

Si observamos los resultados de las curvas de molienda podemos ver que trabajando las perlas pequeñas a una velocidad de eje alta obtenemos el brillo adecuado en la pasada número 10 lo cual confirma que es mucho mejor que si



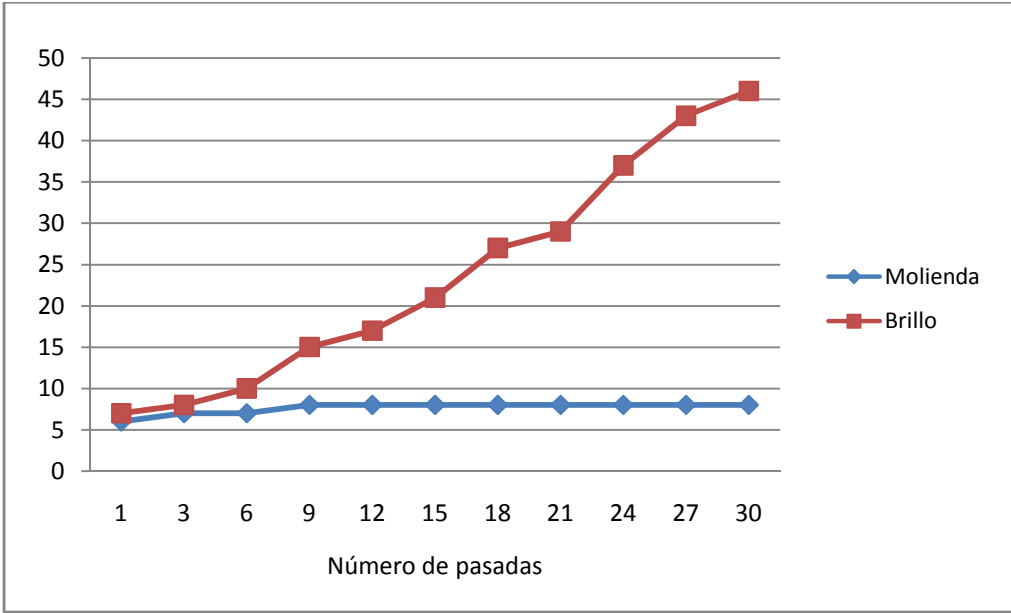
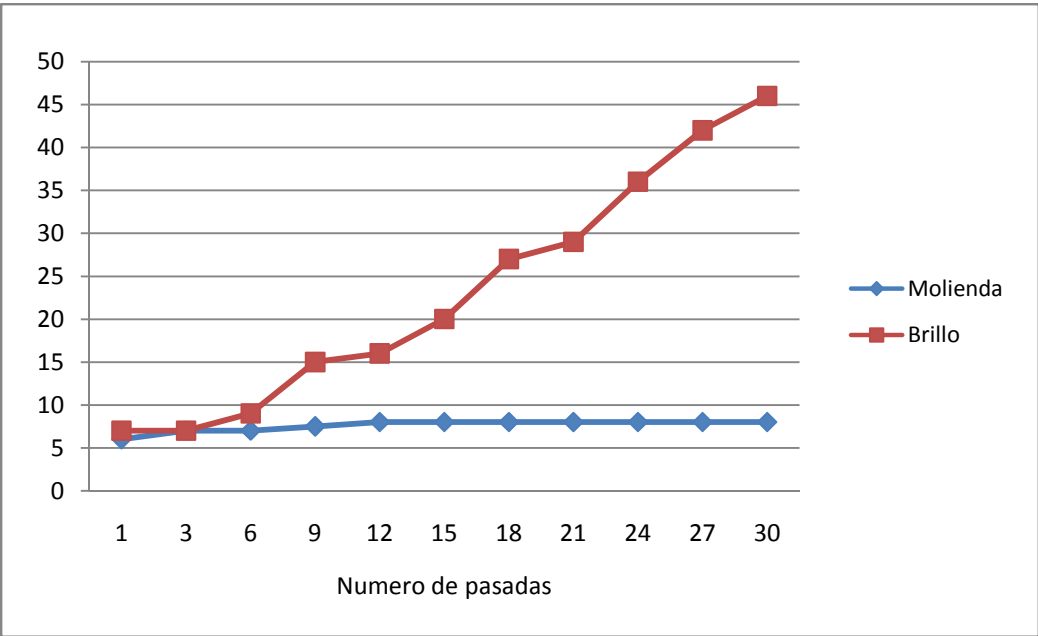
trabajáramos con estas mismas perlas pero con una velocidad de eje baja ya que el brillo en estas condiciones se desarrolla desde la pasada 17 y por esta aceleración de rotación en el eje también hay mejoras en la molienda puesto que normalmente se demora 22 pasadas y no 20.

Los resultados fueron positivos en cuanto al tiempo de molienda pero se observó una vibración excesiva en el molino al igual que un aumento de temperatura inadecuado.

**Ensayo No5:** Se muele el mismo producto con las perlas grandes a una velocidad de eje alta (ver tabla 30 y gráfico 18).

Pasada	Molienda	Brillo	Pasada	Molienda	Brillo
1	6	7	1	6	7
3	7	7	3	7	8
6	7	9	6	7	10
9	7.5	15	9	8	15
12	8	16	12	8	17
15	8	20	15	8	21
18	8	27	18	8	27
21	8	29	21	8	29
24	8	36	24	8	37
27	8	42	27	8	43
30	8	46	30	8	46

**Tabla 30:** Ensayo 5.



**Grafica 18:** Comportamiento ensayo 5.

Se ve que la molienda se logro mucho más rápido en la pasada numero 11 y un brillo adecuado en la pasada número 24 lo que significa que si comparamos este

ensayo con el de velocidad de eje baja vemos que el brillo se logra en la pasada 30 lo cual nos permite decir que tuvimos una mejora del (20%)

