



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO DE UN PLAN PARA LA
ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA DEL CARBÓN MINERAL A
TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

Lourdes Iliana Cipriano Pérez

Asesorado por el Msc. Ing. Juan Pablo Mazariegos Robles

Guatemala, junio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO DE UN PLAN PARA LA
ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA DEL CARBÓN MINERAL A
TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LOURDES ILIANA CIPRIANO PÉREZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. JUAN PABLO MAZARIEGOS ROBLES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdéz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO DE UN PLAN PARA LA
ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA DEL CARBÓN MINERAL A
TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 15 de mayo de 2017.

Lourdes Iliana Cipriano Pérez



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 2418-8000 Ext. 86226



AGS-MGIPP-014-2017

Guatemala, 15 de mayo de 2017.

Director
Carlos Salvador Wong
Escuela de Ingeniería Química
Presente.

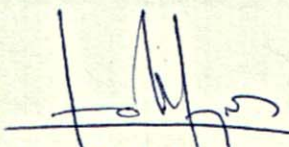
Estimado Director:

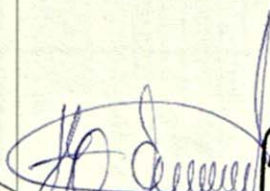
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Lourdes Iliana Cipriano Pérez** carné número **200714593**, quien optó la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Gestión Industrial**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

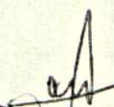
Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Ing. Juan Pablo Mazariegos Robles
Asesor (a)


Dra. Alba Maritza Guerrero Spinola
Coordinadora de Área
Gestión de Servicios

ALBA MARITZA GUERRERO SPINOLA
INGENIERA INDUSTRIAL
COLEGIADA No. 4611


MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



Ref.EIQ.TG.032.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de la estudiante, **LOURDES ILIANA CIPRIANO PÉREZ**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en GESTIÓN INDUSTRIAL** titulado **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO DE UN PLAN PARA LA ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA DEL CARBÓN MINERAL A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo de 2017

Cc: Archivo
CSWD/ale



Asociación Centroamericana de Asociaciones de Ingenieros Químicos
El fortalecimiento de la ingeniería química en Centroamérica

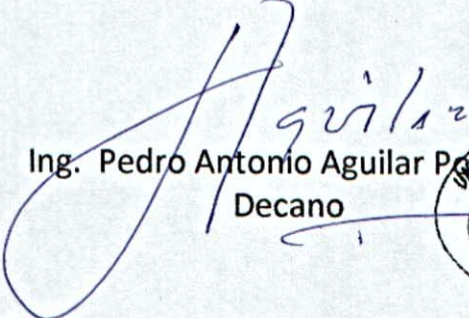




DTG. 283.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO DE UN PLAN PARA LA ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA DEL CARBÓN MINERAL A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**, presentado por la estudiante universitaria: **Lourdes Iliana Cipriano Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Pinedo
Decano



Guatemala, junio de 2017

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por la vida, la salud, las bendiciones recibidas, por las enseñanzas en los momentos difíciles. Gracias, por ser la luz que me guía.

Mis padres

Hercilia Pérez y Pedro Cipriano, por su amor, esfuerzo, por ser ejemplo de perseverancia, enseñarme valores y por su apoyo incondicional. Los quiero mucho.

Mis familiares

Mis hermanos: Juan Carlos y Sergio Cipriano; a mi prima Mildred; a mi tía María del Rosario; a mi abuela Herlinda; a mis tíos: Francisco y Mariano, por su cariño y apoyo a lo largo de estos años.

Abuelos

Cruz Bocel y Gaspar Pérez aunque ya no estén, gracias por su consejo y cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por la oportunidad de haberme permitido culminar una etapa de mi vida y estar conmigo siempre.
- Mi madre** Por el apoyo, los consejos, por creer en mí, por darme visión de superación, gracias mami. ¡Lo logramos!
- Mi padre** Por darme educación, consejo, apoyo y cariño. ¡Gracias papá!
- Mis amigos** Diana Perdomo, Norma Castro, Elidía Castillo, Sebastián Colindres, Giovana Reyes y Gerardo de León, por su amistad, apoyo desinteresado, gracias.
- Mi novio** Pablo José, por la paciencia en los momentos difíciles, por ese si se puede en todo momento, por el conocimiento compartido y apoyo incondicional. Gracias por estar ahí.
- Mi asesor** Juan Pablo Mazariegos Robles, gracias por su apoyo y su apreciable y valiosa asesoría.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de estudio, brindarme las
herramientas para formarme como
profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Descripción del problema	9
3.2. Formulación del problema	10
3.3. Delimitación del problema	11
3.4. Viabilidad	11
3.5. Consecuencias	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
6.1. Esquema de solución	18

7.	MARCO TEÓRICO	19
7.1.	Empresa Agroindustrial	19
7.2.	Combustible en procesos agroindustriales.....	20
7.2.1.	Generalidades del carbón mineral.....	20
7.2.2.	Usos del carbón mineral.....	20
7.2.3.	Formación del carbón mineral	21
7.2.4.	Clasificación del carbón	22
7.3.	Análisis Físicoquímicos para el carbón mineral.....	23
7.3.1.	Análisis de control de proceso.....	24
7.3.1.1.	Porcentaje de humedad	24
7.3.1.2.	Materia volátil	25
7.3.1.3.	Contenido de cenizas	26
7.3.1.4.	Granulometría del carbón.....	26
7.4.	Operaciones para la reducción mecánica de tamaño	28
7.4.1.	La compresión.....	29
7.4.2.	Impacto.....	30
7.4.3.	Frotación	30
7.4.4.	Corte	30
7.4.5.	Equipos para la disminución de tamaño.....	31
7.4.5.1.	Trituración	31
7.4.5.2.	Molinos.....	31
7.4.5.2.1.	Molinos de volteo	32
7.5.	Horno de calcinación.....	33
7.5.1.	Horno rotatorio	34
7.6.	Control estadístico de procesos	35
7.6.1.	Variación y sus causas.....	36
7.6.2.	Carta de control y sus elementos básicos	36
7.6.3.	Tipos de cartas de control	39

7.6.3.1.	Cartas de control de medias individuales.....	39
7.6.3.2.	Interpretación de las cartas de control.....	40
7.6.3.2.1.	Evento 1. Desplazamientos o cambios en el nivel	41
7.6.3.2.2.	Evento 2. Tendencia de nivel	42
7.6.3.2.3.	Evento 3. Ciclos o periodicidad	43
7.6.3.2.4.	Evento 4 y 5. Mucha y falta de variabilidad.....	43
7.6.4.	Tamaño de la muestra y frecuencia de la muestra.....	45
7.6.4.1.	Longitud promedio de corrida (ARL)....	45
7.6.4.2.	Tiempo promedio hasta la señal (ATS)	46
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO DE INFORME	47
9.	METODOLOGÍA.....	49
9.1.	Diseño de investigación.....	49
9.2.	Variables e indicadores	50
9.3.	Población y muestra	52
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	55
10.1.	Observación	55
10.2.	Estadística descriptiva	55

10.2.1.	Medidas de tendencia central.....	55
10.2.2.	Medidas de dispersión o variabilidad	56
10.2.3.	Índice de capacidad del proceso	56
10.3.	Diagramas de dispersión de medias independientes	56
10.4.	ARL y ATS	57
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	59
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
14.	APÉNDICES	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Carbón mineral.....	20
2.	Formación del carbón mineral.....	21
3.	Balanza de humedad	25
4.	Tamizadora analítica	28
5.	Fuerzas de reducción de tamaño	30
6.	Molino de bolas	33
7.	Esquema de un horno rotatorio	35
8.	Prototipo de un gráfico de control	38
9.	Punto fuera del límite de control.....	41
10.	Cambio de nivel	42
11.	Tendencia gradual.....	43
12.	Tipos de comportamiento de un gráfico de control	44
13.	Cronograma de actividades	59

TABLAS

I.	Clasificación de carbón, según ASTM.....	22
II.	Comparativa de los diversos tamaños de partícula.....	27
III.	Variables e indicadores	51
IV.	Recurso humano	61
V.	Recursos materiales.....	62
VI.	Recursos materiales.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ASTM	American Society for Testing Materials
Σ	Desviación estándar
μ	Media de las medias
%	Porcentaje
RPM	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

Combustión	Reacción química de oxidación entre un elemento combustible, comburente y calor, desprendiendo energía en forma de calor y luz.
Frecuencia	Número de repeticiones por unidad de tiempo.
Incineración	Combustión completa de la materia, hasta convertirse en cenizas.
Organógeno	Materia formada por sedimentos y acumulación de restos vegetales.
Proceso térmico	Cuando en un sistema se varían las variables termodinámicas; presión, temperatura, volumen, etc.
Tamiz	Herramienta que se utiliza para separar las partes finas y gruesas de una muestra en polvo.
Variable física	Parámetro que cambia de estado sin sufrir cambios en su composición.
Variable fisicoquímica	Parámetro que cambia de estado y sufre cambios en su composición.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca desarrollar un plan para el control y estandarización del proceso de molienda de carbón mineral en una agroindustria dedicada a la fabricación de fertilizantes y enmiendas minerales.

La empresa agroindustrial se encuentra ante la situación de la variabilidad natural de sus materias primas de mina para la elaboración de sus productos. Por lo que opto por la implementación de un proceso térmico para fabricar materia prima con las especificaciones aptas para los productos. El proceso térmico utiliza como combustible carbón mineral pulverizado, el cual es preparado en el proceso de molienda. Sin embargo, el proceso de molienda, no se encuentra estandarizado, generando variabilidad en el tamaño de partícula y humedad. Dando como consecuencia inestabilidad en la combustión y calentamiento del proceso térmico y con ello especificaciones de materia prima no deseadas.

Se desea desarrollar un plan de estandarización, a través de la determinación de la frecuencia de análisis de los parámetros de control del carbón mineral en el proceso de molienda, por medio de la implementación de control estadístico de procesos.

El estudio es importante debido a que dará a conocer la variabilidad en el proceso, y propondrá la planificación para lograr la estabilidad del proceso térmico así obtener materia apta para la elaboración de fertilizantes y enmiendas minerales.

Uno de los beneficios será el incremento de la diversidad de productos de acuerdo a diferentes necesidades de los clientes existentes y futuros, así como dar paso a la innovación. También disminuir el consumo de combustible, medir distribución de recursos en cuanto a la elaboración de análisis y obtener menor costo de producción. Entre los beneficiarios se encuentra el personal operativo que maneja el proceso de molienda, el departamento de control de calidad en cuanto a la administración de recursos, la organización debido al aprovechamiento de manera eficiente y eficaz de las inversiones realizadas, generando mayor oportunidad de mercado y aumento de ventas.

La investigación cuenta con el soporte de la empresa, así como la disponibilidad de información de los parámetros a analizar, haciendo excepción a datos confidenciales.

El estudio se llevará a cabo siguiendo la línea de investigación de calidad y se desarrollará en los capítulos siguientes:

En el capítulo 1, se contextualiza la situación actual del proceso de molienda del carbón mineral en la empresa, así como la revisión documental de antecedentes y marco metodológico que soporta la investigación.

