

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOATEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS
BALANCEADOS PARA ANIMALES**

REALIZADO POR:

DANIELA ALEJANDRA REYES ACEVEDO

C.I.: 18.325.402

Trabajo especial de grado, presentado ante la ilustre
Universidad de Oriente como requisito parcial para optar al título de:
INGENIERO QUÍMICO

Puerto La Cruz, mayo de 2011

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOATEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS
BALANCEADOS PARA ANIMALES**

ASESORES

Ing. Químico Luis Moreno
Asesor académico

Ing. Agroindustrial Francisco Iturbe
Asesor industrial

Puerto La Cruz, mayo de 2011

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOATEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS
BALANCEADOS PARA ANIMALES**

JURADO CALIFICADOR:

Ing. Químico Luis Moreno
Asesor académico

Ing. Químico Héctor Silva (M.Sc.)
Jurado principal

Ing. Químico Frank Parra
Jurado principal

Puerto La Cruz, mayo de 2011

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado

“los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la universidad de oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participará al consejo universitario”

DEDICATORIA

Primeramente esto va dedicado a Dios, por ser grande, majestuoso, fuerte y misericordioso, por permitirme ser su hija, por guiarme durante todos mis estudios, por cuidar cada paso de mi vida, porque solo Él hizo posible todo este logro.

También se lo dedico a Jesucristo porque él es el mediador entre Dios y nosotros, por venir a la tierra a morir en una cruz por nuestros pecados, porque solo Él fue capaz de bajar de los cielos para ser el cordero de Dios, y gracias a eso tenemos la posibilidad de ser salvos y tener Espíritu Santo en nosotros.

Además esta dedicación también es para el Espíritu Santo, por que se implantó en mí como una semilla, y su presencia hace que mi fortaleza espiritual crezca y de frutos para la gracia de Dios.

Porque en mi vida Dios siempre es primero, pues como lo dice en su palabra: *“Mas buscad primeramente el reino de Dios y su justicia, y todas las demás cosas serán añadidas” Mat 6:33.*

Este logro también va dedicado a mis padres, Milagros y Elías, por su incondicionalidad hacia mí en todos los aspectos de mi vida, porque siempre confían en mí y respetan mis decisiones, por su gran apoyo durante toda mi carrera, tanto en los momentos buenos como en los malos, porque siempre han creído en mi, en que podría lograr todo esto y mucho más.

Y como dice Dios es su palabra: *“Hijos, obedeced en el señor a vuestros padres, porque esto es justo. Honra a tu padre y a tu madre, que es el primer mandamiento con promesa; para que te vaya bien, y seas de larga vida sobre la tierra”. Efe 6:1-3.* Y Creo que esta es una de las maneras en que un hijo puede honrar a sus padres.

Por esto y muchas cosas más los Amo padres. Este triunfo es para ustedes.

Daniela Alejandra Reyes Acevedo

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por estar siempre a mi lado y darme la fortaleza necesaria para seguir adelante, llenarme de fe y esperanzas en todos los momentos difíciles durante la carrera, gracias a su apoyo pude triunfar.

Gracias a mis padres por todo su apoyo, económico y sentimental, porque siempre estuvieron ahí tanto para darme un aliento en los momentos difíciles, como para celebrar los triunfos felizmente. Porque siempre tuvieron fe en mi, y la seguirán teniendo. También porque hicieron de mi una mujer de bien, educada y con principios. Los Amo.

Gracias a mi hermano porque con él he compartido casi toda mi vida, y aunque a veces estemos distanciados, siempre será mi hermano y lo Amo.

Gracias a todos los amigos que de alguna manera contribuyeron a alcanzar este logro.

A dos grandes amigas que además de compartir muchos momentos de estudios, desvelos y celebraciones, pasaron a formar parte importante en mi vida, por todos los momentos especiales que he vivido con ellas, porque siempre están ahí para darme un buen consejo o escucharme cuando lo necesito. Ariana aunque estamos lejos nunca hemos dejado de estar en contacto ni de tener la misma confianza, eres una persona muy especial y de sentimientos muy lindos, te deseo lo mejor, muchos éxitos, te quiero mucho amiga. María José, te conozco desde el liceo y aunque para ese entonces nuestra relación no era la mejor ahora somos grandes amigas y aun siendo tan diferentes nuestra amistad se ha mantenido intacta y siempre hemos sabido resolver las cosas de la mejor manera, confío mucho en ti y espero que tengas mucho éxito en tu vida.

A unas buenas amigas, muy sentimentales por cierto, con las que compartí momentos de tensión, estudio, tristezas y desvelos, y en las que pude y puedo confiar muchas cosas. Ana Karina nos conocemos desde hace mucho, nuestra amistad viene del liceo, pero en la universidad se hizo más grande, gracias por tu apoyo incondicional y por estar siempre ahí, eres una gran mujer, de buen corazón y muy dedicada, eso te ha hecho lograr grandes cosas, cree mucho en ti que tu eres capaz de lograr mucho más de lo que crees. Paola estamos distanciadas desde hace algunos años pero nuestra amistad sigue estando ahí, contigo compartí muchas cosas especiales, sigue adelante que con tu dedicación vas a lograr grandes cosas, te deseo lo mejor.

Gracias Julio Bolívar por ser un buen amigo, contigo compartí muchos momentos en la carrera, y a pesar de que vivíamos peleando, nos tenemos mucho aprecio y respeto. Éxitos para ti, te deseo lo mejor como profesional y como persona.

También quiero agradecerle a una persona muy especial en mi vida, con la que he compartido grandes momentos, porque me ha ayudado a crecer como persona en muchos aspectos, porque cree y confía en mí, porque me quiere y me respeta, porque además, aportó grandes ideas en mi tesis, y para mi es más que un amigo, gracias Jahir te Amo. Eres un gran hombre y de buen corazón, creo y confío mucho en ti, me agrada

mucho que podamos estar alcanzando este logro juntos, y espero que juntos vengan muchos logros más.

Gracias a mis compañeros de pasantías porque durante nuestra estadía en la planta nos ayudamos unos a otros, aportándonos ideas, ayudándonos a tomar datos y a compartir muchos momentos buenos, gracias a Arlenis, Marycarmen, Carlos, y en esta etapa también tuve la dicha de compartir con Jahir.

Al comando, con el que compartí los últimos momentos de mi carrera celebrando los grandes logros y apoyándonos con cada una de nuestras tesis, gracias por su ayuda y porque de alguna manera contribuyeron al desarrollo de mi tesis, a Leidy, Cesar, Danilo, Johnsfer y Héctor, aquí también entran personas ya mencionadas anteriormente como Ana Karina, Arlenis y Jahir. A todos gracias por su honestidad, cariño, preocupación y sobre todo por su amistad. Les deseo éxito en sus vidas colegas.

A buenas compañeras de estudios con las que pase muchas noches de desvelo, estudiando, con las que viví muchas preocupaciones por algunas materias, y con las que también compartí algunas rumbitas para liberarnos de tanto estrés, gracias a Lian y a Rilimar. También le agradezco a mis amigas de toda la vida, Saraí, Keidy, Any, y a Vanessa por tantos momentos compartidos y porque una amistad como esa es difícil de borrar, a pesar de la distancia.

A tantos compañeros y conocidos cuyos nombres se escapan en este momento pero que estoy consciente que depositaron su confianza en mí, sientan que son partícipes de este logro que hoy me permito compartir con ustedes, para todos y cada uno muchísimas gracias.

También quiero agradecerle a la planta de alimentos Super S por permitirme realizar las pasantías allí, donde aprendí muchísimas cosas. Al señor José Guinan que fue el que hizo posible mi entrada a la planta.

Gracias a todas aquellas personas que de alguna manera ayudaron durante mi estadía en Super S. Como lo fueron mi tutor Francisco Iturbe, Raziel, Ricardo, Renso, Eduardo, Danyella, Carmen, los operadores de molienda especialmente Carmona y Jorge (conocido popularmente como "Concha"), a los supervisores de producción Batista, Orlando y Carlos, especialmente a los 2 últimos porque me aportaron buenas ideas y estuvieron a la disposición cada vez que necesitaba algún cambio en el proceso para realizar ensayos en el molino. A Adelys, el señor Junior y los demás de mantenimiento que de alguna manera ayudaron. Al señor Erasmo que me aclaro muchas cosas del proceso.

Además quiero darle un especial agradecimiento a Julio Bolívar, Ridel López y Samuel Martínez, porque cada vez que tenía alguna inquietud la aclaraban, porque siempre estuvieron a la disposición para ayudarme, por aportar muchísimas ideas buenas, ayudarme a conseguir cualquier cantidad de información y ponerme en contacto con personas de afuera que podían ayudarme a resolver cualquier inquietud en el desarrollo de los objetivos de la tesis, entre otras tantas cosas, gracias muchachos.

A mi asesor académico, el Ing. Luis Moreno por toda su dedicación y esmero. Por su apoyo al motivarme a hacer las cosas mejor y su valiosa colaboración para la realización de esta tesis.

A la Universidad de Oriente, especialmente el Departamento de Ingeniería Química conformada por un excelente grupo de profesores, que supieron encaminar cada uno de

mis pasos hacia el campo profesional a través de sus enseñanzas. Y por darme la satisfacción de culminar con éxito esta etapa profesional y poder decir con virtud que soy egresada de la ilustre Universidad de Oriente, la casa más alta del oriente Venezolano.

A TODA mi gran familia y amigos cercanos a ella, que de alguna manera estuvieron pendiente de mi trayectoria universitaria y creyeron que podría lograr todo esto. Entre los cuales están los Reyes, los Acevedo, los Caballero, los D'lima, los Montesino, los Rojas, los Vilera, los Romero al cuadrado y los Ramos, sin mencionarlos uno a uno porque son demasiados y pueda que se me escape alguna persona, pero quiero que sepan que los llevo a todos en mi corazón y lo quiero muchísimo. Gracias por creer en mí.

Por último quiero agradecer a 2 personas que ya no están entre nosotros, pero las quise muchísimo y fueron parte importante en mi vida, a una la perdí hace muchos años, y a la otra hace sólo unos pocos meses, mi Abuela Calixta y mi Tía Isolina, ambas fueron pérdidas muy duras que ocasionaron, depresiones e impactos fuertes en mi vida. Espero que en este momento estén descansando en paz y puedan tener la oportunidad de entrar al reino de Dios.