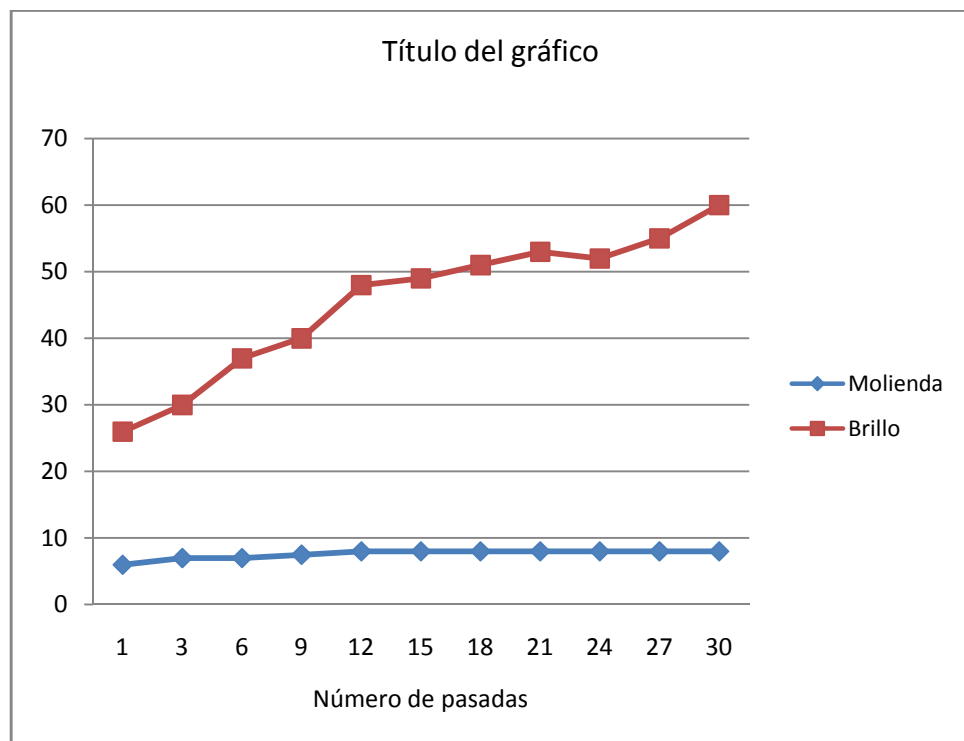
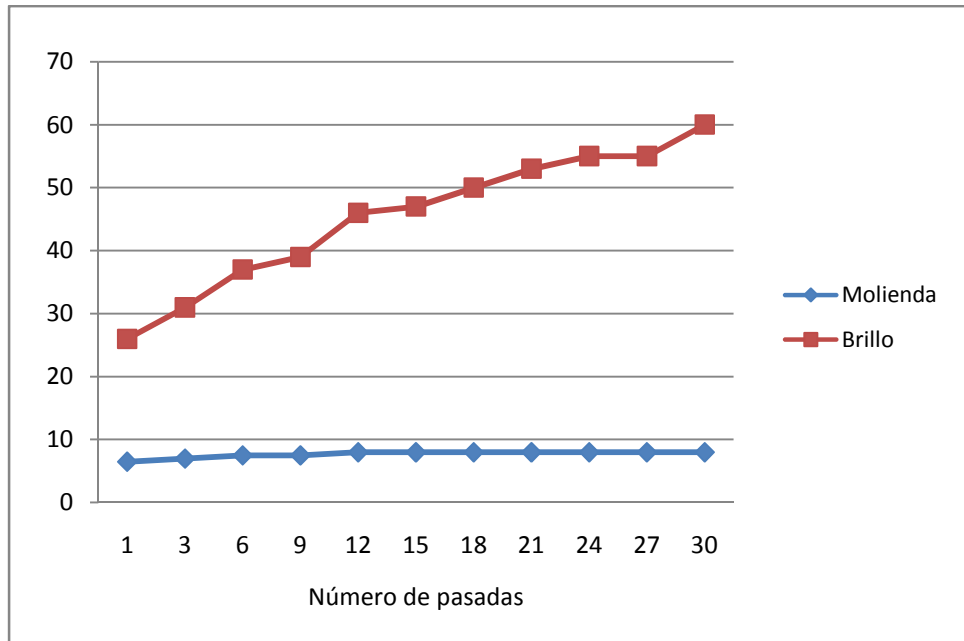
Sin embargo al igual que el ensayo anterior se observó que la temperatura y las vibraciones se elevaron significativamente lo cual sería un factor de preocupación ya que los costos de mantenimiento serían más altos de lo normal.

**Ensayo No6:** Moler a alta velocidad de eje la misma referencia con combinación de perlas o sea cambio de perlas en la mitad del tiempo de molienda pequeñas por grandes o viceversa (ver tabla 31 y grafica 19).

Pasada	Molienda	Brillo
1	6.5	26
3	7	31
6	7.5	37
9	7.5	39
12	8	46
15	8	47
18	8	50
21	8	53
24	8	55
27	8	55
30	8	60

Pasada	Molienda	Brillo
1	6	26
3	7	30
6	7	37
9	7.5	40
12	8	48
15	8	49
18	8	51
21	8	53
24	8	52
27	8	55
30	8	60

**Tabla 31:** Ensayo 6.



**Gráfica 19:** Comportamiento ensayo 6.

Este último ensayo arrojó unos resultados muy buenos en cuanto a la reducción de tiempos de molienda ya que combinando las perlas y aumentando la velocidad del eje del molino obtenemos molienda desde la pasada número 12 y el brillo

promediandolo desde la pasada numero 8 eso quiere decir que disminuiriamos el tiempo total de molienda en 12 pasadas en vez de 30 lo que representa una mejora del (60%) en el numero de pasadas o tiempo de molienda y tambien esta mejora se refeleja en el costo de tiempo de fabricacion.

Si tomamos como referencia el lote tipico de produccion para la primera referencia de 4.000 kg tenemos que para producir un lote de estos con las mismas condiciones de molienda de este ensayo tendria un costo total de tiempo de fabricacion de 288.000 pesos lo que quiere decir que comparando este resultado con el de las condiciones de moliendas actuales ( perlas grandes , velocidad de eje baja) tenemos un ahorro del (60%).

Para el análisis del experimento se toma la siguiente notación:

- Factor A: Velocidad de eje.
- Factor B: Tamaño de las perlas.
- Respuesta: Numero de pasadas para molienda igual o mayor a 8 y numero de pasadas para un brillo igual o mayor a 35.

Primero es necesario definir la matriz que tome tanto los efectos principales, como las interacciones entre ellas (ver tabla 32).La siguiente tabla es el resumen de los ensayos anteriores el cual muestra las combinaciones que se pueden dar con los factores A, B y su respuesta. La matriz para nuestro caso, queda como sigue.

Tamaño de perlas		Velocidad de eje	
-1	Pequeñas	-1	Baja
0	Grandes	1	Alta
1	Combinación		

Tamaño de perla	Velocidad de eje	No de pasadas para molienda = 8	No de pasadas para brillo = 35
-1	-1	24	15
0	-1	15	27
1	-1	15	15
-1	1	21	12
0	1	12	24
1	1	12	6
-1	-1	21	18
0	-1	15	27
1	-1	15	15
-1	1	18	12
0	1	9	24
1	1	12	6

**Tabla 32:** Matriz de iteraciones.

Con esta matriz se pasa a realizar el análisis de la influencia de cada componente sobre la respuesta utilizando el análisis de la varianza (ANOVA).