En el capítulo 2, se llevará a cabo la recopilación de información y revisión histórica de la base de datos de los parámetros de fineza y humedad del combustible.

El capítulo 3 dará a conocer la metodología y esquema que se manejará para llevar a cabo el estudio, el cual es no experimental con tipo de alcance descriptivo. Se describen las variables a utilizar para la determinación de la variabilidad en el proceso de molienda.

En el capítulo 4, contendrá la propuesta del plan para la estandarización del proceso de molienda del carbón mineral; resultados e indicadores estadísticos; diagramas de control, variabilidad en cada parámetro, capacidad del proceso y la nueva frecuencia de análisis que permitirá brindar un aseguramiento en cuanto a calidad y constancia en la fabricación del tamaño de partícula y humedad del carbón mineral que sea trate en el proceso de molienda y contribuir al abastecimiento de combustible para generar estabilidad en un proceso térmico.

2. ANTECEDENTES

La empresa agroindustrial cuenta con procesos para la elaboración de fertilizantes granulados, enmiendas minerales y mezclas físicas, los cuales consisten en la producción de material molido y la adición de aglomerantes. Estos procesos son controlados a través del soporte del laboratorio de control de calidad de la planta para asegurar el control de los procesos y el cumplimiento de las especificaciones de los productos.

Como parte del proceso de mejora continua en los procesos, para tener nuevos productos que satisfagan los requerimientos de los clientes y permitan alcanzar nuevos mercados, se realizó el proyecto de construcción de la planta de procesos térmicos para fabricar internamente nuevas materias primas para los procesos de planta, así como nuevos productos.

El proyecto de construcción contempla el diseño, montaje y puesta en marcha de una nueva línea de producción en la planta para la fabricación de óxidos minerales con diferentes grados de calcinación de las materias primas.

La nueva línea de producción posee los procesos de molienda del carbón mineral, que tiene como objetivo preparar el combustible para el procesos posterior, encargado de la descomposición química de las materias de minas, que serán utilizadas en los productos existentes y productos de las nuevas líneas. Ambos son controlados a través de los análisis físicos y fisicoquímicos, los cuales son realizados en el laboratorio de control de calidad de la organización.

A continuación se presentan las referencias consultadas que contribuyen al diseño de investigación, entre ellos, se pueden citar:

Leiva (2003), en la conferencia “Una producción más sostenible y competitiva y con misión futurística”, fundamenta los tipos de variabilidad en los suelos y minas utilizando imágenes satelitales georreferenciadas por bandas de color, determinando las necesidades de aplicación de fertilizantes, debido a las condiciones de los suelos y la diversidad de sus fuentes de materia prima en las minas. Así mismo verifica que las extensiones de tierra carecen de constancia en sus propiedades, por su variabilidad natural y topografía.

Los estudios acerca de la estandarización de procesos señalan que un adecuado control estadístico ayuda a reducir la variación de los procesos. En el informe de Andrade (2009), habla sobre la “implementación de control estadístico de procesos para el control de la calidad y la mejora continua en una industria minera”. Tomando como base el control de calidad de procesos, que se centralizaba en la exploración y explotación de minerales, para producir concentrados que cumplan con las especificaciones de los clientes.

El estudio se llevó a cabo, debido a que el cliente no recibía el producto con lo solicitado en cuanto a componentes minerales. Lo que originó cierta incertidumbre en el método de análisis para medir las características del concentrado, el cual se realizaba en la misma empresa y que el problema pudiera generarse en la realización del proceso de extracción. Al comparar los métodos de análisis con laboratorios externos se obtuvieron resultados diferentes, debido a la variabilidad del proceso de extracción. A raíz del problema mencionado se decidió implementar un control estadístico de procesos de los concentrados metálicos, lo que permitiría determinar si el proceso de extracción presentaba variabilidad y tomar las acciones necesarias.

Los efectos obtenidos de la implementación del control estadístico del proceso, se vieron manifestados en el 100 % de la aprobación de los análisis realizados en el laboratorio.

Por su parte, Cartes & Reyes (2014), realizaron como estudio de tesis para su maestría en la Universidad de Chile, sobre un plan de negocios, el cual indica la implementación y operación de un laboratorio de análisis físico-químico de combustibles sólidos (carbón) en la ciudad de Mejillones. El proyecto se sostiene en la necesidad de las centrales termoeléctricas de la I y II región, definidas como mercado objetivo; en obtener en forma rápida y confiable, datos de su principal insumo, el carbón; situación que en la actualidad presenta varios inconvenientes o desconfianzas que no permiten desarrollar de buena forma los procesos productivos y de abastecimiento, creando de esta forma, espacios de mejora en relación a la oportunidad en la información físico-química de este combustible sólido y un mayor aprovechamiento de los datos obtenidos en sus operaciones diarias.

Asimismo, Tamayo, López & Serna (2012), realizaron estudios sobre la calidad del carbón mineral, manejo y utilización del carbón suministrado en calderas en diferentes empresas consumidoras. Entre uno está el “Estudio de la calidad del carbón de la empresa carbones de Sabaleta, S.A., con el fin de satisfacer la demanda industrial”. En el estudio se realiza la investigación también sobre el transporte del carbón a diversos destinos dentro de las empresas y se ve reflejada la utilidad en las industrias, por su bajo costo de operación y capital.

Cabe destacar el aporte de Girón (2014), quien realizó uno de los estudios más recientes sobre el carbón mineral, el cual consistió en realizar un diseño de un plan de muestreo de carbón mineral tomando como referencia el patrón

establecido por la norma ASTM D 4749-07. Y la confirmación estadística a través de la prueba de bondad de ajuste Ji cuadrada. En él se determina el número de muestras óptimas a tomar en un cargador frontal y cinta transportadora para esta materia prima.

En cuanto conocimiento del proceso de molienda del carbón se encuentra el artículo: Posibilidades de molienda del carbón, donde realiza el estudio sobre las diversas formas de llevar a cabo la pulverización del carbón mineral (Schneider & Blasczyk, 1979) especifica los criterios para la selección de la instalación de un equipo para la molienda, según la clase de materiales, proporciona información acerca de los tipos de molinos, ventajas y desventajas de cada uno.

Los estudios acerca de las características y origen del carbón contribuyen y generan información sobre los tipos de variación que puede presentar el combustible como materia prima y producto molido, así también las investigaciones anteriores mencionadas brindan experiencia al implementar sistemas de control estadístico en procesos, beneficios y logros que fundamentan la necesidad de llevarlos a cabo para mantener estable los equipos relacionados en una determinada operación, en el caso de estudio es llevar a cabo el control de un molino de bolas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se ha generado el problema de inestabilidad del proceso en cuanto al calentamiento, dando como resultado variabilidad en las especificaciones de materias primas. Por lo que una de las causas principales es la falta de estandarización del proceso de preparación del carbón mineral, utilizado como combustible.

En la empresa agroindustrial se ha realizado la instalación de una nueva línea de producción, la cual se encuentra conformada por un proceso térmico, donde se lleva a cabo la reacción química de materias primas para la producción de productos nuevos.

3.1. Descripción del problema

Las empresas dedicadas a la agroindustria se encargan de la producción de mezclas de nutrientes minerales utilizadas para corregir las condiciones del suelo, a través de la aplicación de la dosis y minerales adecuados, los cuales son extraídos de minas para luego ser procesados, envasados y distribuidos a diversas regiones de cultivo a nivel nacional e internacional. Estas empresas emplean varios procesos de moliendas y tecnología para la obtener diferentes porcentajes de nutrientes, así diferentes características fisicoquímicas, por lo cual emplean procesos térmicos que ayudan a obtener mayor diversidad en sus productos.

Los procesos térmicos, como es el caso de un horno rotatorio, dependen directamente de la fuente energética que los alimenta, debido a que si no se

encuentran estables tienden a proporcionar producto con alta variabilidad en su composición.

El proceso de preparación del combustible, se lleva a cabo en un molino de bolas, donde se realiza la reducción del tamaño, mediante choques, aplastamiento y desgaste. La uniformidad de las partículas dependerá del control de las variables de operación del proceso, sin embargo el proceso ha sido recientemente implementado, aún no se encuentra estandarizado produciendo partículas no uniformes con porcentajes de humedad no beneficios, han generado como consecuencia variabilidad en la combustión del proceso térmico que se encarga de llevar a cabo la reacción del material dentro del horno rotatorio obteniendo resultados no homogéneos en las especificaciones deseadas de las nuevas materias primas.

3.2. Formulación del problema

Pregunta Central:

¿Cómo desarrollar un plan para la estandarización del proceso de molienda del carbón mineral utilizando control estadístico de procesos?

Preguntas de Investigación:

- ¿Cuál es el estado de la ejecución de análisis de los parámetros de humedad y fineza en el proceso de molienda del carbón mineral?
- ¿Cómo es la variabilidad y comportamiento de las variables de fineza y humedad en el proceso de molienda del carbón mineral usando diagramas de control?

- ¿Qué es la planificación apropiada para realizar los análisis de los parámetros de humedad y fineza para la estandarización del proceso de molienda del carbón?

3.3. Delimitación del problema

El estudio se llevará a cabo en la nueva línea de producción de materias primas y en el laboratorio de control de calidad, encargado de brindar soporte al control de los parámetros de operación de los procesos en una empresa agroindustrial que fabrica fertilizantes y enmiendas minerales, ubicada en el municipio de Palencia. Éste se realizará en un período de 6 meses, en los cuales se incluye el mes de mayo hasta octubre del 2016.

3.4. Viabilidad

Para llevar a cabo el estudio del diseño de investigación, se cuenta con el permiso de la empresa. Sin embargo, no se podrá publicar información que ellos consideren confidencial, exceptuando los resultados del trabajo de investigación a realizar. También se cuenta con los recursos físicos, humanos y financieros, ya que la empresa proporcionará los medios para llevar a cabo el estudio. Entre los recursos físicos se encuentran los equipos de laboratorio para realizar los análisis que se necesiten; entre el recurso humano, el personal de operación de los procesos de la nueva línea, asesor y el investigador.

3.5. Consecuencias

Al aplicar el diseño del plan en el laboratorio de control de calidad de la planta, se estará asegurando el control del proceso de molienda del carbón, logrando estabilidad en el proceso térmico para la producción de nuevas

materias primas, que serán utilizadas en los productos nuevos para ampliar con ello el mercado en la industria de fertilizantes granulados, mezclas físicas y enmiendas minerales.