Daniela Alejandra Reyes Acevedo

RESUMEN

La planta de alimentos Super S C.A se dedica a la producción y comercio de alimentos para aves, ganados y cerdos. El sistema de molienda de granos es uno de los procesos más importante en la producción de alimentos balanceados para animales puesto que no toda la materia prima necesaria se encuentra a la granulometría deseada. En alimentos Super S éste consta principalmente de un molino de martillos en el que se tritura maíz, soya y sorgo en diferentes tamaños. En la actualidad este sistema presenta fallas en el funcionamiento y operación, con la finalidad de mejorarlo y aumentar el ahorro económico, se planteó en este proyecto la evaluación de dicho sistema. Para ello, se estudió el desgaste de los martillos con el tiempo, y se obtuvo que un juego de martillos puede moler durante 5 meses antes de que estos lleguen a su desgaste máximo, período que pudiera ser mayor, si se ajustan ciertas condiciones operacionales en las que se trabaja. También se determinó la distribución granulométrica de los productos molidos, donde se obtuvieron altos porcentajes de retención en la bandeja para las muestras de molienda gruesa, y en las muestras de molienda fina algunas con porcentajes de retención relativamente altos en los tamices de abertura mayor. Para la selección del flujo de alimentación adecuado se tomaron en cuenta varios factores, y se encontró que el rango de amperaje más adecuado está entre 160-180 Amp, es decir, cuando se le suministran corrientes altas al motor del molino. En la determinación del rendimiento energético se verificó que la eficiencia del motor disminuye a medida que se incrementa la intensidad de corriente al mismo. Por último, se propuso una reubicación de todo el sistema, donde se plantearon 2 opciones con vías de transporte directas hacía la alimentación del molino.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN.....	IX
CONTENIDO	X
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE TABLAS	XV
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2 PLANTAS PROCESADORAS DE ALIMENTOS PARA ANIMALES	6
2.3 SISTEMA DE MOLIENDA	7
2.3.1 Requerimientos de energía y de potencia para la reducción de tamaño	8
2.3.2 Alimentación y descarga del molino	9
2.3.3 Molino de martillos	10
2.3.3.1 Diferentes posibilidades de alimentación.....	11
2.3.3.2 Martillos	11
2.3.3.3 Ajustes del flujo de aire	12
2.3.3.4 Mallas	13
2.3.3.5 Molienda fina o gruesa.....	14
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA FORMA Y TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS.....	14
2.4.1 Método de tamizado	15

2.4.2 Distribución del tamaño de las partículas	16
2.4.3 Método de la distribución logarítmica normal para obtención del diámetro medio de las partículas	17
2.5 IMPORTANCIA DE LA GRANULOMETRÍA DEL ALIMENTO EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE LOS ANIMALES	19
2.6 ACERO AL CARBONO	20
2.6.1 Aceros aleados	21
2.6.1.1 Manganeso	21
2.6.1.2 Tungsteno	21
2.7 VELOCIDAD ANGULAR.....	22
2.8 VELOCIDAD TANGENCIAL	22
2.9 MOTORES TRIFÁSICOS DE CORRIENTE ALTERNA	23
2.9.1 Potencia en motores trifásicos.....	23
2.9.2 Eficiencia de motores trifásicos	25
CAPÍTULO III.....	27
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	27
3.1 DEFINICIÓN DE LOS INTERVALOS DE TIEMPO PARA EL CAMBIO DE LOS MARTILLOS DEL MOLINO	27
3.2 DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS PRODUCTOS MOLIDOS	34
3.3 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DEL MOLINO	37
3.4 SELECCIÓN DEL FLUJO DE ALIMENTACIÓN ADECUADO PARA EL MOLINO, DEPENDIENDO DEL TIPO DE MATERIA PRIMA	40
3.5 PROPUESTA PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MOLIENDA	49
CAPÍTULO IV	53
ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
4.1 DEFINICIÓN DE LOS INTERVALOS DE TIEMPO PARA EL CAMBIO DE LOS MARTILLOS DEL MOLINO	53
4.2 DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS PRODUCTOS MOLIDOS	57
4.3 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DEL MOLINO	64
4.4 SELECCIÓN DEL FLUJO DE ALIMENTACIÓN ADECUADO PARA EL MOLINO, DEPENDIENDO DEL TIPO DE MATERIA PRIMA	68

4.5 PROPUESTA PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MOLIENDA	75
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
METADATOS	83

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 Ubicación geográfica de Alimentos Super S C.A, planta Barcelona..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.1 Molino de martillos (Champion, 1998)**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.2 Representación de una entrada tangencial en un molino de martillos **¡Error! Marcador no definido.**
(Tanner y Uzwil, 2006)**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.3 Representación de una entrada radial en un molino de martillos..... **¡Error! Marcador no definido.**
(Tanner y Uzwil, 2006)**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.4 Representación de una entrada axial en un molino de martillos **¡Error! Marcador no definido.**
(Tanner y Uzwil, 2006)**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.5 Representación de una entrada vertical en un molino de martillos **¡Error! Marcador no definido.**
(Tanner y Uzwil, 2006)**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.6 Desgaste de los martillos. (A) Desgaste regular; (B) Desgaste excesivo (Champion, 1998).....**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.7 Representación del desgaste de las mallas según la ubicación de los agujeros (Champion, 1998).....**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.8 Juego de tamices (Núñez, 2008)**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.9 Curva de análisis diferencial para la distribución del tamaño de las partículas**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.10 Curva de análisis diferencial para la distribución del tamaño de las partículas**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.11 Representación de la velocidad angular**¡Error! Marcador no definido.**
(Rena, 2008).....**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.12 Representación vectorial de la velocidad tangencial en una circunferencia (Fisicapráctica, 2008)**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.1 Dimensiones estándares de los martillos instalados en el molino..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.2 Distribución de los ejes y posición de los martillos estudiados en el molino**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.3 Martillos deformados por piezas metálicas**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.4 Representación de las distancias en el eje del molino;**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.5 Diagrama de flujo del sistema actual de molienda;**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.6 Sistema de tanques conectados**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.7 Diagrama de flujo para la primera propuesta de reubicación;**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 3.8 Diagrama de flujo para la segunda propuesta de reubicación **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.1 Curva de desgaste para el martillo 1 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.2 Curva representativa del desgaste acumulativo para condición extrema **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.3 Distribución diferencial y acumulativa de los tamaños de las partículas, para los estándares de molienda fina en la planta **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.4 Distribución diferencial y acumulativa de los tamaños de las partículas, para los estándares de molienda gruesa en la planta **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.5 Distribución acumulativa y diferencial de los tamaños de las partículas, para la muestra 1 de molienda fina con sorgo **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.6 Representación de las distancias para los montajes de molienda gruesa y fina **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.7 Distribución acumulativa y diferencial de los tamaños de las partículas, para la muestra 1 de molienda gruesa con maíz **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.8 Esquema en 3D del sistema de molienda actual **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.9 Representación de la succión por parte del sistema de aspiración **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.10 Representación de la ubicación del molino con respecto a filtro de mangas **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.11 Vista en perspectiva de la primera propuesta de reubicación **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4.12 Representación de la segunda propuesta para la reubicación del sistema de molienda **¡Error! Marcador no definido.**

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Eficiencias nominales NEMA	26
Tabla 3.1 Longitudes estándar e iniciales de los martillos estudiados	28
Tabla 3.2 Longitudes de los martillos.....	29
Tabla 3.3 Masa de maíz y sorgo que se molió durante la semana 1.....	30
Tabla 3.4 Cantidad de maíz sorgo y soya molida desde el ensamblaje de los martillos hasta su desgaste	32
Tabla 3.5 Longitudes de los martillos desgastados	32
Tabla 3.6 Cantidad de masa retenida en cada tamiz para las muestras de molienda gruesa con maíz.....	35
Tabla 3.7 Voltajes y amperajes en cada fase para molienda gruesa con maíz.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.8 Voltaje y Amperaje nominal y factor de potencia	38
Tabla 3.9 Corriente suministrada y voltaje nominal	39
Tabla 3.10 Voltaje y corriente en cada fase cuando no hay alimentación al molino	40
Tabla 3.11 Altura inicial y final en el tanque de premolienda en cada corrida para molienda gruesa con maíz	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.12 Masas retenidas en él cilindro para las muestras de maíz y sorgo en cada corrida.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.13 Dimensiones de los tanques de premolienda	43
Tabla 3.14 Cantidad de masa retenida en cada tamiz para las muestras de molienda gruesa con maíz.....	46
Tabla 3.15 Velocidad angular para los ensayos con maíz y sorgo, con un montaje de martillos para molienda fina.....	47
Tabla 3.16 Velocidad angular para los ensayos con maíz y sorgo, con un montaje de martillos para molienda gruesa	48
Tabla 4.1 Desgaste y porcentajes de desgaste para el martillo 1	28
Tabla 4.2 Cantidad de producto molido semanalmente y su cantidad acumulativa	28
Tabla 4.3 Cantidad de producto molido para el desgaste máximo del martillo, con las ecuaciones que se ajustan a las curvas de cada martillo	54
Tabla 4.4 Cantidad total de producto pulverizado en cada periodo.....	55
Tabla 4.5 Desgaste y porcentaje de desgaste para los martillos desgastados	55
Tabla 4.6 Cantidad de producto molido promedio	56
Tabla 4.7 Desgaste acumulativo semanal para la condición extrema de operación versus cantidad de producto procesado promedio	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.8 Porcentaje de masa retenido en cada tamiz para las muestras de molienda fina con sorgo.....	58
Tabla 4.9 Porcentaje de masa que pasa cada tamiz para las muestras de molienda fina con sorgo.....	58
Tabla 4.10 Diámetro medio aritmético para cada uno de los tamices	59

Tabla 4.11 Porcentaje de masa retenida y porcentaje que pasa cada tamiz para los estándares de molienda fina	59
Tabla 4.12 Porcentaje de masa retenida y porcentaje que pasa cada tamiz para los estándares de molienda gruesa	60
Tabla 4.13 Diámetro medio geométrico para cada uno de los tamices	63
Tabla 4.14 Diámetro medio de las partículas por masa y desviación estándar logarítmica normal de la muestra para los estándares de molienda	63
Tabla 4.15 Diámetro medio de las partículas por masa y desviación estándar logarítmica normal de la muestra para las muestras de molienda fina.....	64
Tabla 4.16 Corriente promedio en cada fase para molienda gruesa con maíz	65
Tabla 4.17 Potencias en cada fase y potencia de entrada para molienda gruesa	66
Tabla 4.18 Eficiencia del motor según la corriente suministrada para molienda gruesa y fina	67
Tabla 4.19 Eficiencia ideal.....	68
Tabla 4.20 Amperaje promedio potencia de entrada y eficiencia del motor cuando no hay alimentación al molino	68
Tabla 4.21 Flujo másico de alimentación en los ensayos para molienda fina y gruesa	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.22 Potencia en kWh y cantidad de dinero equivalente, para cada corrida, en los ensayos de molienda gruesa.....	69
Tabla 4.23 Volumen y capacidad de los tanques 101, 102 y 133.....	70
Tabla 4.24 Tiempo de vaciado, energía consumida en ese tiempo y dinero equivalente para los ensayos con molienda gruesa	70
Tabla 4.25 Porcentaje de masa retenido en cada tamiz para las muestras de molienda gruesa con maíz	71
Tabla 4.26 Diámetro medio de las partículas por masa y desviación estándar logarítmica normal de la muestra para las muestras de molienda gruesa	72
Tabla 4.27 Velocidad tangencial para las corridas con maíz y sorgo, con un montaje de martillos para molienda fina.....	73
Tabla 4.28 Revoluciones por minuto y velocidad tangencial en el molino sin material en el, con un montaje de martillos para molienda fina	73
Tabla 4.29 Velocidad tangencial para las corridas con maíz y sorgo, con un montaje de martillos para molienda gruesa	74
Tabla 4.30 Revoluciones por minuto y velocidad tangencial en el molino sin material en el, con un montaje de martillos para molienda gruesa.....	74

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

Molinos Nacionales, C.A (MONACA) fue fundada por la corporación estadounidense *International Multifoods Corporation*. En 1957 se inició la construcción de su primer molino de trigo en la ciudad de Puerto Cabello, estado Carabobo el cual comenzó la producción en 1958. MONACA es una de las empresas multinacionales de productos alimenticios más grandes de Venezuela con una exitosa trayectoria desde sus inicios, la cual estaba dedicada inicialmente a la producción y distribución de alimentos para consumo humano como, harina de trigo, arroz, avena y mezclas exclusivas para panaderías y pastelerías.