La tabla ANOVA de número de pasadas para molienda queda como sigue:

Analysis of Variance for Pasadas Molienda - Type III Sums of Squares

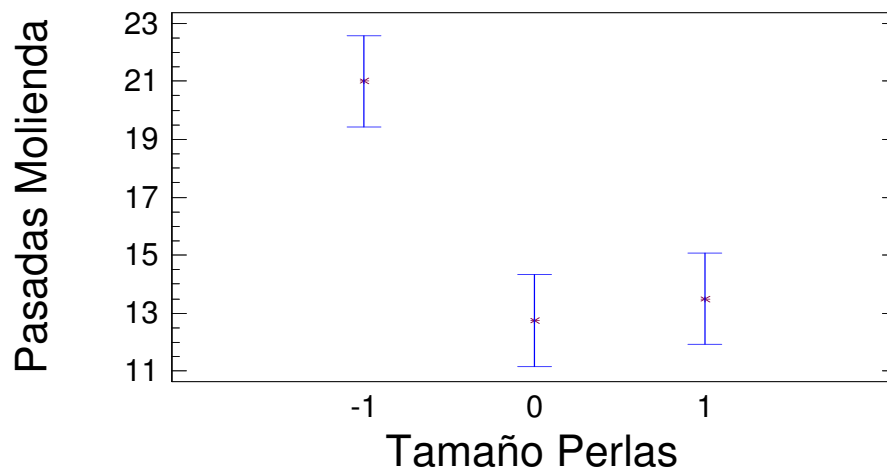
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A: Tamaño Perlas	166.5	2	83.25	44.40	0.0000
B: Velocidad Eje	36.75	1	36.75	9.60	0.0022
RESIDUAL	15.0	8	1.875		
TOTAL (CORRECTED)	218.25	11			

**Tabla 33:** Tabla Anova de número de pasadas para molienda.

Se puede apreciar en la tabla anterior que el tamaño de las perlas y la velocidad de eje afectan significativamente a la respuesta, pues su p-value que es el nivel de significación empírico del contraste es menor al F-ratio y menor a 0.05 lo que muestra una importancia no despreciable en la respuesta que es el número de pasadas mínimo para obtener un molienda mayor o igual a 8.

A continuación se muestra en la grafica 20 cual de los 3 niveles del tamaño de perlas, es el que mejor resultado arrojó en el análisis anterior para la molienda.

## Means and 95.0 Percent Confidence Intervals

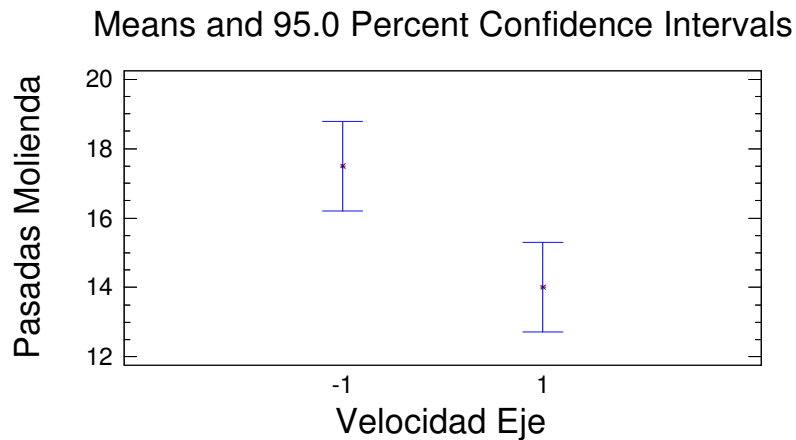


**Grafica 20:** Análisis de tamaño de perlas para la molienda.

Como se puede observar las perlas que mejor resultado arrojaron fueron las perlas grandes seguidas de la combinación de ambas, esto quiere decir que si utilizamos perlas grandes se alcanza más rápido la molienda deseada reduciendo el número de pasadas por el molino.

A continuación se muestra en la grafica 21 cual de los 2 niveles de velocidad de eje, es el que mejor resultado arrojó en el análisis anterior para la molienda.





**Grafica 21:** Análisis de la velocidad de eje para la molienda.

Como se puede observar en la velocidad de eje que mejor resultado arrojó fue la velocidad de eje alta, esto quiere decir que si utilizamos velocidad alta se alcanza más rápido la molienda deseada reduciendo el número de pasadas por el molino.

La tabla ANOVA de número de pasadas para el brillo queda como sigue:

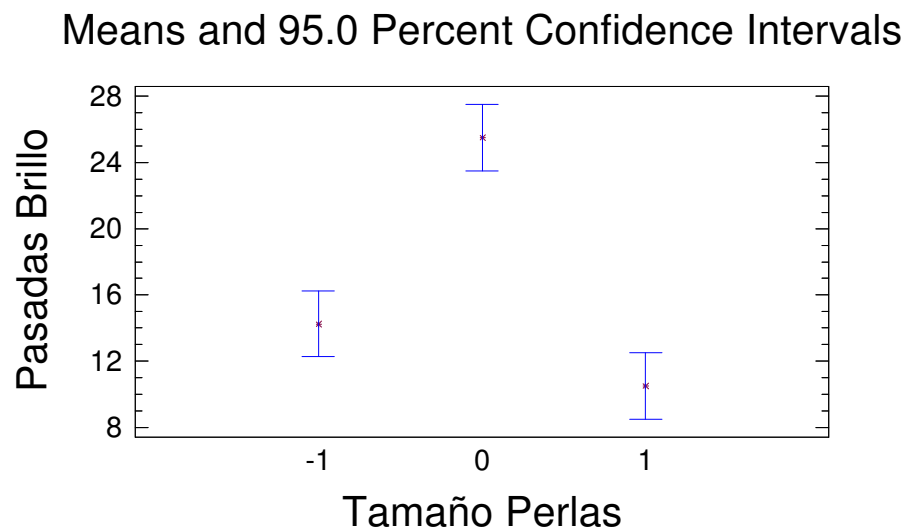
Analysis of Variance for Pasadas Brillo - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Tamaño Perlas	487.5	2	243.75	81.25	0.0000
B: Velocidad Eje	90.75	1	90.75	30.25	0.0006
RESIDUAL	24.0	8	3.0		
TOTAL (CORRECTED)	602.25	11			

**Tabla 34:** Tabla Anova de número de pasadas para el brillo.

Se puede apreciar en la tabla anterior que el tamaño de las perlas y la velocidad de eje afectan significativamente a la respuesta, pues su p-value que es el nivel de significación empírico del contraste es menor al F-ratio y menor a 0.05 lo que muestra una importancia no despreciable en la respuesta que es el numero de pasadas mínimo para obtener un brillo mayor o igual a 35.