De no realizar el estudio, no se podrá determinar que parámetros son necesarios que se midan con menor o mayor frecuencia que permita mantener constante la combustión que es necesaria para el calentamiento en el horno rotatorio provocando que la materia prima se quemé o por el contrario se encuentre cruda, es decir que no se llegue a obtener las características fisicoquímicas necesarias para la elaboración de los productos que se están ofreciendo al mercado. Entre otras consecuencias, se encuentra el aprovechamiento del combustible que de no obtener la fineza y humedad adecuada generará costos adicionales de operación, atrasos y actividades representan pérdidas en las producciones.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se realizará siguiendo la línea de investigación de calidad de acuerdo al control estadístico de procesos, a través del análisis de la variabilidad de los parámetros de calidad; fineza y humedad, establecerá diagramas de control y determinará la capacidad del proceso, con el objetivo de diseñar un plan para controlar y estandarizar el proceso de molienda del carbón mineral, y contribuir a la estabilidad del proceso térmico de la nueva línea de producción de la empresa dedicada a la agroindustria.

La necesidad de la estandarización del proceso de molienda del carbón mineral surge, debido a que tiene a cargo la pulverización y la reducción del contenido de humedad que permite extender la eficiencia energética, a través del aumento del área por unidad de volumen al reducir su tamaño de partícula y con ello generar una combustión eficiente, que logre el calentamiento estable del horno rotatorio, donde se llevará a cabo la reacción de las materias primas.

Es importante realizar el estudio, debido a que proyecta identificar una frecuencia de análisis que permitirá realizar correcciones en tiempo real de las variables de operación del molino de bolas, proporcionando una fuente de energía que brinde estabilidad en la combustión, dando como resultado el aseguramiento de las condiciones necesarias para el cumplimiento de los parámetros de calidad de las nuevas materias primas, reducir la cantidad de producto no conforme, menor costo térmico de operación.

El estudio es de motivación al investigador al poner en práctica los conocimientos adquiridos del control estadístico de procesos, tecnología de la

calidad y conocimiento de operaciones unitarias físicas complementarias de reducción de tamaño y tamizado de sólidos. Con ellos generar beneficios a la empresa agroindustrial.

Entre los beneficios y beneficiarios se encuentra la expansión hacia a un nuevo mercado, aumento de la diversidad de productos, ventaja competitiva ante las demás industrias, la mejora del aprovechamiento del carbón mineral al obtener una combustión más eficiente. Invitando a mirar desde un enfoque sostenible el análisis posterior de estos beneficios, los cuales pueden usar para documentar prácticas y lograr la concientización de la sostenibilidad en la empresa.

El estudio de investigación beneficiará al personal que controla el proceso de molienda del combustible, así como al capital humano del área de control de calidad al mejorar su distribución de recursos que permitirán realizar la mediciones necesarias para el control del proceso, dando como resultado menos paros por falta de estandarización, disminución del producto no conforme al controlar las condiciones adecuadas de operación y lograr la estabilización del proceso térmicos, permitiendo realizar productos nuevos para el incremento de ventas en la empresa.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un plan para la estandarización del proceso de molienda del carbón mineral, a través de la implementación de control estadístico de procesos.

5.2. Específicos

- Realizar un diagnóstico del estado actual de la ejecución de análisis de los parámetros de humedad y fineza en el proceso de molienda del carbón mineral.
- Determinar la variabilidad y el comportamiento de las variables de fineza y humedad en el proceso de molienda del carbón mineral utilizando diagramas de control
- Proponer el diseño de la planificación para realizar los análisis de los parámetros de humedad y fineza para la estandarización del proceso de molienda del carbón mineral.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Debido a la falta de estandarización del proceso de molienda del carbón mineral, el diseño de investigación realizará una planificación que permita llevar a cabo a una determinada frecuencia los análisis de los parámetros de humedad y fineza, con el objetivo de controlar las variables operativas y mantener estable el flujo de material para que este combustione de manera que emita energía constante al proceso térmico para la producción de nuevas materias primas.

Para desarrollar la propuesta del diseño de investigación deberá abordarse la gestión con la que se encuentra realizando el laboratorio de control de calidad los análisis.

Las necesidades a cubrir por parte de la investigación dentro la agroindustria son los siguientes:

- Mejorar la estabilidad del proceso térmico a través de la estandarización del proceso de molienda que prepara el combustible a utilizar.
- Productividad al momento de operar el horno rotatorio por parte del personal de la línea de procesos térmicos.
- Retrasos, reprogramaciones, re-procesos en la producción de nuevas materias primas si no se controla las variables del combustible en su molienda.

- Productividad en el área de control de calidad, al realizar y cubrir los análisis que se llevan a cabo.
- Para la empresa, evitar realizar productos con especificaciones fuera de lo solicitado por los clientes.
- Factibilidad de expandirse hacia nuevos mercados, a través de la producción de productos fiables.

6.1. Esquema de solución

El esquema consta de cinco fases, en las cuales se detalla cómo se llegará a la solución al problema planteado con anterioridad:

En la fase 1, se realizará la acción de la recopilación de información de la base de datos del laboratorio de control de calidad del proceso de molienda del carbón mineral 2016. Continuando con la revisión de la frecuencia inicial con la que se llevan a cabo los análisis de los parámetros de control de porcentaje de humedad y tamaño de partícula.

Se continuará con la fase 2, la cual inicia con base a lo recaudado además; se realizará un análisis del comportamiento de las variables de fineza y humedad del carbón mineral, a través de diagramas de control de medias individuales, a través de R-studio.

Para concluir con la fase 3, se propondrá la planificación para la estandarización del proceso de molienda al determinar frecuencia de análisis al analizar la variabilidad de los parámetros de control.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Empresa Agroindustrial

Las empresas agroindustriales son corporaciones u organizaciones que participan de manera directa o indirecta en la contribución de la producción agraria, industrialización y/o comercialización de productos o insumos agrícolas. Incluye fertilizantes y enmiendas que ayudan a proteger, nutrir y potencializar los cultivos a gran escala, facilitando la disponibilidad del producto en diferentes épocas.

Baeker *et al.* (2013) menciona en su estudio, agroindustrias para el desarrollo, que la agroindustria es compleja debido a que existen diversidad de variables que interactúan e influyen en la empresa iniciando desde el proceso productivo, cosecha, post cosecha, embalaje, distribución y almacenamiento. Que evoluciona dependiendo del crecimiento de la población, urbanización, aplicación de tecnología moderna, cambios institucionales, agotamiento y/o degradación de los recursos naturales y efectos socioculturales.

También puede mencionarse que las empresas dedicadas a la agroindustria pueden clasificarse dependiendo de la utilidad y hacia donde puedan direccionarse sus productos. A los productos que serán utilizados en el interior de un país pueden tomar el nombre de productos básicos o no básicos y los que serán orientados a la exportación, productos tradicionales o no tradicionales.

7.2. Combustible en procesos agroindustriales

7.2.1. Generalidades del carbón mineral

El carbón mineral es un recurso energético no renovable de color negro con apariencia mate, brillante y de dureza baja. Es complejo debido a que es una roca sedimentaria organógena; están formadas con restos de organismos vegetales macroscópicos y microscópicos, compuesto por porcentajes de carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno y otros. (M., 2001).

Figura 1. **Carbón mineral**



Fuente: Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Carbón>. Fecha de consulta: 23 de mayo de 2016.

7.2.2. Usos del carbón mineral

El carbón mineral ha sido desde la antigüedad uno de los combustibles fósiles más utilizados hasta hoy en día. El cual satisface necesidades de calefacción; actividades domésticas y también en usos industriales; como como

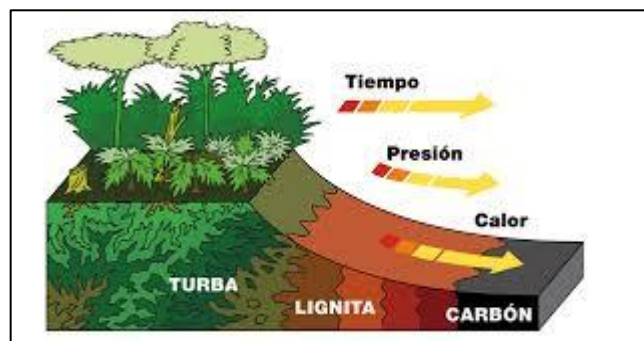
fuente de energía para el funcionamiento de procesos de bajo costo de operación, por la confiabilidad y bajo precio de compra (León, 2006).

Entre los proceso industriales es utilizado como generación eléctrica, combustible calentamiento de hornos y calderas, utilizado como materia prima para la fabricación de plásticos, perfumes, colorantes y aceites.

7.2.3. Formación del carbón mineral

El carbón mineral se formó en el período llamado Carbonífero; 359 a 299 millones de años, por medio de la acumulación de materia vegetal muerta como árboles, helechos ubicados en pantanos. Debido a que la materia al descomponerse por medio de la mezcla de barro da a la generación de físico químicas que dan como resultado la formación de turba, que se genera por la materia sepultada, formación de capas de plantas muertas expuestas a temperatura y presión elevadas que se endurecen formado grafito. (Amarocho Cortés & Oliveros Villamizar, 2000).

Figura 2. Formación del carbón mineral



Fuente: Recuperado de <http://es.slideshare.net/TICJoaquinTurina/recursos-energticos-no-renovables>. Fecha de consulta: 1 de junio de 2016.

7.2.4. Clasificación del carbón

Antiguamente, hasta el siglo XIX los carbones se clasificaban por medio de sus características visuales. Entre éstas pueden mencionarse las siguientes: Carbones negros, marrones, de llama larga y corta (Cortés, 2013).

El objetivo de la clasificación de los carbones es establecer beneficios en la utilización de los mismos en las diferentes áreas de la industria. Entre otros motivos están: Identificar su empleo en su última etapa; generar y obtener información que ayuden a detallar e identificar el equipo a utilizar; predecir la manera de la combustión; es decir diseñar y ubicar las superficies de transferencia de calor adecuadas.

Hay varias maneras en las cuales pueden ser clasificadas, entre otras están: materia volátil, composición elemental, por su poder calorífico. Entre las clasificaciones más reconocidas es la realizada por las normas ASTM.

Las especificaciones se dan a continuación:

Tabla I. Clasificación de carbón, según ASTM

Categoría	Descripción	Elementos volátiles	Poder calorífico (MJ/kg)
Antracita	Meta-Antracita	< 2 %	
	Antracita	2 a 8 %	
	Semi-Antracita	8 a 14 %	
Bituminoso	Bajo nivel volátil	14 a 22 %	
	Medio nivel volátil	22 a 31 %	

Continuación de la tabla I.

	Alto nivel volátil A	> 31 %	> 32,6
	Alto nivel volátil B		30,2 a 32,6
	Alto nivel volátil C		26,7 a 30,2
Sub- Bituminoso	Sub-Bituminoso A		24,4 a 26,7
	Sub-Bituminoso B		22,1 a 24,4
	Sub-Bituminoso C		19,3 a 22,1
Lignito	Lignito A		14,6 a 19,3
	Lignito B		< 14,6

Fuente: ASTM, American Society of Testing Material, D 388. P. 2

7.3. Análisis fisicoquímicos para el carbón mineral

Según, Díaz (2002) las propiedades fisicoquímicas del carbón se pueden catalogar de la siguiente manera:

Análisis de control de proceso:

- Determinación de humedad relativa,
- Materia volátil
- Contenido de cenizas
- Fineza o tamaño de partícula

Análisis específico del carbón

- Contenido elemental de carbono
- Contenido elemental de hidrógeno

- Contenido elemental de oxígeno y
- Contenido elemental de azufre y nitrógeno

7.3.1. Análisis de control de proceso

El carbón mineral por su naturaleza en las que se origina posee diversidad y difiere en su composición. A continuación se presentan los análisis que deben de realizarse para determinar el uso adecuado de su operación.