En 1963 MONACA inicia por primera vez su diversificación fuera del área de las harinas con la producción, elaboración y distribución de alimentos balanceados para animales, a través de la firma Súper S C.A con una planta ubicada en la zona industrial de Valencia, estado Carabobo, continuando con su plan de crecimiento en otras zonas del país.

Con el fin de satisfacer la demanda del mercado oriental, el 27 de abril de 1984 se comienza la construcción de la planta Súper S en Barcelona para luego iniciar su funcionamiento en agosto de 1985 con 50 trabajadores.

Diez años después en 1995, el grupo MONACA comienza una reorganización con el propósito de fusionar los 60 centros de trabajo que la conformaban, bajo un mismo nombre. Esta reorganización trajo consigo la clasificación de las empresas por áreas de comercialización, creándose de esta manera la sección MONACA ABA (Alimentos Balanceados para Animales) con las plantas Super S de Barcelona, Maracaibo y la principal en Valencia.

En 1999 MONACA decide vender las plantas que conforman la sección ABA al Grupo La Caridad, cambiando la razón social por alimentos Super S, C.A., por lo tanto, aparte de dominar la producción de pollos de engorde y su beneficio, de huevos de consumo y genética avícola y en la manufactura de cerdos y embutidos, el grupo La Caridad también lideraba partir de ese momento la fabricación de alimentos balanceados para animales.

Alimentos Súper S C.A, planta Barcelona está ubicada en la zona industrial Los Montones, tercera etapa, parcela 42 y 43, parroquia El Carmen, Municipio Simón Bolívar, Barcelona, estado Anzoátegui (ver figura 1.1). Actualmente esta planta se dedica a la producción y comercio de alimentos para aves, ganados y cerdos. En esta planta se pueden obtener alimentos nutritivos y de forma controlada, con la formulación de dietas de acuerdo a los requerimientos de cada animal, para asegurar su rápido crecimiento, lo

que no se logra con alimentos no balanceados. Es por ello que se debe tener un buen control en las etapas del proceso, para así garantizar una buena calidad del producto.

Los alimentos se fabrican en forma de harina o polvo, gránulos o *pellet* y semigránulos, lo cual se establece dependiendo de la especie, edad, peso y necesidades nutricionales de la especie animal a alimentar. El procesamiento del alimento se basa en el tratamiento, combinación y mezcla de las diferentes materias primas, para esto es necesario pasar por una serie de pasos que son los que conforman las etapas del proceso, comenzando con la recepción y almacenamiento de materia prima, secado o acondicionamiento de cereales (maíz y sorgo), reducción del tamaño de las partículas a través de la molienda (maíz, sorgo y soya (opcional)), dosificación, mezclado y homogeneización de la materia prima incluida en la formulación del alimento. Cabe destacar que el material logrado hasta este punto, en algunos casos resulta el alimento final, cuando este se desea en forma de polvo; mientras que si se desea en gránulos el proceso continúa con el acondicionamiento, granulación ó peletizado y enfriamiento; y continúa con desmoronamiento si este se necesita semigranulado.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de molienda es de gran importancia para las operaciones diarias de la empresa, ya que no todo lo que llega a la planta viene pulverizado, puesto que se necesita moler entre un 35% y un 50% del producto requerido para la producción de los alimentos. El molino está encargado de recibir la materia prima en granos, y por esta razón es el primer procesamiento que ella sufre. Este sistema consta principalmente de un molino de martillos en el que se tritura maíz, soya (si está granulada) y sorgo en diferentes dimensiones para conseguir una granulometría de partículas adecuada según la presentación deseada del alimento (polvo, grano ó semigrano) y para incrementar la digestibilidad de los nutrientes.

En la actualidad se presentan fallas en el funcionamiento y operación del proceso de molienda, debido a que no se tiene un registro en los cambios de los martillos del molino, ni intervalos en tiempo o cantidad de materia consumida establecidos para cambiar los mismos, como consecuencia de esto se encuentran martillos más desgastados de lo que deberían, implicando una disminución en la eficiencia de los martillos y por ende del molino. Además no se tiene un control del flujo de alimentación al molino según el producto que se está moliendo, es decir, no se ha determinado ni establecido el flujo de corriente específica necesaria para cada materia prima en particular, en función de la granulometría deseada.

Todos estos factores influyen en el rendimiento energético del molino, ya que, si este no opera a condiciones adecuadas es necesario un posible incremento en el consumo de energía para lograr la granulometría deseada, trayendo consigo un mayor desgaste del equipo, disminución de la eficiencia y aumento en los costos operacionales, lo cual resulta contraproducente para el equipo, por el hecho de ser el único que posee la planta

y estar en funcionamiento desde hace muchos años, sin la aplicación de un mantenimiento adecuado de ningún tipo.

Por otra parte además de lo antes mencionado, el diseño del sistema de molienda actual presenta inconvenientes causados por la numerosa cantidad de equipos que posee y hacen del traslado de la materia prima un largo recorrido, tardando mucho tiempo para llegar a proceso de quebrantamiento y almacenamiento. Unido a esto el filtro de mangas presenta dificultades para aspirar el polvo proveniente de la trituración del grano, lo que representa la succión del aire por los puertos de aspiración que posee el molino en las puertas laterales, motivo por el cual estas pequeñas compuertas se encuentran cerradas actualmente, ya que en vez de succionar hay una descarga de aire que viene acompañada de polvo. Todos estos inconvenientes son causados por la posición actual de todos los equipos que conforman el sistema, generando muchos gastos en mantenimiento de equipos y consumo de energía.

Para mejorar el proceso y disminuir el riesgo económico de la planta, se planteó en el presente trabajo la evaluación del sistema de molienda, realizando pruebas experimentales directamente en el molino. Entre las cuales estuvo el seguimiento de lo que se molía con periódicas medidas en la longitud de los martillos, para poder establecer una relación del desgaste de los mismos en función de la cantidad de producto triturado. También se realizaron ensayos variando el flujo de alimentación al molino y así determinar el más indicado para cada producto, con el fin de obtener una buena distribución granulométrica según las especificaciones deseadas, evitar una sobre carga en el equipo o que por el contrario pueda usarse un flujo inferior al debido, evadir altos consumos energéticos y lograr la succión necesaria en las puertas laterales del molino.

Además de pruebas experimentales se realizaron cálculos como la determinación de la distribución del tamaño de las partículas, también se calculó el rendimiento energético ideal y real del molino para verificar si hay o no un excesivo consumo de energía, y se determinó la velocidad tangencial, con la finalidad de examinar si se ve afectada cuando hay variaciones en la alimentación al molino y su incidencia en el impacto de los martillos contra el producto. Por último se analizó la ubicación actual de todos los equipos que conforman el sistema de molienda para proponer mejoras en su ubicación que faciliten y agilicen la llegada del producto al molino, así como también el desempolvamiento del mismo.

Esta evaluación se hizo con la finalidad de mejorar el rendimiento energético del molino, aumentar la eficiencia del sistema, disminuir los costos operacionales, obtener un producto post-molienda con una distribución de partículas adecuado y alargar el tiempo de vida útil del equipo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el sistema de molienda de la planta de alimentos balanceados para animales, Súper S, ubicada en Barcelona, estado Anzoátegui.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Establecer los intervalos de tiempo para el cambio de los martillos del molino
2. Determinar la distribución granulométrica de los productos molidos
3. Calcular el rendimiento energético del molino
4. Seleccionar el flujo de alimentación adecuado para el molino, dependiendo del tipo de materia prima
5. Proponer una mejor ubicación de los equipos que conforman el sistema de molienda

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Pedrique A. (2009) rediseñó el sistema de obtención de molienda, debido a dificultades en todo el diseño. El estudio se concentró en evaluar la ubicación actual del molino, determinar la cantidad y ubicación de las vías de transporte de materia prima para así determinar las dificultades que presenta el sistema de molienda. Como conclusión de este trabajo se planteó una opción que permite reducir la cantidad de equipos en el proceso.

Sánchez A. (2007) estudió la evaluación de una unidad complementaria de clasificación de partículas en una línea de producción, para obtener un producto final con un tamaño de partícula menor que la alimentación y una mayor área superficial. Se utilizó un equipo de difracción láser que analiza la distribución granulométrica del material alimentado y de los productos, evaluando dichos resultados por la curva de selectividad o de Tromp. Los resultados obtenidos demuestran que el micro clasificador complementario permite obtener un producto más fino y de mayor área superficial, destinado a suplir a la industria de fabricación de papel.

Avendaño J. (2006) realizó un estudio acerca del efecto que tiene la temperatura y la velocidad en el acondicionador sobre el grado de gelatinización de los almidones de un determinado alimento, para esto fue necesario entre otras cosas estudiar la distribución del tamaño de partículas de los productos molidos. En este trabajo se concluyó que a medida que aumentaba la temperatura disminuía el grado de gelatinización del alimento a estudio, mientras que a velocidades altas fueron promovidos por un mezclado más eficiente los altos niveles de gelatinización.

Malavé D y Fernández W. (2005) elaboraron harina de batata (*Ipomoea batatas*) utilizando los procesos de secado, molienda, tamizado y su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de harina de diversas variedades de batata a partir de la pulpa del tubérculo, la cual es muy común en toda Venezuela. Con los resultados obtenidos se pudo conocer el tamaño de la partícula siendo su promedio descrito por 60 μm ; luego se reveló que posee un alto contenido de azúcares reductores, carbohidratos y absorción de agua definida; además tiene un contenido de solubilidad acuosa y de absorción de grasa, lo que permiten que estas harinas sean fáciles de amasar; también presentó una proporción importante de ceniza, humedad y acidez. El comportamiento arrojado puede considerarlas como posibles sustitutos de la harina de trigo.

Las investigaciones descritas anteriormente tienen relación con el presente trabajo por el hecho de que todas estudian desde distintos puntos de vista la operación de molienda aun y cuando en algunos casos se trata de molinos diferentes y que pulverizan distintos tipos de materiales. En tres de los casos la finalidad fue obtener una distribución de partículas específica y en el otro fue para rediseñar el sistema.