A continuación se muestra en la grafica 22 cuál de los 3 niveles del tamaño de perlas, es el que mejor resultado arrojó en el análisis anterior para el brillo.

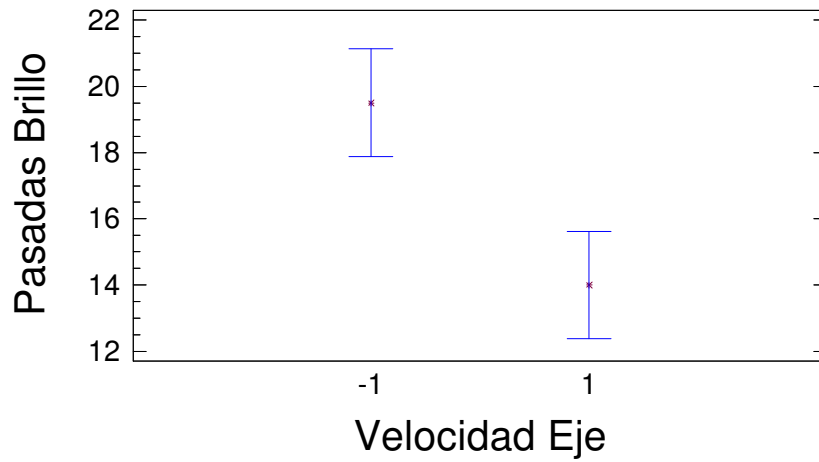


**Grafica 22:** Análisis del tamaño de perlas para el brillo.

Como se puede observar las perlas que mejor resultado arrojaron fueron la combinación de ambas, esto quiere decir que si utilizamos perlas combinadas se alcanza más rápido el brillo deseado reduciendo el número de pasadas por el molino.

A continuación se muestra en la grafica 23 cual de los 2 niveles de velocidad de eje, es el que mejor resultado arrojó en el análisis anterior para el brillo.

### Means and 95.0 Percent Confidence Intervals



**Grafica 23:** Analisis de la velocidad de eje para el brillo.



Como se puede observar en la velocidad de eje que mejor resultado arrojé fue la velocidad de eje alta, esto quiere decir que si utilizamos velocidad alta se alcanza más rápido el brillo deseado reduciendo el número de pasadas por el molino.

## 11 RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación se muestran los resultados obtenidos donde se realizaron las mejoras que se desarrollaron en este proyecto, el aumento en la productividad, la disminución de los tiempos de molienda y la disminución de costos que se generó después de ponerlas en práctica.

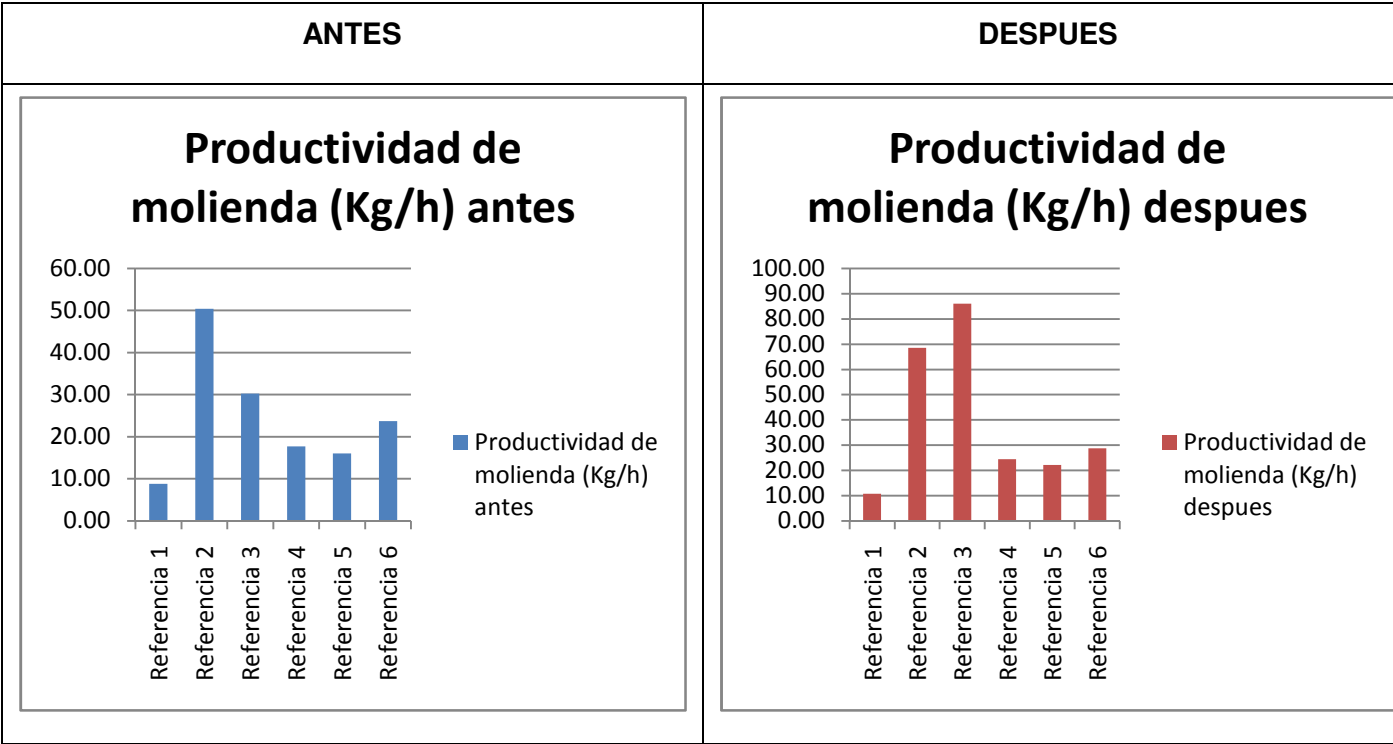
### 14.1. Resultados obtenidos en el mejoramiento del sistema actual de molienda.