7.3.1.1. Porcentaje de humedad

Al extraer el carbón de una mina, este contiene diversos porcentajes de agua. Para conocer si una muestra determinada de carbón mineral posee humedad, se inicia por analizarla de manera cualitativa a través de la observación, ya que el carbón está expuesto a la atmosfera y dependerá de las condiciones donde se encuentre, ya sea en bodegas de almacenamiento o en la misma mina.

La humedad se encuentra de manera superficial, higroscópica y combinada. Si el carbón es almacenado en una bodega seca y expuesta a una corriente de aire, perderá la humedad superficial, quedando cierto porcentaje de humedad en los poros del carbón por fuerzas de absorción de acuerdo al equilibrio que forma con el ambiente al que está expuesto a una determinada temperatura; se considera como la estimación de la humedad de almacenamiento.

Para obtener una medición de la humedad, ésta es expresada comúnmente en porcentaje. Éste se obtiene por medio del secado de una muestra determinada, la cual es expuesta a una temperatura específica para

así prever la pérdida del agua (Prieto, 2002). Para la realización de éste parámetro, se recomienda la reducción del tamaño de partícula del carbón antes de llevar a cabo la determinación de la humedad.

El procedimiento para el análisis de humedad total. Se puede utilizar el descrito en la norma ASTM D 3302. Ésta norma define la humedad total del carbón como la pérdida de peso bajo condiciones controladas; temperatura, tiempo y exposición a la corriente de aire.

Actualmente se utilizan balanzas de humedad que permiten determinar el porcentaje de humedad de una muestra.

Figura 3. **Balanza de humedad**



Fuente: Recuperado de http://www.ohaus.com.mx/mb_45.htm. Consulta: 25 de mayo 2016.

7.3.1.2. Materia volátil

Díaz (2002) refiere que la cantidad en volátiles del carbón es una de las mediciones frecuentemente utilizadas en los sistemas de clasificación del carbón. Además, la medición de materia volátil puede generar una idea de la conducta del carbón frente a los procesos de combustión.

Este parámetro es utilizado para la determinación y establecer características de combustión. La materia volátil consiste en la ignición del carbón, entre mayor sea el porcentaje de ésta, la probabilidad de la emisión de humo aumenta, es decir que indica el tipo de llama y combustión que se obtendrá al quemar el carbón mineral para ser utilizado como combustible.

Para fines prácticos del estudio, el carbón mineral se requiere que posea menor a 60 %.

7.3.1.3. Contenido de cenizas

Las cenizas son producto de la combustión del carbón para generar energía. Las cenizas pueden ser volantes; se encuentran suspendidas en los gases de combustión, o escoria; comúnmente llamadas cenizas de hogar. Las cenizas dependen del tipo de carbón y del método de combustión (Caballero & Médico, 2013).

La determinación de materia que persiste luego de ser expuesta a la quema del carbón a temperatura entre un rango de 700 a 750 C, se da la eliminación de agua, expulsa dióxido de carbono, y entre otras reacciones se da la conservación de hierro en forma de óxido.

El procedimiento para la determinación del contenido de cenizas en el carbón mineral. Se puede utilizar el descrito en la norma ASTM D 3174.

7.3.1.4. Granulometría del carbón

La granulometría se refiere a la caracterización de la materia refiriéndose al tamaño de partícula. Es definido utilizando la separación y categorización del

tamaño que posee las partículas de carbón mineral que pasan por mallas o por medio de la utilización de diversos tamices, dependiendo del tamaño requerido que se necesite para la combustión en este caso.

La separación consiste en pesar cierta muestra y dejarla pasar por diferentes juegos de mallas que se componen de diversas aberturas a un determinado rango de tiempo. Una vez transcurrido el tiempo, se procede a pesar cada parte de materia que quedo retenida en cada malla, logrando así determinar por medio de porcentajes las proporciones de tamaños que se conforma la materia que se está analizando. Estas mallas varían según su diámetro de apertura por donde pasa la materia a clasificar.

Tabla II. **Comparativa de los diversos tamaños de partícula**

Serie estándar en USA				
Estándar		Alternativo		Tyler (mesh)
5.60	Mm	No.	3 ½	3 ½
4.75	Mm	No.	4	4
4.00	Mm	No.	5	5
3.35	Mm	No.	6	6
2.80	Mm	No.	7	7
2.36	Mm	No.	8	8
2.00	Mm	No.	10	9
1.70	Mm	No.	12	10
1.40	Mm	No.	14	12
1.18	Mm	No.	16	14
1.00	Mm	No.	18	16
850.00	Mm	No.	20	20
710.00	Mm	No.	25	24
600.00	Mm	No.	30	28
500.00	Mm	No.	35	32
425.00	Mm	No.	40	35
355.00	Mm	No.	45	42
300.00	Mm	No.	50	48
250.00	Mm	No.	60	60
212.00	Mm	No.	70	65
180.00	Mm	No.	80	80
150.00	Mm	No.	100	100
125.00	Mm	No.	120	115

Continuación de la tabla II.

106.00	Mm	No.	140	150
90.00	Mm	No.	170	170
75.00	Mm	No.	200	200
63.00	Mm	No.	230	250
53.00	Mm	No.	270	270

Fuente: ASTM, American Society of Testing Material, D 4749 -07. P. 4.

Para fines prácticos pueden utilizarse tamizadoras analíticas que funcionan aplicando diferencias de presión para la separación de la muestra a analizar, quedando los tamaños más grandes por encima del tamiz y las partes más finas se succionan y quedan retenidas en filtros.

Figura 4. **Tamizadora analítica**



Fuente: Recuperado de https://ru.vwr.com/store/catalog/product.jsp?catalog_number=510-1379.

Consulta: 25 de mayo de 2016.

7.4. Operaciones para la reducción mecánica de tamaño

Entre las operaciones unitarias complementarias se encuentran las operaciones que involucran el estudio de partículas en sólidos, se habla de la

reducción de tamaño. El concepto de reducción de tamaño se utiliza en la manera en que las partículas se logran fragmentar en piezas de menor tamaño.

Según, L. McCabe, C. Smith, & Harriot (2007) los sólidos de gran tamaño como minerales o carbonatos se descomponen hasta un tamaño que puedan ser manipulables, ya que los productos se pulverizan hasta convertirlos en polvo. Los productos deben de cumplir con ciertos estándares de tamaño y algunas veces también en la forma. La reducción del tamaño de partícula en los sólidos minerales incrementa la reactividad de los mismos, debido a que permite el apartamiento de componentes no deseados.

Para Costa López, Cervera March, Esplugas Vidal, Mans Teixidó, & Mata Álvarez (2004) los sólidos pueden reducirse utilizando tipos de fuerzas, las cuales son las siguientes:

- Compresión
- Impacto
- Frotación y
- Corte

7.4.1. La compresión

Es utilizada para la disminución de sólidos de gran tamaño, generando diversidad de tamaños, medios o muy finos, debido al impacto aplicado. La reducción se da por medio del contacto de dos superficies.

7.4.2. Impacto

Conocido como martillo, produce tamaños gruesos medianos o finos. Es una fuerza aplicada a una superficie.

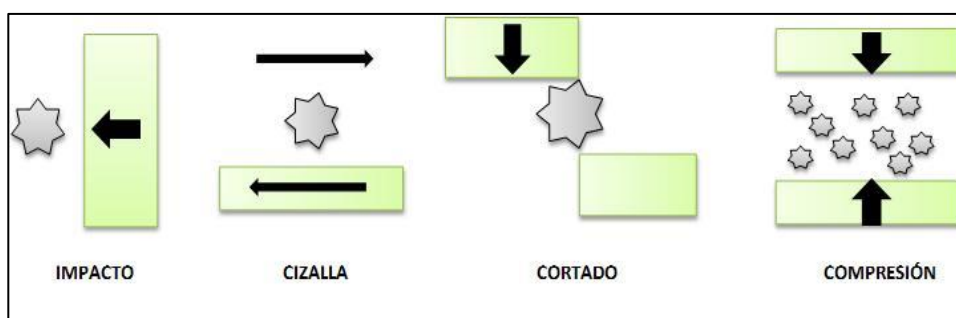
7.4.3. Frotación

También recibe el nombre de Cillaza, es utilizada para la producción de tamaños relativamente finos.

7.4.4. Corte

Esta fuerza que se realiza con el contacto de dos superficies, es utilizada para la elaboración y obtención de tamaños y formas definidas e incluso para la apartamiento y exclusión de partes de sólidos.

Figura 5. Fuerzas de reducción de tamaño



Fuente: Recuperado de <https://sites.google.com/site/operacionesunitariasijedys/home/manualeiva>. Fecha de consulta: 01 de junio de 2016.

7.4.5. Equipos para la disminución de tamaño

Para Geankoplis (1998) los equipos utilizados para la reducción del tamaño, pueden catalogarse por la forma en que son aplicadas las fuerzas. Por lo que se clasifican los equipos de una manera práctica, la cual es la siguiente:

7.4.5.1. Trituración

La trituración se aplica cuando se desea reducir grandes cantidades de sólidos, comúnmente se utiliza maquinaria de baja velocidad. Los resultados obtenidos oscilan entre 150 mm a 250 mm. Los principales trituradores son:

- Trituradora de quijada.
- Trituradora giratoria.
- Trituradores de rodillos lisos
- Trituradores de rodillos dentados

Los primeros tres equipos utilizan la fuerza de compresión y son utilizados para la reducción de materiales duros y se utilizan en industrias mineras a gran escala.