2.2 PLANTAS PROCESADORAS DE ALIMENTOS PARA ANIMALES

Todos los animales necesitan alimentos para poder vivir, aunque ellos mismos se alimentan, muchos animales domésticos son alimentados por sus dueños, este alimento es conocido como alimento para animales, que contiene nutrientes esenciales para mantener la salud y productividad de estos. Muchas investigaciones han sido realizadas para determinar qué tipo de alimentos podrían usarse para hacer un alimento animal nutritivo. (Taiwan Turnkey Project Association, s.f)

Un alimento será completo y equilibrado si contiene todos los nutrientes esenciales en la proporción correcta entre sí y en relación al contenido energético del alimento, y deberán estar en forma que sean disponibles y utilizables para el animal que se ha fabricado, sin excesos puesto que si se administran durante largos períodos de tiempo pueden ser perjudiciales. Es importante mencionar que el equilibrio de un alimento viene determinado por la necesidad nutricional de cada especie animal individual, puesto que lo que es equilibrado para un animal no es equilibrado para otros.

Fabricar un alimento completo y equilibrado para cada etapa de la vida y sin excesos es un proceso complicado, más importante aún que en el caso de los seres humanos, pues se espera que el alimento para el animal sea la única fuente de nutrientes durante toda la vida del mismo. La formulación de un alimento se basa fundamentalmente en dos factores. El primero es el conocimiento de las necesidades energéticas y nutricionales de la especie en cuestión; y el segundo, es la transferencia de esa información para la selección de las mejores materias primas que contengan estos nutrientes y luego los combinen dentro del alimento.

La investigación dentro de los complejos requerimientos nutricionales está encaminada y tiene en cuenta el efecto de factores tales como la edad o etapa de la vida, el tamaño, la raza, el nivel de actividad, el propósito de la cría de la especie animal en cuestión y las condiciones ambientales. Otra consideración importante es la disponibilidad biológica durante la digestión y absorción de nutrientes contenidos en las diferentes materias primas y la forma en que pueden verse afectadas durante el proceso de fabricación.

La industria de la alimentación animal trabaja estrechamente con nutricionistas, veterinarios, bioquímicos e investigadores de la conducta animal; de hecho, el empleo de investigación específica la capacita para ir aumentando paulatinamente el valor nutritivo de los alimentos y para conocer con mayor precisión las necesidades de alimentación de estos animales.

Todo esto muestra claramente que la única forma segura en la práctica de proporcionar un alimento completo y equilibrado para cada animal durante toda su vida, es utilizar alimentos preparados. (Anfaac)

El alimento para animal es producido a partir de una gran variedad de sustancias entre las que están harina de pescado, harina de soya, harina de carne y huesos, salvado de arroz, hojuelas de cebada y maíz, también poseen ingredientes esenciales como almidón, harina, miel o melaza y grasas, entre otros. La proporción exacta de cada

ingrediente específico dependerá del tipo de cultivo crecido en la región donde la planta está siendo operada y en el tipo de alimento que está siendo producido.

El proceso consiste en pesar y mezclar todos los ingredientes, para posteriormente formar los *pellets*, si es necesario. Cabe destacar que antes del pesado y mezclado, es necesario limpiar y pulverizar los ingredientes, de ser indispensable. La miel o melaza y la grasa son añadidas a los materiales, descargados durante el mezclado, estos aparte de convertir los ingredientes pulverizados de polvo a una lechada, actúan como un agente afianzador o pegador cuando se le da la forma de bolitas o comprimidos (*pellets*) al alimento animal. La maquinaria automatizada usada para hacer alimento animal es conectada por una serie de transportadores y baldes elevadores, haciendo fácil su operación. (Taiwan Turnkey Project Association, s.f)

La reducción mecánica de tamaño es uno de los procesos principales en la industria de fabricación de alimentos, porque más del 80% de los ingredientes tienen que ser molidos. El pulido permite que se obtenga una fineza del producto adecuada según los requerimientos alimenticios de cada animal y que además los gránulos se adapten al sistema digestivo de los mismos. (Tanner y Uzwil, 2006)

2.3 SISTEMA DE MOLIENDA

Muchos materiales sólidos se presentan con dimensiones demasiado grandes para su uso por lo que se deben reducir. El término molienda se refiere a la pulverización y a la dispersión del material sólido. La reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas. En los procesos industriales la reducción de tamaño de sólidos se lleva a cabo por distintos métodos y con fines diferentes. Los productos comerciales con frecuencia han de cumplir rigurosas especificaciones con respecto al tamaño y, a veces, con respecto a la forma de las partículas. La reducción de partículas aumenta también la reactividad de los sólidos, permite la separación por métodos mecánicos de ingredientes no deseados y reduce el tamaño de un material fibroso para su más fácil tratamiento.

Los sólidos pueden romperse de diferentes formas, pero solamente cuatro de ellas se utilizan habitualmente en los equipos de reducción de tamaño: compresión, impacto, frotación o rozamiento, y corte. Un cascanueces, un martillo, una lima y unas tijeras constituyen ejemplos de los cuatro tipos de acción. De una forma general, la compresión se utiliza para la reducción gruesa de sólidos duros, dando lugar a relativamente pocos tinos; el impacto genera productos gruesos, medios o tinos; la frotación conduce a productos muy tinos a partir de materiales blandos no abrasivos; y el corte da lugar a un tamaño definido de partícula, y a veces también da muy poco o nada de tinos.

Un molino ideal debiera tener una gran capacidad, requerir poco consumo de energía por unidad de producto y dar lugar a un producto de un único tamaño, o distribución de tamaños, que se desee, pero una unidad real no da lugar a un producto uniforme, con independencia de que la alimentación sea o no de tamaño uniforme. El producto siempre consta de una mezcla de partículas, con tamaño variable desde un

máximo definido hasta un mínimo submicroscópico. Algunas máquinas, están diseñadas para controlar el tamaño de las partículas más grandes en sus productos, pero en cambio las más finas no están bajo control. En algunos tipos de molinos los tinos se reducen a un mínimo, pero no se eliminan totalmente. Si la alimentación es homogénea, tanto por lo que se refiere al tamaño de las partículas como a su estructura física y química, las formas de las distintas partículas de los productos pueden ser bastante uniformes; en caso contrario, las proporciones de los granos en los distintos tamaños de un solo producto pueden variar considerablemente.

Un método habitual para estudiar el comportamiento del equipo de proceso es establecer una operación ideal como patrón y comparar las características del equipo real con las de la unidad ideal, observando la diferencia entre ambas. Cuando se aplica este método al equipo de desintegración y molienda, las diferencias entre la unidad ideal y real son muy grandes y, a pesar de los amplios estudios realizados, no se han aclarado totalmente las diferencias. Por otra parte, se han desarrollado correlaciones empíricas útiles para predecir el comportamiento del equipo a partir de la incompleta teoría disponible.

Las capacidades de las máquinas de desintegración dependen de los distintos tipos de equipos. Sin embargo, los aspectos fundamentales de la forma y tamaño del producto, así como en consumo de energía, son comunes a la mayor parte de las máquinas y se pueden considerar de una forma más general. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

2.3.1 Requerimientos de energía y de potencia para la reducción de tamaño

El coste energético es el de mayor importancia en la molienda, de forma que los factores que controlan este coste son de gran interés. Durante la reducción de tamaño, las partículas del material de alimentación son primeramente distorsionadas y forzadas, el primer paso del proceso consiste en que las partículas se deformen y desarrollen tensiones por acción de la maquinaria de reducción de tamaño. Este trabajo para crear esfuerzos en las partículas, se almacena temporalmente en el sólido como energía de tensión. A medida que se aplica más fuerza a las partículas, la energía de tensión excede un nivel y el material se fractura en trozos más pequeños. Cuando el material se fractura, se producen nuevas áreas superficiales, cada nueva unidad de área de superficie requiere determinada cantidad de energía, parte de la energía añadida se utiliza en la creación de estas nuevas superficies, pero de acuerdo con el principio de conservación de la energía, toda la energía en exceso sobre la nueva superficie creada ha de aparecer en forma de calor.

La energía requerida para la fractura está en función del tipo de material, del tamaño, de su dureza, y de otros factores. La magnitud de la fuerza mecánica aplicada; su duración; el tipo de fuerza, tal como compresión esfuerzo cortante e impacto; y otros factores, afectan la eficiencia y alcance del proceso de reducción de tamaño. Los factores importantes de este proceso son la cantidad de energía o potencia consumida, el tamaño de las partículas y las superficies nuevas formadas. (Geankoplis, 1998)

La reducción de tamaño es probablemente la menos eficaz de todas las operaciones básicas, puesto que alrededor de un 80% de la energía que se utiliza en la operación del equipo, produce calor y ruido no deseados, quedando menos del 20% para la creación de nuevas superficies. A medida que se han ido desarrollando procesos que cada vez requieren partículas más finas para la alimentación de hornos y reactores, ha aumentado el consumo total de energía, ya que la reducción hasta tamaños muy finos es energéticamente mucho más costosa que la simple trituración hasta partículas relativamente gruesas. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

Las diversas teorías o leyes que se han postulado para predecir las necesidades de potencia en la reducción de tamaño de los sólidos, no dan buenos resultados en la práctica, sin embargo dan buenas aproximaciones. (Geankoplis, 1998)

2.3.2 Alimentación y descarga del molino

La operación más importante para la reducción de tamaño es el control de la alimentación al molino. Las partículas de la alimentación han de tener un tamaño apropiado, no tan grandes pues no podrán ser rotas por el molino. Por otra parte, si una gran cantidad de partículas son muy finas, la eficiencia de muchas máquinas se reduce considerablemente.

Con algunos sólidos, la compresión o el enfriamiento previo de la alimentación antes de su entrada en el molino aumenta considerablemente la facilidad de molienda del material. En molinos continuos la velocidad de alimentación debe controlarse a través de alimentadores y controladores dentro de límites estrechos para evitar el bloqueo del molino, así como variaciones erráticas de la carga que dan lugar a una disminución de la capacidad de la máquina. En el corte de un material laminar para formar cuadrados de tamaño exacto o copos de longitud uniforme, es evidente que será esencial un control exacto de la velocidad de alimentación.

Para evitar la acumulación en un molino continuo es necesario que la velocidad de descarga sea igual a la velocidad de alimentación. Además, la velocidad de descarga ha de ser tal que las partes activas del molino puedan actuar sobre el material de la mejor manera. En algunos equipos de reducción de tamaño las partículas pueden ser trituradas muchas veces antes de que salgan del sistema, esto ocasionará que el tamaño de la mayoría de estas se reduzca más de lo necesario trayendo consigo un despilfarro de energía. La máquina está generalmente diseñada para operar de tal forma que las partículas trituradas puedan salir fácilmente, posiblemente llevando algunas partículas grandes, que en algunos casos se separan después y se devuelven al sistema de reducción de tamaño.