Como ya se observó anteriormente las medidas correctivas tomadas para este proceso si se ejecutaron, por lo tanto se pusieron en marcha inmediatamente en Colpisa S.A. (ver imagen 33)

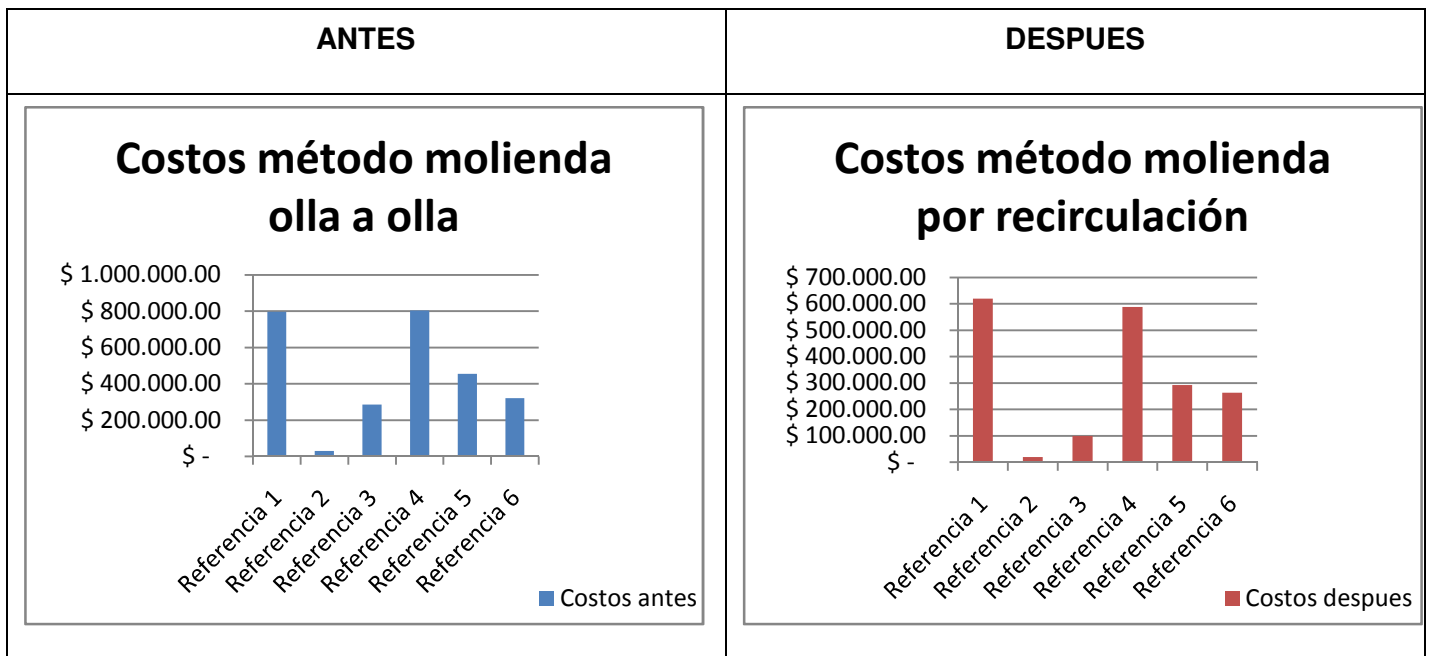
ANTES	DESPUES
<p data-bbox="326 1024 737 1056">Proceso de molienda olla a olla</p> 	<p data-bbox="922 1024 1414 1056">Proceso de molienda por recirculación</p> 

**Imagen 33:** Cambio del proceso actual de molienda

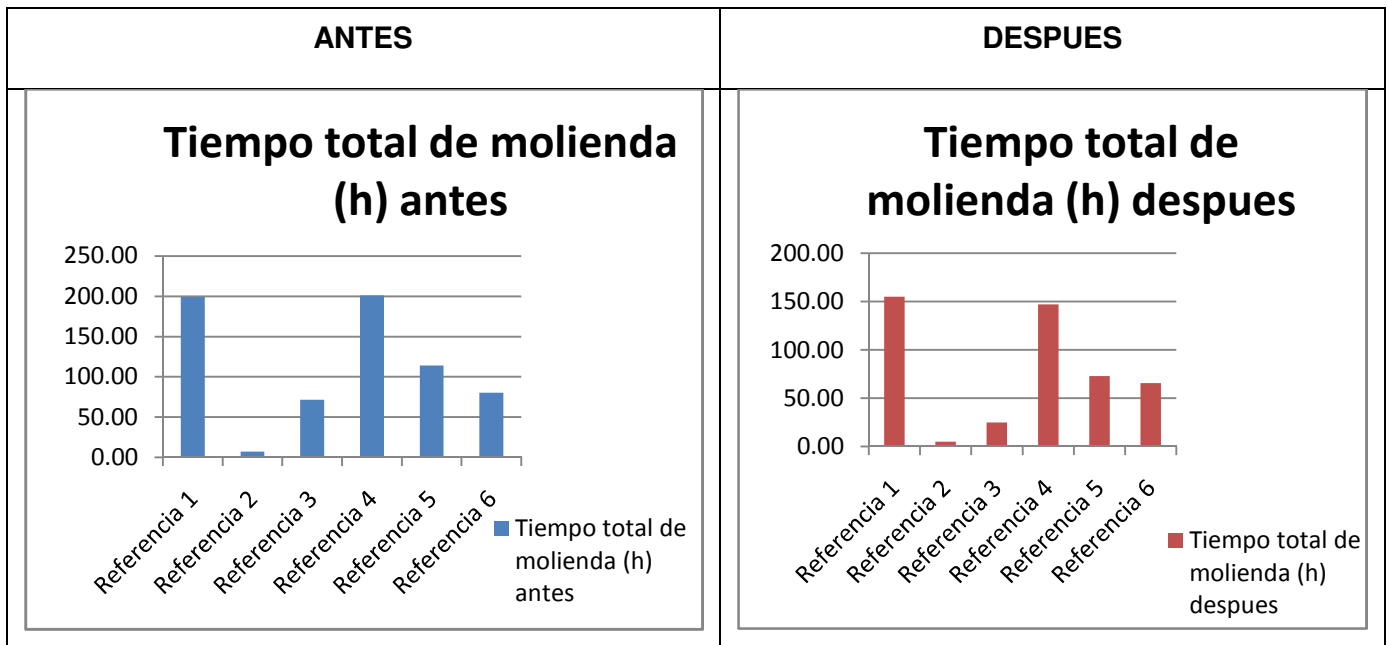
Con este cambio la productividad aumento en las 6 referencias que mayor demanda tienen en la compañía significativamente como podemos ver anexo 1 , a continuación se observa la productividad del antes y después ,los tiempos de molienda antes y después, y sus efectos en los costos reflejados en mano de obra trabajada (ver graficas 24 ,25 y 26).