7.4.5.2. Molinos

Los molinos son equipos que brindan un servicio para la reducción de tamaño intermedio, si son precedidos de un triturador producirá polvo. Los tipos de molinos utilizados son:

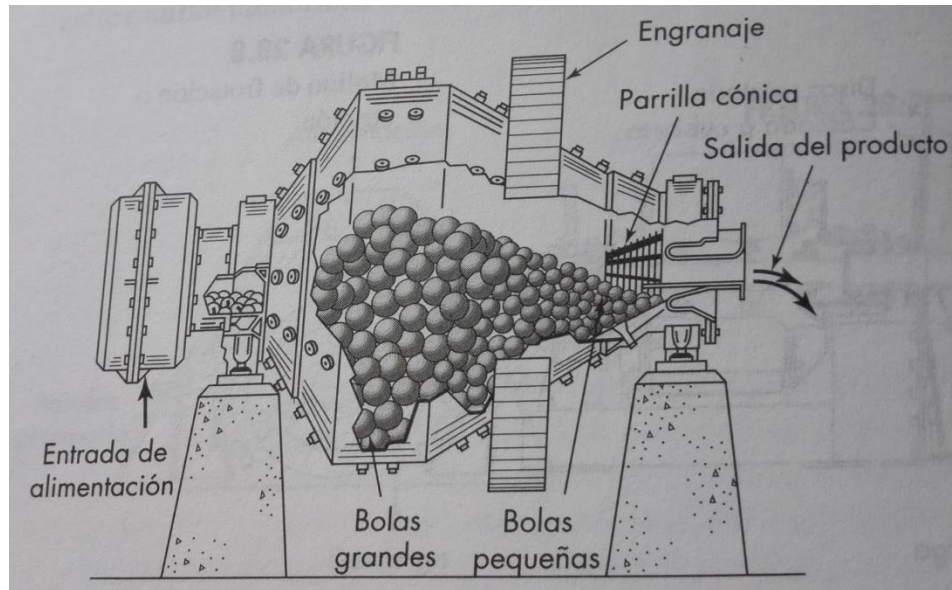
- Molino de martillos e impactadores
- Molinos de rodillos

- Molinos de atrición (desgaste).
- Molinos de volteo

7.4.5.2.1. Molinos de volteo

Este tipo de molino funciona con la combinación de una fuerza de impacto con otra de frotación. Consisten básicamente en un tambor horizontal; a veces ligeramente inclinado, en el cual se han ubicado cuerpos demoledores de acero, que pueden ser de un solo tamaño o de varios, ya sea en una sección mezcladas o bien en compartimientos en serie; a la entrada las mayores y saliendo las más chicas. Cuando el molino empieza a girar a determinadas rpm las bolas de acero ascienden por el lado del tambor que sube hasta que alcanza una posición de equilibrio dinámico. (Rivera, 2013) En el interior un cuerpo demoledor posee el movimiento de ascenso de bolas; consiste en la fricción bola a bola y algunas veces por revestimiento interno utilizando barras levantadoras que a manera de rugosidades aumentan la fricción entre las bolas y el revestimiento interno del molino. Dentro del molino también se da el movimiento de descenso; conocida como cascada o catarata según la velocidad de giro del molino, la cual tiene relación con la velocidad a la cual se esté operando el molino.

Figura 6. **Molino de bolas**



Fuente: L. McCabe, C. Smith, & Harriot, Molinos de volteo, p. 1038

7.5. **Horno de calcinación**

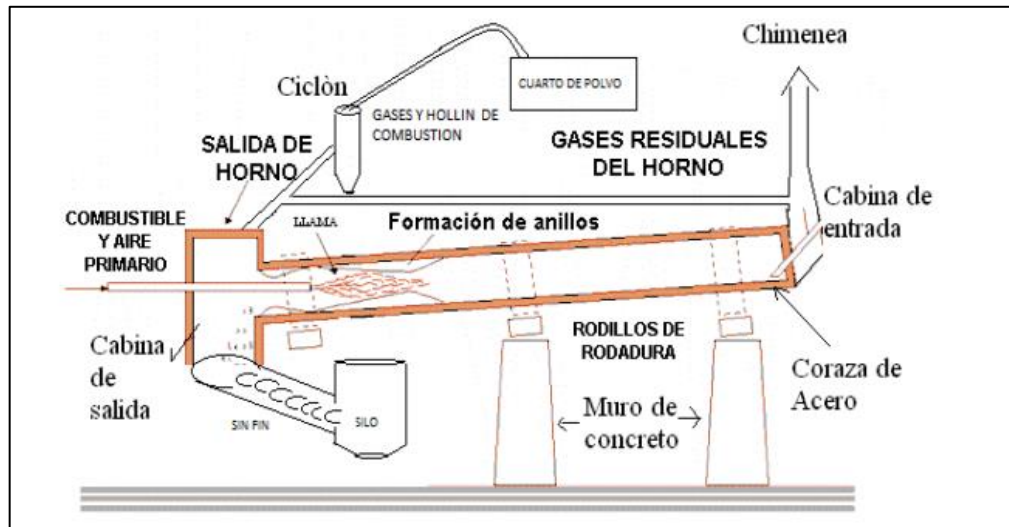
Duda (1977), en su manual tecnológico del cemento, menciona que un horno calcinador consiste en un tambor rotatorio, este gira alrededor de un eje a cierta velocidad, los cuales son utilizados en operaciones a nivel industrial, en los que se calientan elementos o compuestos por arriba de la temperatura del ambiente, abarcan una amplia gama de temperaturas, las cuales dependerán de la naturaleza química y física del material a calentar o reaccionar, es decir a alterar sus propiedades químicas o estructura. Se manejan para realizar cambios de estado en la materia; por ejemplo la fusión de metales. Tratamientos térmicos para obtener o eliminar determinadas propiedades o reacciones químicas para la producción de determinado producto.

7.5.1. Horno rotatorio

Jaimes (2011), en su tema de investigación, puesta en marcha de un horno rotatorio para la calcinación de yeso, explica que es un reactor químico utilizado para la descomposición de compuestos entre estos están los sulfatos y carbonatos comúnmente con el objetivo de obtener resultados consistentes a través de mantener la temperatura uniforme en la entrada, parte media y alta del horno. El mayor desafío que presenta operar un horno rotatorio es mantener y controlar la temperatura a través del resultado de la combustión en la parte del quemador.

El horno rotatorio es un cilindro recubierto internamente de ladrillo refractario, tiene como función soportar temperaturas hasta de 1 000 °C, poseen dos cabinas de alimentación, debido a que por una ingresa la materia prima y por otra parte se encuentra la chimenea. Los hornos poseen grados de inclinación, por lo que esto ayuda a que el material se desplace a través del cuerpo del mismo funcionando de manera contracorriente respecto al flujo de calor que se genera en el quemador que se encuentra al inicio del horno, así también en ese mismo punto se encuentra la salida del material transportándolo hacia un equipo de enfriamiento para luego ser almacenado.

Figura 7. Esquema de un horno rotatorio



Fuente: James Jorge Luis, Horno rotatorio, p. 23.

El cuerpo del horno gira por medio de anillos, los cuales son montados en rodillos de rodadura. En la figura muestra que el horno se encuentra sujeto a una base de concreto para mantener su estabilidad mientras este gira.

7.6. Control estadístico de procesos

Un proceso se conoce por estar constituido por una serie de actividades relacionadas, que involucran entradas que son convertidas en productos para ser utilizados para un determinado objetivo. A nivel industrial, la fabricación de cantidades altas de productos deben contar con las mismas características que se establecen como criterios de aceptación para el funcionamiento y efectividad de un proceso posterior o como resultado final que le servirá a un consumidor, por lo que se lleva al estudio del control estadístico el cual posee como objetivo disminuir la variabilidad de los parámetros involucrados en el proceso.

El control estadístico de procesos contribuye con la mejora de la calidad en la producción de los productos a realizar, a través del seguimiento del proceso.

7.6.1. Variación y sus causas

Habitualmente en los procesos de producción y de servicios es insostenible el hecho de mantener los factores que están involucrados en los resultados constantemente en las mismas condiciones.

La variación puede ser visualizada en diferentes momentos, etapas de la vida cotidiana. Por ejemplo, el tiempo que tardamos en realizar una misma actividades en diferentes días. Ésta misma variación está presente en cada uno de los procesos que se realizan en las industrias productoras, distribuidoras, etc. Debido a que están expuestas a diversas condiciones; son manipulados o realizados por diversas personas, son operados en diferente tipo de maquinaria, así como en cambiantes condiciones ambientales.

Las causas de la variación pueden ser comunes o al azar; es decir, las que permanecen día con día o son aportadas de forma natural, comúnmente llamadas inherentes. También se encuentran las variaciones por causas especiales o atribuibles; son circunstancias especiales que no están permanentemente en el proceso.

7.6.2. Carta de control y sus elementos básicos

En la actualidad, los gráficos de control son utilizados de manera constante en las diferentes industrias como técnica de diagnóstico para realizar

monitoreos de los procesos productivos con el objetivo de identificar inestabilidades y circunstancias inusuales que incrementen la variabilidad.

L. Devore (2005), menciona que los gráficos de control proporcionan mecanismos para reconocer situaciones donde las causas podrían afectar de manera adversa el control del proceso, y por medio de ellos identificar las causas y emprender acciones correctivas.

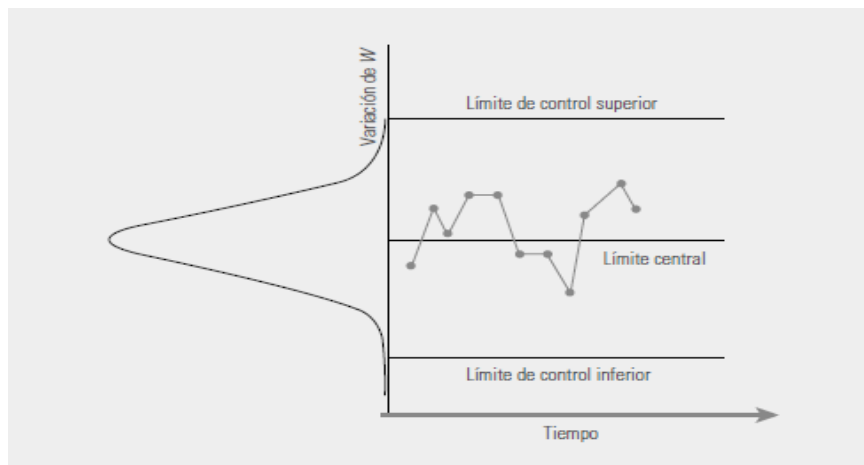
Los gráficos de control están compuestos por límites superior, inferior, y una recta central a través del tiempo. Si los puntos de la gráfica se encuentran dentro de los dos límites se considera que el proceso está bajo control. Es decir, que el proceso está operando de modo estable, esto refleja solo variación aleatoria natural. Los puntos fuera de los límites de control indican que el proceso no se encuentra controlado o hay causas extrañas.

Los límites se obtienen a partir de la relación entre la media y la desviación estándar de una variable, que para el caso de una variable con distribución normal con media m , desviación estándar σ , y bajo condiciones de control estadístico, se tiene que entre $\mu - 3\sigma$ y $\mu + 3\sigma$ se encuentra 99.73 %, el cual es un posible que puede adquirir la variable. En caso que no se tenga distribución normal, pero exista una distribución unimodal y con una forma no muy distinta a la normal, entonces se aplica la regla empírica o la extensión del teorema de Chebyshev. Las condiciones mencionadas son las que se toman de base para generar el modelo base para realizar una carta de control. (Gutiérrez Pulido, 1997).

Los límites se diseñan a manera que un proceso bajo control genere pocas falsas alarmas. Se remarca que bajo control no significa que satisfaga las especificaciones de tolerancia que se requieran. Un proceso bajo control es

sencillamente uno que indica comportamiento con respecto a la variación, que es estable con el tiempo sin indicar causas inusuales.

Figura 8. **Prototipo de un gráfico de control**



Fuente: Gutiérrez Pulido, H. (1997). Calidad total y productividad. México: Editorial McGraw-Hill. P.220.