La separación del producto en los molinos de frotamiento, en los que utilizan la energía de un fluido y en muchos molinos de martillos, se realiza mediante barrido con aire, vapor de agua o un gas inerte. El polvo se retira de la corriente gaseosa por medio de separadores de ciclón o de filtros de mangas. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

2.3.3 Molino de martillos

Se basa en el mecanismo de compresión del material entre dos cuerpos. Entre más rápida sea la fuerza de aplicación más rápido ocurre la fractura por el aumento de la energía cinética, concentrando la fuerza de fragmentación en un solo punto produciendo partículas que se fracturan rápidamente hasta el límite.

El molino de martillos consiste de un rotor horizontal o vertical unido a martillos fijos o pivotantes encajados en una carcasa cilíndrica. Los martillos pueden ser barras rectas de metal con los extremos planos o alargados, o bien afilados para formar un borde cortante. En la parte inferior están dotados de un tamiz o malla, fijo o intercambiable (ver figura 2.1.). Puede operar a más de 1000 rpm haciendo que casi todos los materiales se comporten como frágiles. Los martillos obtusos se utilizan para materiales cristalinos y frágiles, mientras que los afilados se usan para materiales fibrosos. (Inicolsa, 2010)

La operación consiste en que el rotor gira a alta velocidad en el interior de la carcasa; la alimentación entra por la parte superior de la carcasa, se trocea y cae a través de una abertura situada en el fondo. Las partículas son rotas por los martillos giratorios, una partícula que entra en la zona de molienda no puede salir sin ser golpeada por los martillos, se rompe en pedazos, se proyecta contra la placa estacionaria situada dentro de la carcasa rompiéndose todavía en fragmentos más pequeños, éstas a su vez son pulverizadas por los martillos y son impulsadas a través de la rejilla o tamiz que cubre la abertura de descarga. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

Este molino puede reducir la partícula hasta 100 μm . El tamaño de partícula depende de la velocidad del rotor, tamaño del tamiz, y velocidad de introducción del material. El uso de tamices gruesos produce partículas de menor tamaño porque estas atraviesan tangencialmente el orificio debido a la alta velocidad del motor. El tamiz de hoyos circulares es más fuerte pero se usa poco porque tiende a obstruirse, sin embargo, este se usa para materiales fibrosos, aunque un patrón escalonado en la perforación de la malla es más eficiente que las perforadas en línea, ya que el patrón escalonado prolonga la vida de los tamices y evita que se tapen. El tamiz cuadrado a 45 grados se utiliza para materiales cristalinos frágiles y el de hoyos a 90 grados se usa para las suspensiones ya que estos tienden a atascarse fácilmente.

En general producen partículas con una distribución de frecuencias cerrada, pero si la carga es alta, el tiempo de retención del material se prolonga produciéndose más finos de forma esférica. Para la producción de partículas finas o ultrafinas (1-20 μm), se utiliza una alta velocidad junto con aire clasificado para la remoción del material hasta un tamaño aceptable. (Inicolsa, 2010)

Los molinos de martillos se pueden utilizar para el secado de material, granulación, ungüentos, pastas húmedas y suspensiones. Ellos pueden tratar casi cualquier producto, como los sólidos fibrosos, cortezas o cuero, virutas de acero, pastas blandas y húmedas, arcilla plástica o una roca dura. Pero para obtener una molienda fina están limitados a los materiales más blandos.

Tanto la capacidad como el consumo de energía de un molino de martillos varían mucho con la naturaleza de la alimentación y no se pueden estimar con confianza a partir de consideraciones teóricas, sino que es preferible obtener estos valores a partir

de información publicada, o todavía mejor a partir de ensayos a pequeña o gran escala realizados en el molino con una muestra real del material a tratar. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

2.3.3.1 Diferentes posibilidades de alimentación

Prácticamente todos los diseños antiguos de molinos de martillo eran fabricados con una entrada tangencial. En estos molinos el material circulante es desviado por esta entrada para que la fuente de ingreso del nuevo material no se altere. (ver figura 2.2)

Por otra parte la entrada radial se ha convertido en el estándar establecido para plantas modernas. Con este diseño, el material que circula en la cámara de molienda se desvía fuera de la zona de entrada por medio de un colgajo de desviación. La gran ventaja de este diseño es su bajo mantenimiento, es decir, los dos martillos que están en el borde se pueden bajar antes de que sea necesario realizar cualquier mantenimiento mecánico. El desgaste en las mallas es más uniforme, gracias al hecho de que el rotor puede funcionar en ambas direcciones, dando como resultado que la distribución de tamaño de partículas sea más uniforme en toda la zona de desgaste. (ver figura 2.3)

Las máquinas con una entrada axial se utilizan principalmente para bajas capacidades con cortos tiempos de operación y rendimientos bajos. El material se alimenta desde el centro a través del rotor en el área de martillo. Este tipo de máquina se utiliza principalmente por los agricultores que mezclan sus propios canales (ver figura 2.4).

La entrada vertical se aplica en la última generación de molinos de martillos. Con este tipo de máquinas, los martillos se pueden usar hasta por 2 de sus bordes sin necesidad de darle vuelta, puesto que se le puede dar cambio en la dirección de la rotación del motor como se muestra en la figura 2.5. (Tanner y Uzwil, 2006)

2.3.3.2 Martillos

Los martillos se encargan de pulverizar el material y forzarlo a pasar a través de las mallas. Se diseñan para ser usados de una manera controlada durante su vida útil y pueden funcionar a óptimas condiciones hasta cierto punto. Para alcanzar los niveles de producción es necesario mantener un filo agudo en la extremidad del martillo, ya que esto le permite romper mejor el producto, para saber si se mantiene agudo se debe verificar periódicamente si hay desgaste en ellos. El revestimiento en el extremo del martillo debe ser duro y ha de diseñarse cuidadosamente para mantener el filo por un período extendido, incluso en los usos más abrasivos.

Se le debe dar vuelta a la rotación del molino o cambiar los martillos cuando sus extremos se hayan redondeado demasiado, tal como se muestra en la figura 2.6, siendo el desgaste máximo que deberían alcanzar estos, 1/3 de la longitud de los mismos, puesto que si el desgaste es excesivo el martillo pierde su capacidad de cortar el producto y comienza a rodar por encima del alimento en vez de impactarlo contra la malla, lo que puede disminuir la eficiencia del martillo hasta un 30% dependiendo del producto, también acelera el desgaste de las mallas, y puede promover desgastes en el perno del martillo cuando comienza a oscilar hacia adelante y hacia atrás ensanchando además los agujeros del martillo.

Es importante señalar que los molinos donde se utilizan martillos con doble perforación se les debe tener un seguimiento muy minucioso para no permitir un desgaste excesivo, ni usar la zona endurecida de emergencia del martillo, puesto que cuando se le de vuelta este quedara muy débil por el poco acero dejado alrededor del agujero del perno, pudiendo resultar peligroso. Para las operaciones que no poseen una inspección continua, es decir un seguimiento semanal o diario en altos usos de desgaste, se recomienda usar los martillos con una sola perforación. (Champion, 1998)

2.3.3.3 Ajustes del flujo de aire

La mayoría de los molinos de martillo poseen ventanillas en las puertas laterales para la aspiración de aire. El propósito de estos puertos es permitir que una pequeña cantidad de aire atraviese la abertura en cada puerta (cuando el molino está bajo presión negativa) para lograr la succión necesaria en el equipo, airear el tope del molino y facilitar la descarga y el despolvamiento del mismo.

La marca Champion recomienda que para lograr un buen flujo de aire en el modelo tradicional de molinos de martillo la puerta debe estar abierta entre 1/4 y 3/8 de pulgada. Mientras que en el modelo de la serie HM, el boquete en la puerta para la aspiración debe estar entre 1/4 y 15/16 de pulgada. Se pueden abrir un poco más o un poco menos del valor referido, siempre y cuando se consigan las condiciones operacionales deseadas para el molino.

Si el molino no posee un sistema de succión de aire se recomienda no abrir las ventanillas de las puertas, estas deben permanecer firmemente cerradas. Pero si se añade un sistema que ayude a aspirar el aire como un ciclón o un filtro de mangas, para eliminar el exceso de polvo y mantener una presión negativa, entonces si se podrán abrir las compuertas de las puertas laterales, siempre y cuando dicho equipo se encuentre lo más cerca posible de la descarga del molino y teniendo mucha precaución puesto que se debe asegurar que el flujo de aire que entra por las ventanillas sea el correcto. (Champion, 1998)

Un sistema de aspiración de aire a parte de ayudar al proceso de molienda ayuda a disipar el calor producido y generar la presión negativa necesaria. Un molino de martillo, sin un sistema de aspiración requiere hasta un 30% más de la energía necesaria para la reducción de tamaño. Teniendo en cuenta estos hechos significativos, la importancia de un eficaz sistema de aspiración en un molino de martillo se hace evidente. (Niklaus y Uzwil, 2006)

La marca Champion recomienda hacer una inversión un poco más elevada durante la instalación del sistema, para añadirle un equipo de aspiración de polvo con el que se observarán mejores resultados en la capacidad de pulido debido al aire agregado. Es importante señalar que por este provecho vale la pena pagar cualquier diferencia del coste original. (Champion, 1998)

a. requerimientos de aspiración de aire y presión negativa necesaria

Como regla general, se aplica que el área de la malla en dm^2 dividido entre dos es igual al flujo volumétrico de aire en m^3/min , o lo que es lo mismo:

$$V_{\text{aire}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) = \frac{A_{\text{malla}} (\text{dm}^2)}{2} \quad (\text{Ec.2.1})$$

Donde:

V_{aire} : flujo volumétrico de aire

A_{malla} : área de la malla

Para obtener la presión negativa necesaria se necesitan de 12 a 15 mbar para molinos de martillos y de 10 a 15 mbar para superar la resistencia del filtro. Por lo tanto el ventilador debe generar 25 a 30 mbar de presión negativa que equivale a: la resistencia del molino de martillos + resistencia del filtro + la posible resistencia de los conductos.

Como ejemplo de esto se tiene que para un molino de martillos cuya área es de 50 dm² el ventilador seleccionado tiene un flujo volumétrico de 25m³/min de aire y 28 mbar de presión negativa (ventilador estándar). (Tanner y Uzwil, 2006)

2.3.3.4 Mallas

Las perforaciones en las mallas, la posición de los martillos y la cantidad de flujo de material en el molino determinan el tamaño de la partícula. Un cambio en el tamaño de la perforación de las mallas es la manera más rápida de obtener otro tamaño de partícula. Mientras más pequeña es la perforación en la pantalla más pequeño será el producto final y mientras más grande es la perforación más grande será el producto final.