**Grafica 24:** Aumento de productividad con el cambio de proceso de molienda.



**Grafica 25:** Comparación de tiempos de molienda de antes y después del cambio del proceso de molienda.



**Grafica 26:** Disminución de costos de mano de obra con el cambio de proceso de molienda.

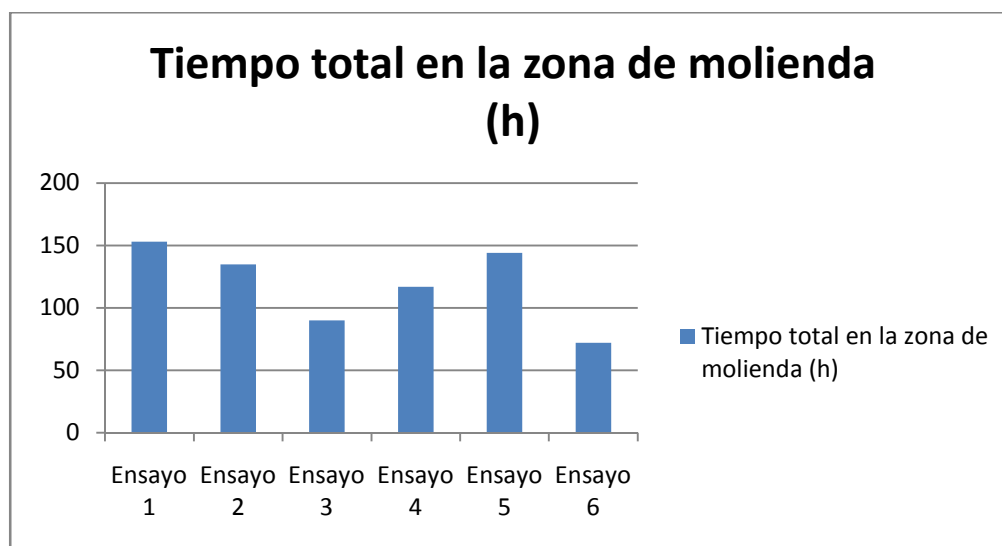
## 14.2. Resultados obtenidos en el diseño experimental

Como ya se observó anteriormente los ensayos realizados donde se variaron los diferentes parámetros de operación del método de molienda permiten analizar cuál es la mejor combinación de estos por medio de la disminución del tiempo de molienda ósea por la combinación que menos número de pasadas requiera para adquirir las características (molienda y brillo) exigidas por calidad, este tiempo se obtiene con la multiplicación del número de pasadas más alto entre el brillo y molienda (de cada uno de los ensayos, ver recuadros naranjas de la tabla 35) por 6 horas que es el tiempo estándar en que se demora cada pasada del lote por el molino, hay que tener en cuenta que aproximadamente los lotes se conforman por 4.000 Kg, también los costos nos dan otra referencia a la hora de escoger la mejor combinación de los factores, estos son el resultado de la multiplicación del tiempo total en el proceso de molienda por 4.000 pesos que es el costo de mano de obra por hora en Colpisa, esta tabla nos deja ver que el ensayo donde se ve una ahorro a comparación de los otros son en primer lugar el ensayo 6 seguido del ensayo 3 que tienen como factor común la combinación de perlas esto quiere decir que este parámetro es fundamental en la reducción de tiempo y por ende costos(ver tabla 35, grafico 27 y grafico 28).

El número de pasadas para molienda y brillo es un promedio entre las dos muestras que se hicieron para cada ensayo.

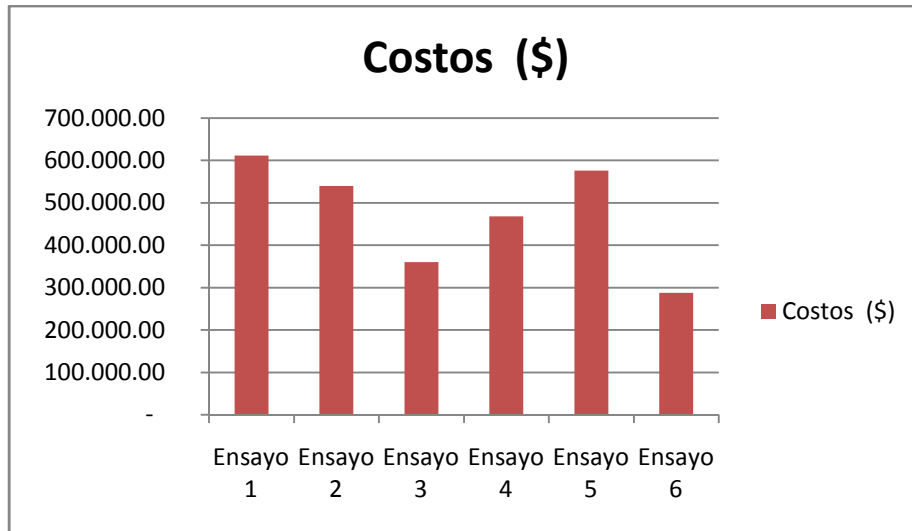
Ensayos	Numero de pasadas promedio para una molienda=8	Numero de pasadas promedio para un brillo = 35	Tiempo total en la zona de molienda (h)	Costos (\$)
Ensayo 1	15	25.5	153	612.000.00
Ensayo 2	22.5	16.5	135	540.000.00
Ensayo 3	15	15	90	360.000.00
Ensayo 4	19.5	12	117	468.000.00
Ensayo 5	10.5	24	144	576.000.00
Ensayo 6	12	6	72	288.000.00

**Tabla 35:** Resumen general del diseño experimental.



**Grafica 27:** Tiempos en la zona de molienda de cada ensayo.





**Grafica 28:** Costos en la zona de molienda para cada ensayo.

Aquí se observan los 6 ensayos, el primero se hizo con las condiciones en la que normalmente opera Colpisa y los otros cinco son con las diferentes variaciones de los factores, arrojando los tiempos y costos que se pueden llegar a obtener.