Una carta de control típica, la cual se compone básicamente de tres líneas paralelas, comúnmente horizontales, que rematan a la izquierda en una escala numérica en las unidades del estadístico w , que se grafica en la carta. En la parte inferior, paralela a las líneas hay un eje que sirve para identificar la procedencia de los datos. En caso de que este eje sea una escala cronológica, entonces los puntos consecutivos se unen con una línea recta para indicar el orden en el que ha ocurrido cada dato.

7.6.3. Tipos de cartas de control

Las cartas de control tienen como objetivo observar y analizar el comportamiento de un proceso, a través del tiempo. Entre los tipos de cartas de control se encuentran por variables o por atributos.

R. Vara (2013), menciona en el contenido “Control estadístico de la calidad y seis sigma”, que las cartas de control por variables tipo Shewhart se dividen en:

- \bar{X} medias
- R de rangos
- S (de desviación estándar) y
- X (de medidas individuales)

Las cartas de control por variables se utilizan cuando se desea controlar variables de tipo continuo. Es decir que requieren de un instrumento de medición; pesos, volúmenes, voltajes, longitudes, resistencias, temperaturas o humedades.

7.6.3.1. Cartas de control de medias individuales

Según, E. Vásquez (2011), las cartas de control individuales, es un diagrama para parámetros de tipo continuo, pero no son aplicadas en procesos semimasivos o masivos. Estas pueden aplicarse a los siguientes procesos:

- Procesos químicos que se trabajan por lotes

- Procesos en los que las mediciones sólo difieren por el error de medición; temperaturas en procesos, humedad. Es decir, que no es viable realizar una n cantidad de subgrupos debido a que la variación entre ellos será mínima e insignificante.
- Procesos que implique variables cuyas mediciones se obtendrán por rangos amplios de tiempo; mediciones de productividad, de desperdicio, de consumo de agua o combustibles, entre otros.

Los límites de éstas cartas de control se determinan por medio de la estimación de media y la desviación estándar. En siguiente apartado se presenta la ecuación a utilizar para el determinar los límites inferior y superior para la elaboración de cartas de control individuales:

$$\bar{X} \pm 3 \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right)$$

Donde \bar{X} es la media de las mediciones de subgrupos y \bar{R} es la media de los rangos móviles de orden número dos, d_2 es una constante que para fines de éste tipo de gráfico es 1.128.

7.6.3.2. Interpretación de las cartas de control

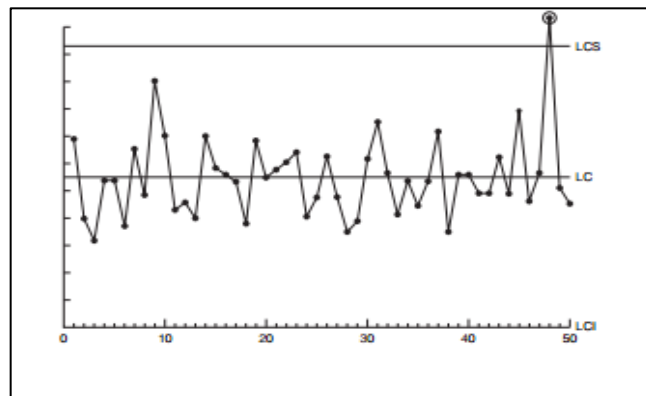
El objetivo básico de una carta de control es observar y analizar el comportamiento de un proceso, a través del tiempo. Esto permitirá distinguir las variaciones por causas comunes de las debidas a causas especiales (atribuibles), lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y así decidir las mejores acciones de control y de mejora.

R. Evans & M.Lindsay (2008) explican la interpretación de las cartas de control siguiendo los casos a continuación:

7.6.3.2.1. Evento 1. Desplazamientos o cambios en el nivel

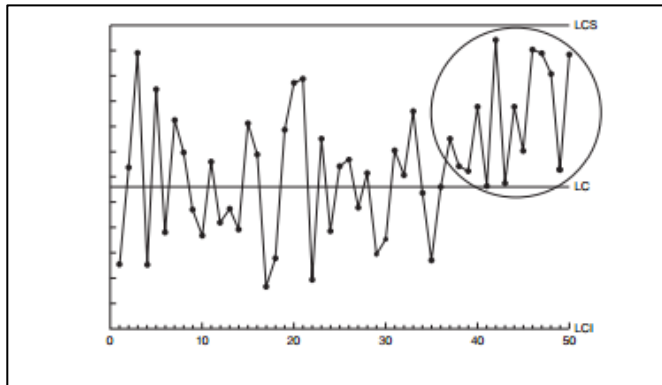
Este primer patrón sucede cuando los puntos graficados salen de los límites de control o cuando se presenta una cadena o tendencia de 8, 11, o incluso 14 datos seguidos en un solo lado de la línea central. Los cambios pueden comunicar que puede que se haya cambiado de personal, utilización de diversa maquinaria, diferente tipo de material utilizado, o incluso la metodología aplicada para la realización del proceso.

Figura 9. Punto fuera del límite de control



Fuente: R. Evans & M.Lindsay, Control estadístico de procesos, p. 727.

Figura 10. **Cambio de nivel**

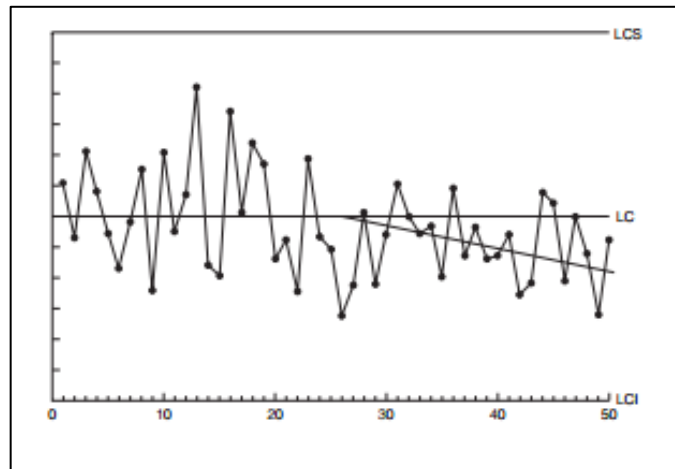


Fuente: R. Evans & M.Lindsay, Control estadístico de procesos, p. 727.

7.6.3.2.2. Evento 2. Tendencia de nivel

Es similar al comportamiento de datos hacia un lado de la línea central. Sin embargo, en este caso se presenta una tendencia de datos más definida de manera ascendente o decreciente. Este caso puede indicar deterioro de parte de los equipos, herramientas utilizados en la producción, calentamiento de la maquinaria, condiciones ambientales que afecten los equipos o aumento de desperdicios en los equipos. La tendencia está definida por 6 o más puntos consecutivos.

Figura 11. **Tendencia gradual**



Fuente: R. Evans & M.Lindsay, Control estadístico de procesos, p. 729.

7.6.3.2.3. Evento 3. Ciclos o periodicidad

Al observar este comportamiento se puede interpretar que se trata de cambios en el ambiente, o se están realizando las mediciones de control de proceso con diferentes tipos de dispositivos que incrementa la incertidumbre en la medición de determinados parámetros. Así también puede darse el caso de que se esté utilizando diferente personal o maquinaria. Es decir que se están realizando rotaciones.

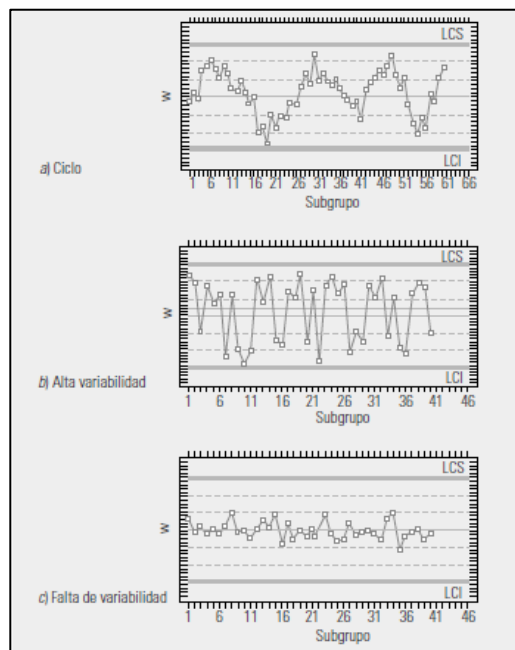
7.6.3.2.4. Evento 4 y 5. Mucha y falta de variabilidad

Cuando se presenta comportamientos de mucha variabilidad, se podrá observar que los punto de los datos graficados se encuentran muy cercad de

los límites de control y pocos puntos en la línea central. Las causas de ese comportamiento pueden ser por sobre ajustes en los procesos, diferentes métodos de prueba o calidad del material utilizado para la producción.

Una señal de falta de variabilidad tampoco asegura que el proceso se encuentra operando en sus mejores condiciones debido a que puede que no esté expresando un comportamiento real debido a equivocación en un cálculo, agrupamiento de muestra o asignación inapropiada del gráfico de control, prácticamente son causas que se generan al momento de realizar el gráfico.

Figura 12. Tipos de comportamiento de un gráfico de control



Fuente: H. Gutiérrez, Cartas o diagramas de control, p. 234.

7.6.4. Tamaño de la muestra y frecuencia de la muestra

Montgomery (2004), en su texto de introducción a la estadística de control de calidad, indica que un gráfico de control debe poseer un tamaño de muestra y una frecuencia de muestreo y asimismo menciona que entre mayor se la muestra y la frecuencia será más sencillo detectar un cambio en el proceso de estudio. Sin embargo no sería económicamente viable al asignarse un esfuerzo exhaustivo. Por lo que menciona que se puede determinar una frecuencia optima a través de la evaluación de la longitud promedio de corrida (ARL) y el (ATS).

7.6.4.1. Longitud promedio de corrida (ARL)

Capilla & Romero (1989) en su artículo definen que ARL, es una métrica utilizada para evaluar la eficacia de los diagramas de control, está medida indica la cantidad de muestras necesarias tomar hasta que se encuentre una falla o un punto fuera de los límites del diagrama de control que indique una posible causa de desperfecto. Por lo que si la métrica indicara ARL 5, existirían 5 muestras o puntos en el gráfico antes de que se presentara una falla.

$$ARL = \frac{1}{P}$$

Donde P es la probabilidad de que no se detecte las salidas del control del proceso. En caso que se desee determinar la frecuencia cuando se presente la probabilidad de obtener falsa alarmas, es decir cuando un punto que se salga de los límites no posea una causa asignable.