Las mallas pueden taparse si el flujo de aire es inadecuado y/o el producto es pegajoso. Cuando esto suceda las pantallas tendrán que ser retiradas para su limpieza. Además se debe verificar si hay muestras de desgaste en ellas. Cuando están nuevas, puede sentirse el filo de los agujeros perforados por uno de sus lados, es importante que la malla se coloque de este lado ya que este borde ayuda a promover un movimiento eficiente del material en el área de molienda y una mejor descarga. Cuando los bordes de estos agujeros se gastan y la superficie es lisa al tacto, el producto saltará sobre el agujero y los martillos girarán alrededor de material. Esto ocasiona que la descarga del producto disminuya ya que se corta capacidad de salida mientras que se mantiene una carga plena en el molino.

Aunque el primer filo de la malla es el más eficaz y produce una mayor capacidad de descarga. Una economía adicional en el funcionamiento puede ser observada volteando estas pantallas cuando se haya desgastado el lado filoso, para poder utilizar ambos lados de los agujeros perforados. También se les podría alargar el tiempo de vida útil invirtiendo la rotación del motor sobre una base regular (semanal, diario o mensual dependiendo del uso)

Otro factor que es muy crítico para el funcionamiento del molino de martillo es el grosor de la pantalla. Mientras que una gruesa puede parecer que durará más tiempo, está generalmente a expensas de la capacidad, puesto que es más difícil empujar el producto a través de los agujeros de una pantalla más gruesa. El alargamiento del agujero reducirá substancialmente la capacidad del molino.

Además la posición de una perforación con respecto a la otra es influyente en el momento del desgaste ya que si ellas están colocadas en filas el desgaste de las perforaciones será mayor que cuando están colocadas formando ángulos de 60° entre cada una. En la parte de debajo de la figura 2.7 se puede apreciar cómo será el desgaste en la malla según la posición de los agujeros, del lado izquierdo para agujeros formando ángulos de 60° y del lado derecho agujeros en fila.

El diseño de mallas de dos piezas en el modelo tradicional para molinos de martillo marca Champion permite controlar mejor la capacidad, el tamaño y el efecto del producto permitiendo el uso de dos tipos de perforaciones para las mallas en el mismo molino. Típicamente estos dos tamaños deben estar muy cerca el uno del otro (ejemplo: 8 y 10 mm o 3/16 y 1/4 de pulgadas). Se debe poner la perforación más pequeña en el lado de la alimentación y la más gruesa en la parte trasera del compartimiento para facilitar la descarga. (Champion, 1998)

2.3.3.5 Molienda fina o gruesa

El molino de martillos puede poseer un rotor con precisión en sus perforaciones para aceptar un patrón de cuatro filas o de seis filas de martillos. Estos patrones se pueden fijar para el pulido grueso o fino. En un sistema de agujeros donde se sostienen los martillos más cerca de la pantalla se obtiene un pulido fino, ya que existe más fricción entre los martillos el material y la malla. Cuando los martillos se montan en el otro sistema de agujeros se sostienen más lejos de la pantalla para obtener una molienda más gruesa, esto se debe a que el martillo solo impacta el material sobre la pantalla ocasionando productos más gruesos. El diseño de los agujeros del molino de martillo también permite el uso de patrones de ocho filas de martillos y de doce filas según como se requiera. (Champion, 1998)

2.4 DESCRIPCIÓN DE LA FORMA Y TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

De todas las formas y tamaños como se pueden encontrar los sólidos, la pequeña partícula es la más importante desde el punto de vista de ingeniería. Es necesario un conocimiento de las características de masas de sólidos en forma de partículas para el diseño de procesos y del equipo que operan con corrientes que contienen tales partículas.

Las partículas sólidas individuales se caracterizan por su tamaño, forma y densidad, las de sólidos homogéneos tienen la misma densidad que el material original, mientras que las obtenidas por rotura de un sólido compuesto, tal como una mena metálica, tienen varias densidades, generalmente diferentes de la densidad del material original. El tamaño y la forma se pueden especificar fácilmente si las partículas fueran esféricas, ya que solo bastaría con medir diámetros, pero como son irregulares, resulta muy complicado describir con exactitud cada una de las partículas presentes en la muestra.

Cuando se mide el tamaño de un cuerpo tridimensional simple, como un cubo, es necesario dar las dimensiones de su largo, ancho y alto; un total de tres números por cuerpo. Esto resulta poco práctico si se desea hacer una distribución del tamaño de muchos cuerpos diferentes, y se complica todavía más si se considera que las partículas

tienen formas más complejas e irregulares que un cubo, tales como granos de arena y láminas de micra.

La esfera es la única forma cuyas dimensiones pueden ser descritas con un solo número, por lo que se busca aproximar el tamaño de la partícula al de una esfera equivalente, es decir se mide alguna propiedad dependiente del tamaño de la partícula, como el peso, el volumen o el área superficial, y se asume que esta se refiere a una esfera; por lo tanto se deriva a un único número, el diámetro de esta esfera, para describir a la partícula en tamaño. De esta forma, no tenemos que describir las tres dimensiones de la partícula con tres o más números, que aunque darían más precisión, resultaría inconveniente para propósitos prácticos. Este método resulta bastante preciso para granos compactos, pero para partículas con forma de láminas o agujas deberán especificarse 2 dimensiones para caracterizar su tamaño. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

En años recientes se han publicado muchas técnicas para determinar las características de los polvos; pero, debido al rápido desarrollo del tema, el lenguaje técnico carece a menudo de la precisión necesaria, y ni siquiera se ha establecido una clasificación generalmente aceptada de los métodos analíticos.

Si la distribución de tamaños de partícula de un polvo compuesto de esferas sólidas y suaves se determina por cualquiera de las técnicas, los valores medidos son idénticos. No obstante, existen muchas distribuciones de tamaño distintas que se pueden definir para cualquier polvo que no tenga partículas esféricas. Por ejemplo, si una partícula de forma cilíndrica se coloca en un tamiz, lo que determina el tamaño de la abertura por la cual pasará será su diámetro y no su longitud. Por el contrario, si se hace que dicha partícula se sedimente en un fluido viscoso, el diámetro calculado de una esfera de la misma sustancia que tuviera la misma velocidad de caída en el mismo fluido, es decir, el llamado diámetro de Stokes, se considera como el parámetro del tamaño apropiado de la partícula.

El término forma se emplea en dos sentidos, primero para denotar la configuración espacial de una partícula individual y como un factor para correlacionar el tamaño promedio de partículas de un sistema de partículas finas. (Perry, 1995)

2.4.1 Método de tamizado

El tamizado es quizá el método de análisis usado con mayor frecuencia y repetidamente, porque el equipo, el procedimiento analítico y los conceptos básicos son engañosamente simples. En el tamizado, las partículas se ponen en contacto con aberturas del mismo tamaño que constituyen una serie de medidores "pasa o no pasa". El análisis por tamizado presenta tres dificultades primordiales, la primera es que en los tamices comerciales, las aberturas no son todas idénticas, aunque los tamices de más alta calidad reducen al mínimo las desviaciones de dimensión; en la segunda las superficies de tamizado se dañan con suma facilidad durante su uso y por último las partículas deben presentarse eficientemente en la abertura del tamiz. (Perry, 1995)

Para medir el tamaño (y la distribución de tamaños) de las partículas en el intervalo de tamaños comprendido entre 3 y 0,0015 pulg (76 mm y 38 μ m), se utilizan tamices

normalizados. Los tamices de ensayo se construyen con telas de alambre, cuyas dimensiones y mallas están cuidadosamente normalizadas. Las aberturas son cuadradas. Cada tamiz se identifica por las pulgadas de las mallas. Sin embargo, las aberturas reales son menores que las correspondientes al número de mallas, debido al espesor de los alambres.

Las características de una serie común, que es la serie de tamices normales Tyler, está basada en la abertura del tamiz de 200 mallas, que está establecida en 0,074 mm. El área de las aberturas de un tamiz cualquiera de la serie es exactamente el doble del área de las aberturas del tamiz inmediatamente más pequeño. La relación entre la dimensión real de las mallas de un tamiz cualquiera y la del inmediatamente más pequeño es, por tanto, $\sqrt{2} = 1,41$.

Para realizar un análisis se coloca un conjunto de tamices normalizados, acoplados verticalmente como se muestra en la figura 2.8, con el tamiz más pequeño en el fondo y el más grande en la parte superior. La muestra se coloca en el tamiz superior y el conjunto se somete a sacudidas mecánicas durante un tiempo determinado. Las partículas retenidas sobre cada tamiz se retiran y se pesan, y las masas de los incrementos individuales sobre cada tamiz se convierten en fracciones másicas o en porcentajes de masa de la muestra total. Las partículas que pasan a través del tamiz más fino se recogen en una tapadera situada en el fondo de la columna de tamices.

Los resultados de un análisis por tamizado se tabulan para mostrar la fracción másica de cada incremento sobre el tamiz en función del intervalo del incremento del tamaño de las mallas. Puesto que las partículas que son retenidas por un tamiz han pasado a través del tamiz situado inmediatamente encima de él, se necesitan dos números para especificar el intervalo de tamaños de un incremento: uno para el tamiz a través del cual pasa la fracción y otro para el tamiz sobre el que es retenida. Así, la notación 14/20 quiere decir, a través de 14 mallas y sobre 20 mallas. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

En el pasado, el límite inferior para análisis de tamiz se fijaba usualmente en 38 μm , porque éste era el límite práctico para elaborar tamices de malla de alambre. Al mismo tiempo, aproximadamente en este tamaño, las fuerzas superficiales que operan dentro del sistema del polvo dificultan el movimiento de éste a través de las aberturas.