## 12 CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio donde se encontró los parámetros de operación de mayor importancia que afectan la productividad del proceso de molienda. A través del estudio que se realizó con la ayuda de las áreas de laboratorio, producción y mantenimiento Colpisa con premisas de fabricantes de perlas y molinos se logró identificar los parámetros más importantes a trabajar los cuales fueron:
  - Sistema de molienda por recirculación para mejorar el proceso actual de molienda olla a olla.
  - Se realizaron los siguientes diferentes ensayos para mejorar el número de pasadas o tiempo de molienda de la referencia 1.
    - Ensayo perlas grandes a velocidad de eje baja y alta.
    - Ensayo perlas pequeñas a velocidad de eje baja y alta.
    - Ensayo combinación de ambas perlas a velocidad de eje baja y alta.
- Se definió que los parámetros adecuados para trabajar la referencia 1 es la combinación de perlas utilizando una velocidad de eje baja ya que este el parámetro más acertado en cuanto a la reducción de tiempo o pasadas de molienda sin causar vibraciones y temperaturas inadecuadas que puedan causar algún daño o desgaste significativo al molino, con esta combinación elegida se dio una disminución del tiempo de 63 horas y 252.000 pesos de ahorro en comparación con los parámetros que actualmente maneja Colpisa que son los correspondientes al ensayo 1: perlas grandes a velocidad de eje baja, si tomar en cuenta los costos del desgaste de la cuba ni de las perlas.
- Por medio de un diseño experimental se realizaron ensayos donde se variaron diferentes parámetros de operación que permitieron mejorar las condiciones de molienda para la referencia 1 reduciendo así notablemente las pasadas que

este debe dar por el molino tanto como el tiempo de molienda y los costos de tiempo de fabricación del producto en un 50%.

- Se realizo mejoras al sistema y al proceso actual de molienda utilizando el método de recirculación en vez del método convencional que Colpisa S.A utiliza para la molienda de sus productos.

El método de molienda por recirculación fue evaluado en 6 referencias las cuales poseen alta dificultad para moler los resultados obtenidos de esta evaluación fueron muy positivos ya que se logro así un aumentó en la productividad del 15,63 Kg/h que equivale a un 56,72% ver anexo 1.

Aparte de mejorar los tiempos de molienda y también se logro una mejora en los siguientes aspectos:

- Se optimizo el espacio del área de molienda para la movilización del montacargas ya que el método de recirculación solo utiliza una olla y no dos como en el método de olla a olla.
  - Se elimino la operación de transporte de la olla con el producto final de molienda al área de dilución en un 100%.
  - Se mejoraron las condiciones de trabajo de los operarios 40%.
  - Se reduce el tiempo y costo de lavado de ollas 50%.
- Se Comparo los tiempos de molienda actuales con respecto a los tiempos mejorados dejándonos ver claramente la mejora que tuvo tanto el cambio de sistema de molienda olla a olla por recirculación como también los excelentes resultados que obtuvimos en los ensayos de la referencia 1.  
Se logro disminuir los tiempo de molienda con el método de recirculación en un 33.70 horas que corresponde a un 33,29% en comparación con el método anterior (ver anexo1).
- Por último en todas la mejoras realizadas se produjo un costo vs beneficio en la mano de obra directamente e indirectamente se ahorraron costos de monta

cargas, costos de lavado de equipos y se disminuyeron los equipos de protección para los operarios, todos estos costos no se evaluaron en cifras numéricas ya que el proyecto no se enfocó en el estudio de costos de todos estos elementos involucrados indirectamente en el proceso.

### 13 RECOMENDACIONES

- Dar continuidad a la herramienta de 5S y todas las herramientas que se implementan en la planta de COLPISA S.A, ya que estas son fáciles de mantener, y generan excelentes resultados, por lo cual se recomienda ejecutarlas en todos los puestos de trabajo de las áreas de producción esto les facilitaría a los operarios tener mejor desempeño y aprovechar al máximo su turno de trabajo sin tener tantos tiempos muertos.
- Se recomienda ser más flexibles en la política de apertura al cambio y continuar con los programas de innovación tecnológica, que sin lugar a dudas aumentaría la productividad notablemente; aunque las inversiones son altas, se garantiza la recuperación de estas.
- Para que este proyecto no sea algo eventual y sirva como ejemplo ya que es rentable, sencillo y fácil de implementar las mejoras realizadas se recomienda seguir realizando ensayos a los diferentes productos y seguir implementando el método de molienda por recirculación para todas las líneas de productos.
- Analizar la posibilidad de realizar un proyecto para mejorar la logística interna en todo el proceso de producción que integre a las áreas de materia prima producción y almacén producto terminado para así lograr un mejor desempeño en el flujo de la cadena de suministro.
- Se recomienda darle continuidad a este proyecto llevando un diseño experimental con los diferentes parámetros que no se analizaron en este trabajo e inciden en la mejora del proceso de molienda.

## 14 GLOSARIO

**Molienda húmeda:** Proceso que consiste en triturar una materia hasta reducirla a trozos muy pequeños generando así polvo o pastas.

**Brillo:** Es la propiedad óptica de una superficie de reflejar la luz especularmente. Una superficie con acabado brillante puede indicar la buena formación de la película de pintura.

**Pasadas:** Cantidad de veces que el producto completo pase por el molino.

**Olla:** Recipiente en donde se fabrican las pastas y pinturas.

**Molienda olla a olla:** Es un método o sistema de molienda donde La calidad del producto depende del control de vacío de la bomba, ocupa dos ollas durante todo el proceso. Y es recomendado para productos de fácil molienda.

**Molienda por recirculación:** La molienda por recirculación significa aumentar el flujo para que el producto tenga más pasadas por la cuba a una mayor velocidad. Esta se realiza utilizando una sola olla o recipiente.

**Curva de molienda:** Curva de rendimiento donde se observa cómo se comporta el brillo y la molienda en cada pasada.

**Primer:** Base fabricada en Colpisa S.A que se utiliza para aplicar la pintura automotriz.

## 15 BIBLIOGRAFIA

(s.f.). Recuperado el 10 de 5 de 2011, de sitio Web de Grupo Lleal:  
[http://www.lleal.com/producto\\_interior.php?id=&lab=1&tipus=proces&id\\_prod=103](http://www.lleal.com/producto_interior.php?id=&lab=1&tipus=proces&id_prod=103)

(s.f.). Recuperado el 13 de 5 de 2011, de sitio Web de Columbian Chemicals:  
<http://www.columbianchemicals.com/Portals/0/Products/Literature/Spanish/paintsp.pdf>

(s.f.). Recuperado el 10 de 5 de 2011, de sitio Web de Eirich The Pioneer in Material Processing: <http://www.eirich-molaris.es/es/tower-mill>

(s.f.). Recuperado el 13 de 5 de 2011, de sitio Web de Tecnologías limpias:  
[http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/352101/352101\\_ee.htm](http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/352101/352101_ee.htm)

(s.f.). Recuperado el 13 de 5 de 2011, de sitio Web de Alipso:  
<http://www.alipso.com/monografias/molienda/>

(s.f.). Recuperado el 15 de 5 de 2011, de sitio Web de Patentes online:  
<http://www.patentesonline.com.mx/molino-de-rodillos-37335.html>

(s.f.). Recuperado el 15 de 5 de 2011, de sitio Web de Solos Stocks:  
<http://www.solostocks.com.mx/venta-productos/instrumentos-medicion-analisis/instrumentos-medicion/grindometro-de-molienda-pintura-tinta-225023>

(s.f.). Recuperado el 10 de 5 de 2011, de sitio Web de Ebroacero:  
[www.ebroacero.com/plantas\\_cemento.aspx](http://www.ebroacero.com/plantas_cemento.aspx)

(s.f.). Recuperado el 15 de 5 de 2011, de sitio web de NETZSCH: [www.netzsch-grinding.com/es](http://www.netzsch-grinding.com/es)

(s.f.). Recuperado el 12 de 6 de 2011, de sitio web de cerawikia:  
[ceramica.wikia.com/wiki/Molino\\_de\\_bolas](http://ceramica.wikia.com/wiki/Molino_de_bolas)

Harbs, E. T. (2009). *Tecnología de molinos de esferas*. Sao Pablo: NETZSCH DO BRASIL.