7.6.4.2. Tiempo promedio hasta la señal (ATS)

Campos (2012), en su tesis doctoral indica que el ATS, es ARL expresado en unidades de tiempo, este se utiliza dependiendo de la naturaleza del control que se desea realizar. Es decir que expresa el tiempo promedio hasta la señal fuera de control. Este se puede calcular cuando se tenga un tiempo determinado o inicial entre muestras.

$$ATS = ARL * t$$

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO DE INFORME

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS
ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Carbón Mineral

2.1.1. Usos del Carbón Mineral

2.1.2. Formación del Carbón Mineral

2.1.3. Clasificación del carbón

2.2. Análisis Físicoquímicos para el carbón mineral

2.2.1. Análisis de control de proceso

2.3. Reducción mecánica de tamaño

2.3.1 La compresión

2.3.2 Impacto

2.3.3 Frotación

2.3.4 Corte

- 2.3.5. Equipo para la reducción de tamaño
- 2.4. Control estadístico de procesos
 - 2.4.1. Variación y sus causas
 - 2.4.2. Carta de control y sus elementos básicos
 - 2.4.3. Tipos de cartas de control
- 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 3. PROPUESTA DEL PLAN DE ANÁLISIS FÍSICO Y FÍSICOQUÍMICOS
 - 3.1. Frecuencia de análisis de las variables de humedad y fineza
 - 3.2. Asignación de recursos para el análisis de las variables de control del proceso de molienda del carbón

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos planteados anteriormente, se utiliza la siguiente metodología, la cual permite identificar las variables y mediciones a utilizar.

9.1. Diseño de investigación

El tipo de estudio a realizar es no experimental, debido a que no se añadirán variables al sistema sino se propondrá una planificación de acuerdo a una nueva frecuencia de medición a los parámetros de humedad y fineza.

La investigación está orientada a un enfoque cualitativo y cuantitativo. El primero debido a la observación y construcción de gráficos de control a realizar y segundo, por la aplicación de estadística descriptiva para el análisis de datos de las variables a estudiar.

De alcance tipo descriptivo y retrospectivo, ya que se recaudará información proporcionada por la base de datos del laboratorio de control de calidad de la organización de meses anteriores.

El plan para la estandarización permitirá que se lleven a cabo las mediciones necesarias para controlar el proceso de molienda del carbón mineral como suministro de energía logrando estabilizar el proceso térmico.

9.2. Variables e indicadores

Para el logro de los objetivos definidos, se identificaron las siguientes variables para determinar los puntos de mejora para el control del proceso de molienda, a través de los parámetros de calidad del carbón mineral, las cuales son:

- La primera variable es variabilidad o dispersión, la cual se le determinará a cada parámetro del carbón mineral; humedad, porcentaje de ceniza y fineza a la entrada y salida del molino de bolas. La variabilidad consiste en conocer qué tan diferentes son los datos entre sí, la medición de ésta variable se realizará a través de la desviación estándar poblacional.
- La segunda variable identificada es capacidad del proceso, la cual se determinará a través del indicador: Índice de capacidad del proceso (C_p). El cual toma en cuenta la variabilidad del proceso y las especificaciones de calidad, permite la toma de decisiones, conocer si requiere modificaciones sencillas o serias para alcanzar la calidad satisfactoria para el control del proceso de molienda y estabilidad del proceso térmico.
- La tercera variable identificada como control estadístico, la cual se determinará a través de realización de gráficos de control para cada uno de los parámetros; humedad, ceniza y fineza.

Tabla III. **Variables e indicadores**

Nombre de la variable	Tipo de variable	Indicador	Instrumentos
Dispersión	Cuantitativa	Desviación estándar.	Base de datos de análisis fisicoquímicos del laboratorio de control de calidad.
Capacidad del proceso	Cuantitativa	Índice de capacidad del proceso.	Base de datos de análisis fisicoquímicos del laboratorio de control de calidad.
Control estadístico	Cuantitativa continua	Gráficos de control de medias independientes ARL y ATS	Base de datos de análisis fisicoquímicos del laboratorio de control de calidad.

Fuente: elaboración propia.

Para llevar a cabo de manera efectiva el estudio se plantean las siguientes fases:

- Fase 1: Para el cumplimiento del primer objetivo, se llevará a cabo la recolección de la información de los parámetros de humedad, fineza y contenido de ceniza, proporcionados por el laboratorio de control de calidad y encargados de la organización. Esto implica revisar la frecuencia inicial con la que se realizan los análisis y la distribución de recursos del laboratorio.
- Fase 2: Se realizará la construcción de diagramas de control de medias individuales de la información recaudada en el programa computacional RStudio, con el objetivo de determinar el comportamiento del proceso de molienda del carbón, a través del tiempo y poder determinar si se encuentra dentro de control estadístico, se realizará el cálculo de la

desviación de cada uno de los parámetros mencionados, identificando las variables críticas. Así también, se realizará el cálculo para determinar la capacidad del proceso de molienda del carbón mineral para conocer la amplitud de la variación natural del proceso, permitiendo conocer en qué medida los parámetros de humedad y fineza son satisfactorias.

- Fase 3: A través del análisis de los resultados obtenidos de variabilidad de los parámetros, la construcción de los diagramas de control, determinación de la capacidad del proceso y la aplicación de los conceptos control estadístico de procesos ARL y ATS se determinará la frecuencia para realizar los análisis físicos y fisicoquímicos que permitirán contribuir con la mejora de la planificación de los mismos para el control del proceso de molienda del combustible carbón mineral y lograr la estabilización del proceso de combustión posterior que se encarga de la fabricación de las nuevas materias primas y nuevos productos.

9.3. Población y muestra

La población serán los análisis de cada parámetro; humedad, ceniza y fineza. La base de datos de análisis fisicoquímicos cuenta con 1999 datos, siendo éste el dato total de la población. A continuación se muestra la ecuación a utilizar para determinar la muestra a utilizar:

$$n = \frac{N * Z^2 * P * q}{(N - 1)e^2 + Z^2 * P * q}$$

Donde N, es el tamaño de la población, para el estudio es de 1999 datos, Z es el nivel de confianza que se espera obtener si se trata como una

distribución normal; se espera que sea del 95 %, es decir, 1.96. P y q son los valores que no poseen que no se encuentran en los rangos requeridos, por lo que se le ha asignado el valor del 50 % a ambos. Por último e, es el valor de error esperado 5 %.

Al ingresar los datos a la fórmula respectiva, se determina que el estudio necesitara 90 datos, por lo que el estudio abarcará los datos equivalentes a un mes, el cual será agosto 2016, tomando información del punto de ingreso del carbón y salida del proceso de molienda del carbón.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Tomando como base los objetivos planteados, se llevarán a cabo el análisis a través de las siguientes técnicas de análisis de información:

Para el cumplimiento del primer objetivo se utilizará:

10.1. Observación

El diagnóstico se llevará a cabo a través de la aplicación de la observación del comportamiento de los parámetros de humedad y fineza del carbón mineral en un determinado rango de tiempo. Los parámetros serán proporcionados debido al acceso a la base de datos del laboratorio de control de calidad de la empresa.

10.2. Estadística descriptiva

Se utilizará para la determinación de la variabilidad y el comportamiento de las variables en el proceso de molienda del carbón mineral y servirá para la construcción de diagramas de control.

10.2.1. Medidas de tendencia central

Media aritmética simple: Se puede expresar como el centro de gravedad de una distribución, es decir, que se encuentra dentro del rango de variación de un conjunto de datos. Se utilizará para la determinación de límites superiores e inferiores del diagrama de control y conocer el valor esperado de las variables.

10.2.2. Medidas de dispersión o variabilidad

Desviación estándar del proceso: Se utilizará para conocer por medio de un valor que tanto se dispersan los parámetros de fineza y humedad de su media, es decir que proporcionará información para la determinar la frecuencia con la que se deberán realizar los análisis y contribuirá a la determinación de los límites para los diagramas de control.

10.2.3. Índice de capacidad del proceso

Es el resultado que se obtendrá para determinar si el proceso cuenta con la habilidad, es decir si es capaz de brindar el cumplimiento en cuanto a las especificaciones requeridas de fineza y humedad. Se considerará capaz si el dato a obtener es mayor a la unidad.

10.3. Diagramas de dispersión de medias independientes

Se utilizarán para determinar si el proceso se encuentra en control estadístico al graficar los datos y además se emplearan para el desarrollo de la frecuencia de análisis de los parámetros que contribuirán a la estandarización del proceso. Se analizarán a través de la observación estructurada de los puntos a graficar, permitiendo conocer el comportamiento por medio de la interpretación de los puntos de dispersión. La interpretación de los mismos se especifica en el punto 6.4.3.2 de este documento. Es decir que los diagramas de control brindarán una descripción gráfica del proceso a través del tiempo. Éstas se elaborarán utilizando el programa computacional RStudio 0.99.902.

Para el cumplimiento del tercer objetivo. Se utilizará la siguiente técnica:

10.4. ARL y ATS

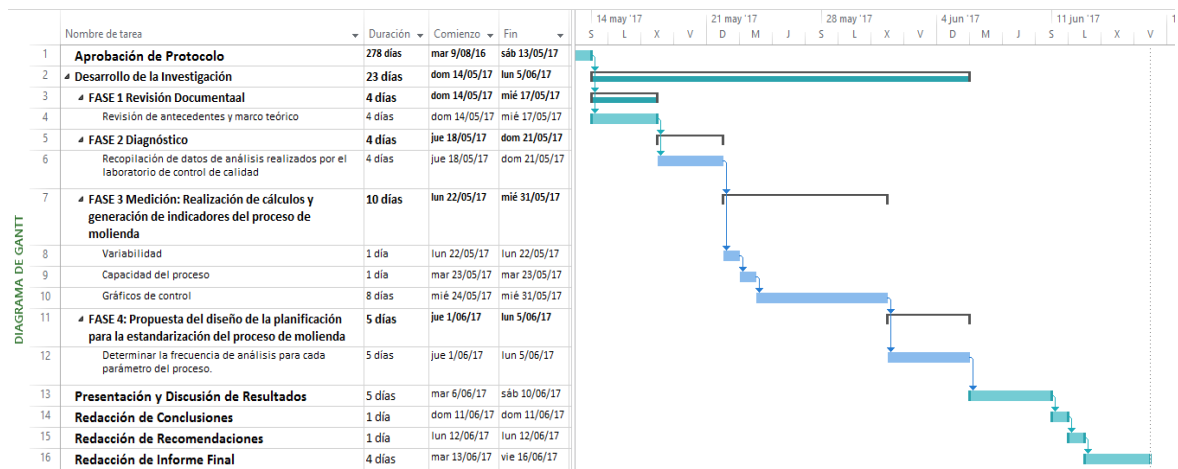
El resultado a presentar es la propuesta de una frecuencia de análisis que permita el control del molino, por lo que se empleará los conceptos ARL, el cual es la longitud de corrida, que se determinara a través del inverso de la probabilidad de que algunos puntos graficados excedan los límites de control o sea una falsa alarma.

Para analizar desde un punto de vista la frecuencia con la que se probablemente se de una falsa alarma de empleará el término de ATS, el cual tiene como función expresar el valor del ARL en tiempo.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la siguiente figura, se muestra la serie de actividades que se tienen programadas:

Figura 13. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, empleando software Microsoft Project 2010.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El proyecto del diseño de un para la estandarización del proceso es factible, dado que las circunstancias del laboratorio de control de calidad, desea brindarles a sus clientes internos; operadores del proceso de molienda del carbón, resultados en tiempo aplicando la propuesta.