En fechas más recientes, el límite inferior impuesto al tamaño de la abertura se ha variado introduciendo los tamices electroformados. Las desviaciones del tamaño verdadero de la abertura son del orden de 2 μm del tamaño nominal. Los de tamaño fino (menores que 40 μm) deben sostenerse en rejillas más gruesas. Con estos tamices finos, no es posible utilizar los métodos tradicionales de tamizado; pero sí se puede emplear el tamiz Alpine con barrido de aire, que es un dispositivo que tiene un chorro giratorio debajo de la superficie de tamizado que limpia las aberturas. El aire de retorno ayuda a empujar el polvillo fino por ellas. (Perry, 1995)

2.4.2 Distribución del tamaño de las partículas

Las propiedades físicas y químicas de los sólidos varían en función de su distribución granulométrica. Por esta razón, para poder efectuar controles de calidad en polvos y

granulados, es imprescindible conocer la distribución por tamaño de las partículas en los mismos. Sólo si la distribución granulométrica se mantiene igual, puede garantizarse una calidad constante del producto. (Retsch)

Ésta se representa gráficamente basándose en el porcentaje acumulativo de tamaños mayores o menores en relación con los diámetros de las partículas, o bien es factible representarla como la distribución de cantidades presentes en cada unidad de diámetro en función de varias magnitudes del mismo. Se acostumbra comúnmente a utilizar una base de peso para el porcentaje. (Perry, 1995)

La información obtenida del tamaño de las partículas se tabula expresando la fracción de tamaño o de número en cada incremento de tamaño en función del tamaño medio de las partículas o del intervalo de tamaños en el incremento. Un análisis tabulado en esta forma recibe el nombre de análisis diferencial. Los resultados se presentan con frecuencia en un histograma, con una curva continua como la línea de trazos utilizada para aproximar la distribución. Una segunda forma de presentar la información es mediante un análisis acumulativo, que se obtiene sumando, consecutivamente, los incrementos individuales, comenzando con el que tiene las partículas más pequeñas, y tabulando o representando las sumas acumulativas frente al diámetro máximo de las partículas en el incremento. En un análisis acumulativo los datos se pueden representar adecuadamente mediante una curva continua. En las figuras 2.9 y 2.10 se ilustran 2 conjuntos de distribuciones, uno acumulativo y el otro en intervalos de unidad. El polvo A tiene una gama de tamaños más reducida o limitada para la porción masiva de su peso, en comparación con el polvo B. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

Los cálculos del tamaño medio de las partículas, del área de la superficie específica o de la población de partículas de una mezcla se pueden basar tanto en el análisis diferencial como en el acumulativo. En principio, los métodos basados en el análisis acumulativo son más precisos que los basados en el análisis diferencial, ya que cuando se utiliza el primero no es preciso suponer que todas las partículas de una sola fracción son de igual tamaño. Sin embargo, la exactitud de las medidas de tamaño de las partículas raramente es suficientemente grande como para justificar el uso del análisis acumulativo, y los análisis casi siempre se basan en el análisis diferencial. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

2.4.3 Método de la distribución logarítmica normal para obtención del diámetro medio de las partículas

El tamaño de las partículas de granos molidos, desempeña un papel crítico en la determinación de la digestibilidad de los alimentos, el rendimiento de la mezcla y la granulación. Por lo tanto, una evaluación periódica de ésta es fundamental y necesaria en un programa de fabricación de alimentos, para llevar, un buen control de calidad.

En la industria de la alimentación, software proporciona el método más sencillo para calcular el tamaño de las partículas. Pfof y Cabeza (1976) han descrito las ecuaciones que se pueden utilizar para el cálculo del diámetro promedio de las partículas, desviación estándar de la muestra, superficie, y la cantidad de partículas por gramo, basado en una distribución logarítmica normal de las muestras de grano molido.

El tamaño medio de partícula de material retenido en un tamiz se calcula como la media geométrica del diámetro de los orificios en dos tamices adyacentes de la pila, es decir, entre los tamaños de aberturas de los tamices a través de los cuales las partículas pasan (d_u) o no pasan (d_o). La ecuación 1 muestra este cálculo.

$$d_i = (d_u \times d_o)^{0.5} \quad (\text{Ec.2.2})$$

Donde:

d_i = diámetro geométrico medio de la partícula en el intervalo i , entre d_u y d_o (μm)

d_u = diámetro de abertura a través del cual las partículas pasan (μm)

d_o = diámetro de la apertura a través del cual las partículas no pasan (μm)

Debido a que no es práctico contar cada partícula individual y calcular el promedio, el tamaño medio de partícula se puede calcular en función del peso. Esto se puede hacer mediante la siguiente ecuación.

$$\log d_{gw} = \left[\frac{\sum (W_i \times \log d_i)}{\sum W_i} \right] \quad (\text{Ec.2.3})$$

Donde:

d_{gw} : diámetro promedio de la distribución por masa (μm)

w_i : masa retenida en el tamiz i (g)

La desviación estándar se puede calcular de la siguiente manera:

$$\log S_{gw} = \left[\frac{\sum W_i (\log d_i - \log d_{gw})^2}{\sum W_i} \right]^{0.5} \quad (\text{Ec.2.4})$$

Donde:

S_{gw} : desviación estándar geométrica log-normal de la muestra

El número de partículas por gramo y área superficial pueden ser calculados a partir del diámetro medio y la desviación estándar. Esta información puede ser utilizada por un especialista en nutrición animal en la determinación de la tasa de digestibilidad o por un ingeniero de proceso para calcular la eficiencia en términos de pulido de la superficie del área creada por unidad de insumo (Behnke, 1985). Para estos cálculos, los factores de la forma β_s , y β_v se supone que son 6 y 1, respectivamente (Pfof y Headley, 1976) para un cubo. El peso específico se supone que es 1,320 gramos por centímetro cúbico. Dado el peso específico se expresa en gramos por centímetro cúbico, es necesario convertir el d_{gw} a centímetros. Esto se puede hacer multiplicando por 0,0001.

(Ec.2.5)

$$\text{partículas / gramo} = \frac{1}{\rho \beta_v} \exp(4,5 \times \ln S_{gw} - 3 \ln d_{gw})$$

(Ec.2.6)

$$SA \left(\text{cm}^2 / \text{g} \right) = \frac{\beta_s}{\beta_v} \exp(0,5 \ln S_{gw} - \ln d_{gw})$$

Donde:

β_s = factor de forma para el cálculo del área de la superficie de la

partícula

β_v = factor de forma para calcular el volumen de partículas

ρ = peso específico del material

Los fabricantes de alimentos en general, sólo están interesados en saber el d_{gw} y el S_{gw} . El S_{gw} es la desviación estándar, se trata de una medida de la variación del tamaño de partícula sobre la media. La mayoría de las muestras de alimentos tendrán uno que va desde 2,0 hasta 2,4, pero la mejor desviación posible es 1.0. (Baker y Herrman, 2002)

2.5 IMPORTANCIA DE LA GRANULOMETRÍA DEL ALIMENTO EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE LOS ANIMALES

La granulometría del alimento es determinante en la digestión del animal una vez ingerido por este. Los requerimientos en cuanto al tamaño de las partículas de un alimento van a depender de la especie animal a alimentar. Los cerdos poseen un sistema digestivo simple y requieren de partículas finas, mientras que el ganado bovino por tener un sistema digestivo complicado, necesita de partículas más grandes. Por otra parte el sistema digestivo de las aves es de gran tamaño y necesita que la granulometría sea grande, además un tamaño de partículas en el alimento no adecuado puede afectar considerablemente el comportamiento productivo de las mismas, ya que sus órganos digestivos son muy delicados. (Tanner y Uzwil, 2006)

Según Picard (2002) las partículas se definen como parte esencial de lo que el ave puede ver y tocar realmente en su dieta. Las aves tiene una gran capacidad de percepción sensorial sobre el alimento, y a veces puede ser más importante que lo que el especialista en nutrición puede aportar modificando la composición del alimento.

Las aves de corral realizan una selección de su alimento prefiriendo harinas gruesas, sobre las finas (Nir *et al.*, 1994). Esta característica de granulometría gruesa del alimento favorece la funcionalidad de la molleja, permitiendo un tiempo más prolongado de exposición del alimento a las enzimas digestivas y una mejor condición de acidez en el tracto digestivo. Estas condiciones permiten que los nutrientes contenidos en las dietas tengan un eficiente aprovechamiento, resultando en una mayor proporción de nutrientes disponibles a nivel intestinal.

Los pollos jóvenes tienden a comer en primer lugar partículas con colores brillantes y de mayor grosor, independientemente de la composición nutricional de la partícula. La forma en que las materias primas son molidas y la granulometría de éstas, tienen un impacto directo en la fisiología de las aves. Nir y colaboradores (1994) afirmaron que la digestibilidad de nutrientes disminuye cuando se utilizan partículas finas, ya que se causa atrofia de la molleja y una hipertrofia intestinal moderada provocada por la fermentación bacteriana. Esto sugiere que las partículas más grandes tienen un mayor tiempo de exposición en el intestino delgado, causando un incremento en el peristaltismo, destacando una mejora en la utilización de los nutrientes.

Cumming (1994) sugirió que en las aves, cuando las dietas son más finas, la molleja actúa más como un órgano de tránsito de alimento que como un molino. Como resultado

de esto, el alimento no es retenido por un periodo considerable en la molleja, por lo que no se expone adecuadamente a las enzimas digestivas del proventrículo a un pH bajo. El papel de estas partículas poco digeridas es desconocido en el tracto digestivo superior, sin embargo afectan negativamente las poblaciones bacterianas. Hay evidencia, también, para sugerir que una molleja activa desempeña una función importante contra la coccidiosis en pollos.

El tamaño grueso de partícula de la molienda de maíz provoca efectos benéficos en el comportamiento productivo del pollo según Jones y Taylor (2001). La alimentación con partículas gruesas está asociada con un buen desarrollo intestinal, mejorando la función de la molleja y reduciendo problemas proventriculares.

Parsons y colaboradores en el 2006, realizaron un estudio alimentando pollos de 3 a 6 semanas de edad con alimentos de tamaño de partícula de granos de maíz fino (781 ± 2.09 mm), pequeño (950 ± 2.08 mm), medio (1.042 ± 2.13 mm), grande (1.109 ± 2.08 mm) y grueso (2.242 ± 2.11 mm). Se encontró una respuesta interesante, dado que al incrementar el tamaño de partícula se encontró un mejor peso vivo, y un mejor aprovechamiento del alimento cuando tenían una granulometría más gruesa, representada por una mejor eficiencia en la conversión.

Toda empresa avícola que cuente con alimentos en harina debe considerar una norma de granulometría de sus ingredientes y alimentos que haga más rentable la producción, aprovechando las habilidades sensoriales de las aves. (Brito, 2009)

La molienda influye en un 20% sobre la calidad del pélet producido. Por regla general la molienda tiene como objetivo reducir el tamaño de partícula lo más posible y hacer que la dispersión sea la menor posible. Pero una molienda demasiado fina (inferior a 600 micrómetros) causa ulceración en el estómago de los cerdos y como se mencionó anteriormente alteraciones en el funcionamiento de la molleja de las aves.

Se considera que la partícula debería estar óptimamente en 650 a 700 micrómetros. Esto es imposible de conseguir en condiciones industriales, así que debemos realizar una determinación de la distribución de partículas para ver el rango o variabilidad. La partícula máxima de la harina no debe sobrepasar 1/3 del diámetro del pelet que se pretende fabricar, así que si se desea producir un pelet de 3,5 mm, la partícula mas gruesa no debería ser mayor de 1.160 micrómetros. (Super S, s.f)

2.6 ACERO AL CARBONO

El acero es una aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2,0% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar (a diferencia de los aceros), se moldean.

La Ingeniería Metalúrgica trata al acero, como a una familia muy numerosa de aleaciones metálicas, teniendo como base la aleación hierro-carbono. El hierro es un metal, relativamente duro y tenaz, con diámetro atómico $d_A = 2,48 \text{ \AA}$ (1 angstrom $\text{\AA} = 10^{-10}$ m).

¹⁰ m), con temperatura de fusión de 1.535 °C y punto de ebullición 2.740 °C. Mientras el carbono es un no metal, con diámetro mucho más pequeño ($d_A = 1,54 \text{ \AA}$), blando y frágil en la mayoría de sus formas alotrópicas (excepto en la forma de diamante en que su estructura cristalográfica lo hace el más duro de los materiales conocidos). Es la diferencia en diámetros atómicos lo que va a permitir al elemento de átomo más pequeño difundir a través de la celda del otro elemento de mayor diámetro.