Runger, M. . (2002). Probabilidad y Estadística. . Limusa.

*Union process*. (s.f.). Recuperado el 14 de 7 de 2011, de sitio Web de Union Process: [http://www.unionprocess.com/spanish/circulation\\_process.html](http://www.unionprocess.com/spanish/circulation_process.html)

Velez, O. (2010). *Informacion general del proceso de molienda*. Medellin: Colpisa S.A.

Zipro Ceramic Beads. (2010). *Milling media solutions*, (pág. 30).

(s.f.). Recuperado el 10 de 5 de 2011, de sitio Web de Grupo Lleal:  
[http://www.lleal.com/producto\\_interior.php?id=&lab=1&tipus=proces&id\\_prod=103](http://www.lleal.com/producto_interior.php?id=&lab=1&tipus=proces&id_prod=103)

(s.f.). Recuperado el 13 de 5 de 2011, de sitio Web de Columbian Chemicals:  
<http://www.columbianchemicals.com/Portals/0/Products/Literature/Spanish/paintsp.pdf>

(s.f.). Recuperado el 10 de 5 de 2011, de sitio Web de Eirich The Pioneer in Material Processing: <http://www.eirich-molaris.es/es/tower-mill>

(s.f.). Recuperado el 13 de 5 de 2011, de sitio Web de Tecnologias limpias:  
[http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/352101/352101\\_ee.htm](http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/352101/352101_ee.htm)

(s.f.). Recuperado el 13 de 5 de 2011, de sitio Web de Alipso:  
<http://www.alipso.com/monografias/molienda/>

(s.f.). Recuperado el 15 de 5 de 2011, de sitio Web de Patentes online:  
<http://www.patentesonline.com.mx/molino-de-rodillos-37335.html>

(s.f.). Recuperado el 15 de 5 de 2011, de sitio Web de Solos Stocks:  
<http://www.solostocks.com.mx/venta-productos/instrumentos-medicion-analisis/instrumentos-medicion/grindometro-de-molienda-pintura-tinta-225023>

(s.f.). Recuperado el 10 de 5 de 2011, de sitio Web de Ebroacero:  
[www.ebroacero.com/plantas\\_cemento.aspx](http://www.ebroacero.com/plantas_cemento.aspx)

(s.f.). Recuperado el 15 de 5 de 2011, de sitio web de NETZSCH: [www.netzsch-grinding.com/es](http://www.netzsch-grinding.com/es)

(s.f.). Recuperado el 12 de 6 de 2011, de sitio web de cerawikia:  
[ceramica.wikia.com/wiki/Molino\\_de\\_bolas](http://ceramica.wikia.com/wiki/Molino_de_bolas)

Harbs, E. T. (2009). *Tecnologia de molinos de esferas*. Sao Pablo: NETZSCH DO BRASIL.

Runger, M. . (2002). *Probabilidad y Estadística*. . Limusa.



*Union process.* (s.f.). Recuperado el 14 de 7 de 2011, de sitio Web de Union Process: [http://www.unionprocess.com/spanish/circulation\\_process.html](http://www.unionprocess.com/spanish/circulation_process.html)

Velez, O. (2010). *Informacion general del proceso de molienda.* Medellin: Colpisa S.A.

Zipro Ceramic Beads. (2010). *Milling media solutions,* (pág. 30).

## 16 ANEXOS

Resumen de recirculación						
Descripción	# Total de pasadas antes	# Total de pasadas después	Tiempo total de molienda (h) antes	Tiempo total de molienda (h) después	Disminución en los tiempos totales de molienda (h)	Porcentaje de reducción del tiempo de molienda (%)
Referencia 1	23.75	27	199.29	155.00	44.29	22.22
Referencia 2	27.19	33	7.33	5.00	2.33	31.82
Referencia 3	3	6	71.35	25.00	46.35	64.96
Referencia 4	28	27	201.00	147.10	53.90	26.82
Referencia 5	20.5	26	113.91	73.00	40.91	35.92
Referencia 6	14.5	23	80.15	65.71	14.44	18.02
PROMEDIOS	19.49	23.67	112.17	78.47	33.70	33.29

**Anexo 1** : Resumen tabla de comportamiento del antes y después de los ensayos de recirculación con análisis de datos.

Resumen de recirculación								
Descripción	Productividad de molienda (Kg/h) antes	Productividad de molienda (Kg/h) después	Mejora en la productividad de molienda (Kg/h)	Porcentaje de mejoramiento productividad (%)	Costos antes	Costos después	Ahorro en los costos de molienda (\$)	Porcentaje de ahorro en los costos de molienda (%)
Referencia 1	8.78	10.83	2.04	23.24	\$ 797.141.92	\$ 620.000.00	\$ 177.141.92	22.22
Referencia 2	50.40	68.58	18.18	36.07	\$ 29.333.33	\$ 20.000.00	\$ 9.333.33	31.82
Referencia 3	30.29	86.00	55.71	183.92	\$ 285.400.00	\$ 100.000.00	\$ 185.400.00	64.96
Referencia 4	17.72	24.42	6.70	37.84	\$ 803.996.69	\$ 588.383.69	\$ 215.613.00	26.82
Referencia 5	16.08	22.21	6.13	38.13	\$ 455.650.65	\$ 292.000.00	\$ 163.650.65	35.92
Referencia 6	23.75	28.76	5.02	21.13	\$ 320.612.36	\$ 262.834.63	\$ 57.777.73	18.02
PROMEDIOS	24.50	40.13	15.63	56.72	\$ 448.689.16	\$ 313.869.72	\$ 134.819.44	33.29

**Anexo 2 :** Resumen tabla de comportamiento del antes y después de los ensayos de recirculación con análisis de datos.