La organización posee la disponibilidad a la información de los resultados de las mediciones realizadas a los parámetros de control del proceso.

La factibilidad del estudio se establece por el presupuesto con el que se debe de contar para su ejecución. Entre los recursos a utilizar son humanos, materiales y financieros, los cuales serán resguardados por el investigador.

A continuación se presentan los recursos que son necesarios para llevar a cabo el proyecto:

Tabla IV. **Recurso humano**

Rubro
Recurso humano
Investigador (Estudiante)
Asesor

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Recursos materiales**

Rubro
Recurso material
Computadora
Impresora
Materiales y útiles de oficina
Servicio de internet

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Recursos materiales**

Rubro	Monto en Quetzales
Asesoría	Q.2,500.00
Recursos Materiales	Q.7,650.00
Transporte	Q.1,000.00
Estudios de maestría	Q.10,800.00
Total	Q.21,950.00

Fuente: elaboración propia.

El financiamiento será mixto, ya que la empresa apoyará en cuanto al proporcionar los materiales físicos, instrumentos de medición, la información necesaria y la investigadora aportara al asesor, gastos de la maestría y recursos materiales de librería, por lo cual es factible la presente investigación.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amorocho Cortés, E., & Oliveros Villamizar, G. (2000). *Apuntes sobre Energía y Recursos Energéticos*. Recuperado de [https://books.google.com.gt/books?id=HHZYm0mp3ZcC&printsec=frontcover&dq=Amorocho+Cort%C3%A9s,+E.,+%26+Oliveros+Villamizar,+G.+\(2000\).+Apuntes+sobre+Energ%C3%ADa+y+Recursos+Energ%C3%A9ticos.+Bucaramanga:+Universidad+Aut%C3%B3noma+de+Bucaramanga.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiiIqoiNTNAhVILB4KHVOWBaEQ6AEIJzAC#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=HHZYm0mp3ZcC&printsec=frontcover&dq=Amorocho+Cort%C3%A9s,+E.,+%26+Oliveros+Villamizar,+G.+(2000).+Apuntes+sobre+Energ%C3%ADa+y+Recursos+Energ%C3%A9ticos.+Bucaramanga:+Universidad+Aut%C3%B3noma+de+Bucaramanga.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiiIqoiNTNAhVILB4KHVOWBaEQ6AEIJzAC#v=onepage&q&f=false).
2. Caballero, A. L., & Médico, O. A. (2013). *Caracterización y posible uso de cenizas resultantes de la combustión*. Santa Cruz, Argentina. Consultado el 24 de mayo de 2016. Recupedo de: <http://www.redisa.uji.es/artSim2013/CaracterizacionDeResiduosSolidos/Caracterizacion%20Cenizas%20Combustion%20Carbon.pdf>
3. Cortés, V. J. (2013). *Carbón*. Consultado el 06 de Septiembre de 2015. Recuperado de: <http://www.factoria3.com/documentos/CARBON.pdf>
4. Costa, J., Cervera, S., Esplugal, F., Mans, C., & Mata, J. (2004). *Introducción a los Procesos, las operaciones Unitarias y los fenómenos de transporte*. Recuperado de: https://books.google.com.gt/books?id=XZNYpvnO_V8C&pg=PR4&dq=Costa+L%C3%B3pez,+J.,+Cervera+March,+S.,+Esplugas+Vidal,+F.,+Mans+Teixid%C3%B3,+C.,+%26+Mata+%C3%81lvarez,+

J.+(2004).+Introducci%C3%B3n+a+los+Procesos,+las+operacion es+Unitarias+y+los+fen%C3%B3menos+de+transporte.+Barcelon a:+Revert%C3%A9,+S.A.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjolZ_HjNT NAhUF2R4KHW_fA4AQ6AEIHDA#v=onepage&q=Costa%20L% C3%B3pez%2C%20J.%2C%20Cervera%20March%2C%20S.%2 C%20Esplugas%20Vidal%2C%20F.%2C%20Mans%20Teixid%C3 %B3%2C%20C.%2C%20%26%20Mata%20%2C%81lvarez%2C% 20J.%20(2004).%20Introducci%C3%B3n%20a%20los%20Proces os%2C%20las%20operaciones%20Unitarias%20y%20los%20fen %C3%B3menos%20de%20transporte.%20Barcelona%3A%20Rev ert%C3%A9%2C%20S.A.&f=false

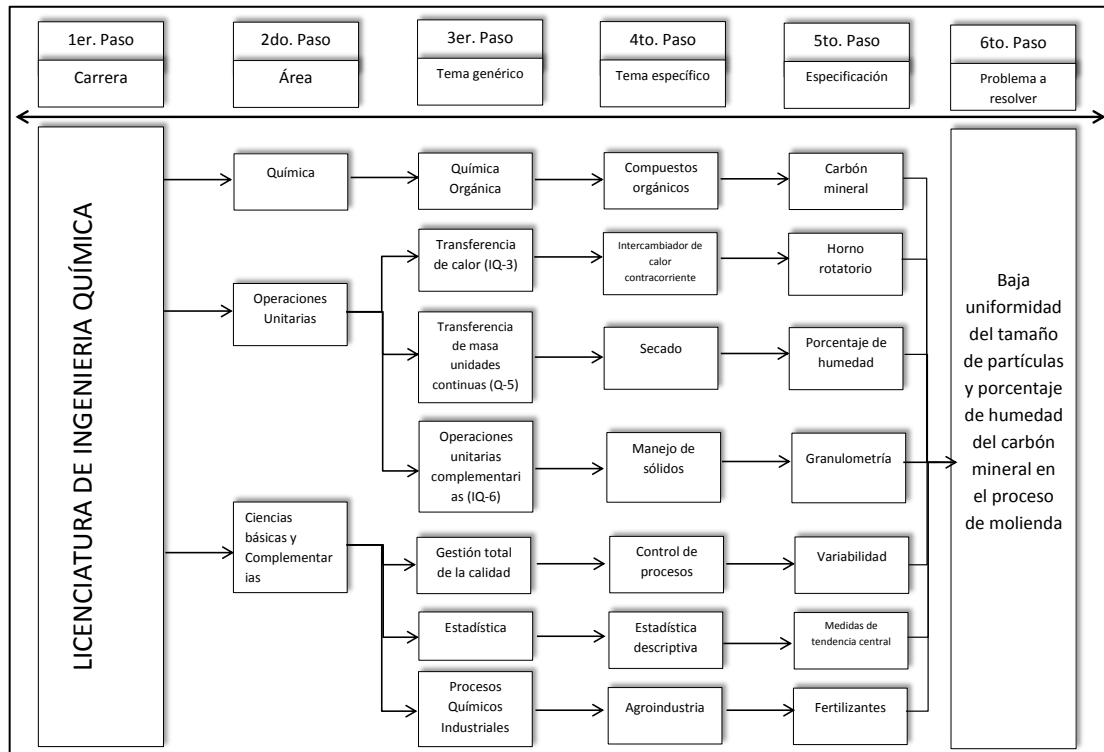
5. Díaz, J. M. (2002). *Corrección y Mejora del Análisis de Humedad del Carbón Térmico por medios no destructivos en tiempo real.*(Tesis doctoral). Universidad de Oviedo, España. Recuperado_de: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11109/UOV0012.pdf?sequence=1>
6. Evagelista, C.(2007). *El Carbón El Recorrido de los Minerales.* Madrid.Consultado el 04 de agosto de 2015. Recupero de: [http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=ContentDisposition&blobhead ervalue1=filename%3DMurales+\(reducido\).pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1202793917623&ssbinary=true](http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=ContentDisposition&blobhead ervalue1=filename%3DMurales+(reducido).pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1202793917623&ssbinary=true)
7. Girón, Y. (2014). *Diseño de un Plan de muestreo de carbón mineral tomando como referencia el patrón establecido por la norma ASTM D4749-07. Confirmación estadística a través de la prueba*

de bondad de ajuste ji cuadrada . (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

8. Gómez, M., Rodríguez R., & Monge, L.(2010). *Evaluación de la Calidad Del Carbón Vegetal producido en hornos de retorta y hornos metálicos portátiles en el salvador*. (Tesis de pregrado). Antigua Cuscatlán, El Salvador. Recuperado de: http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/evaluacion_de_la_calidad_del_carbon_vegetal_producido_en_hornos_retorta_y_hornos_metalicos_portatiles_en_El_Salvador.pdf
9. Gutiérrez Pulido, H. (1997). *Calidad total y productividad*. Distrito Federal, México: Editorial McGraw-Hill. 216-257 p.

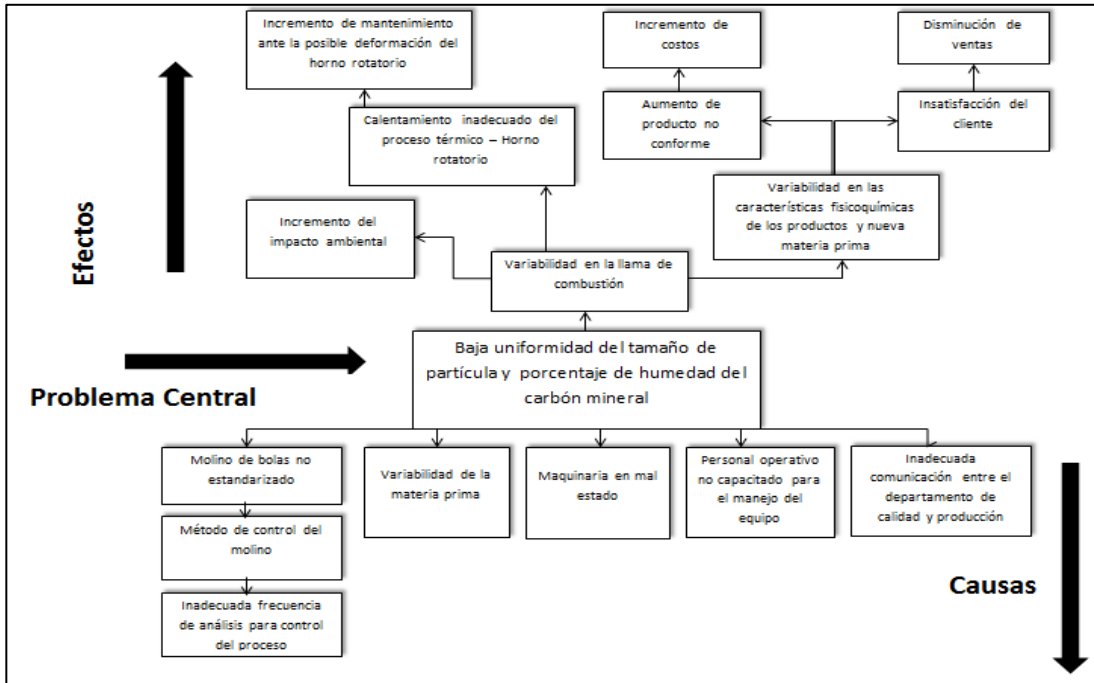
14. APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.