El acero es el más popular de las aleaciones, es la combinación entre un metal (el hierro) y un no metal (el carbono), que conserva las características metálicas del primero, pero con propiedades notablemente mejoradas gracias a la adición del segundo y de otros elementos metálicos y no metálicos. De tal forma no se debe confundir el hierro con el acero, dado que el hierro es un metal en estado puro al que se le mejoran sus propiedades fisicoquímicas con la adición de carbono y demás elementos.

La definición anterior, sin embargo, se circunscribe a los aceros al carbono en los que este último es el único aleante o los demás presentes lo están en cantidades muy pequeñas. De hecho existen multitud de tipos de acero con composiciones muy diversas que reciben denominaciones específicas en virtud, ya sea de los elementos que predominan en su composición, de su susceptibilidad a ciertos tratamientos, de alguna característica potenciada, e incluso en función de su uso. Usualmente estas aleaciones de hierro se engloban bajo la denominación genérica de aceros especiales, razón por la que aquí se ha adoptado la definición de los comunes o "al carbono" que además de ser los primeros fabricados y los más empleados, sirvieron de base para los demás. (Wikipedia 2011)

2.6.1 Aceros aleados

Aunque un acero al carbono simple es una aleación de hierro y carbono con cantidades pequeñas de manganeso, silicio, azufre y fósforo, el término acero aleado se aplica cuando uno ó más elementos además del carbono se introducen en cantidades suficientes para modificar sustancialmente sus propiedades; entre estos elementos tenemos: cromo, níquel, manganeso, silicio, molibdeno, vanadio, tungsteno. (Shigley y Mischke, 2002)

2.6.1.1 Manganeso

Se añade a todos los aceros como agente desoxidante y desulfurizante, pero si el contenido de azufre es bajo y el contenido de manganeso es mayor que 1%, el acero se clasifica como una aleación de manganeso. El manganeso se disuelve en ferrita y también forma carburos. Causa que el punto eutectoide se mueva hacia la izquierda y baja el intervalo crítico de temperaturas. Incrementa el tiempo requerido para la transformación, de manera que se hace práctico el templado en aceite. (Shigley y Mischke, 2002)

2.6.1.2 Tungsteno

Se emplea mucho en aceros de herramienta porque la herramienta retendrá su dureza aún al rojo caliente. El tungsteno produce una estructura fina y densa además agrega tenacidad y dureza. (Shigley y Mischke, 2002)

2.7 VELOCIDAD ANGULAR

La velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por unidad de tiempo y se designa mediante la letra griega ω . O dicho de otra manera si se considera un objeto físico que describe circunferencias de centro O y radio r con MCU (Movimiento Circular Uniforme) y en un intervalo de tiempo t el objeto físico pasa de la posición A a la posición B describiendo el arco AB y el radio r barre el ángulo α . Como α tiene su vértice en el centro de la circunferencia, se cumple que la medida del ángulo α es igual a la medida del arco AB (ver figura 2.11).

Por consiguiente, si el objeto físico describe áreas iguales, se tendrá que el radio r barre ángulos iguales en tiempo iguales, por lo que se habla de una velocidad angular del objeto físico. Una característica que distingue a este tipo de movimientos es que el ángulo que recorre una partícula por unidad de tiempo es constante, por lo que su velocidad angular es constante.

Como la velocidad angular en un movimiento circular uniforme se mide por el cociente entre el ángulo recorrido (α) por el radio (r) y el tiempo (t) empleado en barrerlo entonces se tiene:

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \quad (\text{Ec.2.7})$$

El ángulo α puede medirse en grados o en revoluciones (1 Rev. = 360°), o también en cualquier otra unidad de medida angular. (Rena, 2008)

2.8 VELOCIDAD TANGENCIAL

En un MCU la velocidad tangencial cambia continuamente de dirección y sentido, pero la rapidez es constante porque la longitud del vector velocidad tangencial no varía. Se representa por un vector tangente a la circunferencia en el punto que se considere (ver figura 2.11). (Rena 2008)

La velocidad tangencial es la velocidad del móvil (distancia que recorre en el tiempo). Por lo tanto para distintos radios y a la misma velocidad angular, el móvil se desplaza a distintas velocidades tangenciales. A mayor radio y a la misma cantidad de vueltas por segundo, el móvil recorre una trayectoria mayor, porque el perímetro de esa circunferencia es mayor y por lo tanto la velocidad tangencial también es mayor. La velocidad tangencial se mide en unidades de espacio sobre unidades de tiempo, por ejemplo [m/s], [km/h], etc. Se calcula como la distancia recorrida en un período de tiempo.

La ecuación que se utiliza para calcular la velocidad tangencial se expresa como la velocidad angular por el radio. (Fisicapráctica 2008)

$$V = \omega \times r \quad (\text{Ec.2.8})$$

2.9 MOTORES TRIFÁSICOS DE CORRIENTE ALTERNA

Casi toda la generación de potencia eléctrica y la mayor parte de la transmisión de potencia en el mundo actual está en forma de circuitos de corriente alterna (ca) trifásicos. Un sistema de potencia trifásico consta de generadores trifásicos, líneas de transmisión, y cargas. Los sistemas de potencia de ca tienen una gran ventaja sobre los sistemas de corriente continua (cc); sus niveles de voltaje pueden cambiarse para reducir las pérdidas de transmisión. Los sistemas de potencia de ca trifásicos tienen una gran ventaja sobre los de potencia monofásica porque es posible obtener mayor potencia por libra de metal a partir de una máquina trifásica y también porque la potencia enviada a una carga trifásica es constante en todos los momentos, además facilitan el uso de los motores de inducción al permitirles arrancar sin embobinados auxiliares de arranque especiales.

Un generador trifásico consta de tres generadores monofásicos; cada uno de estos tiene un voltaje de igual magnitud pero desfasados con respecto a los demás en 120° . Cada uno de estos tres generadores podría conectarse a una de las tres cargas idénticas por un par de conductores. Un sistema de potencia en el cual los tres generadores tienen voltajes que son exactamente iguales en magnitud y desfasados 120° entre sí, y donde todas las tres cargas son iguales en magnitud y en ángulo, se llama sistema trifásico balanceado.

Cada generador y cada carga en un sistema trifásico puede estar conectado en estrella (Y) o en delta (Δ). Cualquier número de generadores puede conectarse en Y, en Δ o combinados, en un sistema de potencia. En las figuras 2.12 y 2.13 aparecen generadores trifásicos conectados en Y y en Δ . (Chapman, 1993)

2.9.1 Potencia en motores trifásicos

Los voltajes y corrientes de una determinada fase se llaman cantidades de fase (se denotan mediante el símbolo Φ) y los voltajes y corrientes de las líneas conectadas a los generadores se llaman cantidades de línea (se denotan mediante la letra L). La relación entre las cantidades de línea y las cantidades de fase para determinado generador o carga depende del tipo de conexión utilizada allí.

La corriente de cualquier línea es la misma de la fase correspondiente en una conexión en Y:

$$I_L = I_\Phi \quad (\text{Ec.2.9})$$

La relación entre las magnitudes del voltaje de línea y el voltaje de fase en un generador o carga conectado en Y es:

$$V_L = \sqrt{3}V_\phi \quad (\text{Ec.2.10})$$

En el caso de la conexión en Δ el voltaje en cualquier línea será el mismo de la fase correspondiente:

$$V_L = V_\phi \quad (\text{Ec.2.11})$$

La relación entre las magnitudes de las corrientes de línea y de fase en un generador o carga conectado en Δ es:

$$I_L = \sqrt{3}I_\phi \quad (\text{Ec.2.12})$$

La potencia suministrada a cada fase del motor es:

$$P_A = V_A I_A \cos \theta \quad (\text{Ec.2.13})$$

$$P_B = V_B I_B \cos \theta \quad (\text{Ec.2.14})$$

$$P_C = V_C I_C \cos \theta \quad (\text{Ec.2.15})$$

Entonces la potencia total suministrada a la carga trifásica es:

$$P_{\text{tot}}(t) = P_A(t) + P_B(t) + P_C(t) \quad (\text{Ec.2.16})$$

La potencia total suministrada a una carga trifásica balanceada es constante en todo momento. El hecho de que se suministre una potencia constante por un sistema de potencia trifásico es una de sus principales ventajas en comparación con las fuentes monofásicas. Entonces la potencia total en un sistema balanceado también se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$P_{\text{tot}}(t) = 3VI \cos \theta$$

(Ec.2.17)

Donde:

V= voltaje de la carga

I= corriente en la carga

θ = ángulo entre el voltaje a través de la carga y la corriente en ella. El coseno del ángulo θ se conoce como factor de potencia de la carga.

Es posible además deducir expresiones para la potencia de una carga trifásica balanceada en términos de cantidades de línea. Esta deducción debe hacerse también separadamente para las cargas conectadas en Y y en Δ , puesto que las relaciones entre las cantidades de línea y de fase son diferentes para cada tipo de conexión.

Para una carga conectada en Y, la potencia absorbida por una carga está dada por:

$$P = 3V_{\phi}I_{\phi} \cos \theta \quad (\text{Ec.2.18})$$

Para este tipo de carga $I_L = I_{\phi}$ y $V_L = \sqrt{3}V_{\phi}$, por lo tanto la potencia absorbida por la carga puede también expresarse como:

$$P = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \quad (\text{Ec.2.19})$$

Para una carga conectada en Δ , la potencia absorbida por una carga está determinada por:

$$P = 3V_{\phi}I_{\phi} \cos \theta \quad (\text{Ec.2.20})$$

Para este tipo de carga, $I_L = \sqrt{3}I_{\phi}$ y $V_L = V_{\phi}$, por lo cual la potencia absorbida por la carga puede también expresarse en términos de cantidades de línea como: (Champan, 1993)

$$P = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \quad (\text{Ec.2.21})$$

2.9.2 Eficiencia de motores trifásicos

Es un factor que indica el grado de pérdida de energía, trabajo o potencia de cualquier aparato eléctrico o mecánico, La eficiencia de una maquina se define como la relación del trabajo de salida entre el trabajo de entrada, en términos de potencia, la eficiencia global de una máquina de ca es el cociente entre su potencia neta de salida y su potencia de entrada, pero como se expresa en porcentaje, se le multiplicará por cien, sin embargo al efectuar operaciones se deberá de expresar en decimales: (Videla)

$$n = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \times 100\% \quad (\text{Ec.2.22})$$

Donde:

n = Eficiencia

P_{sal} = Potencia de salida

P_{ent} = Potencia de entrada

Para ayudar en la comparación de la eficiencia de los motores, NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) ha adoptado una técnica normalizada para medirla, basada en el método B, norma 112 de la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), denominado procedimiento para ensayos de motores y generadores de inducción polifásicos. NEMA también ha introducido una nueva clasificación llamada eficiencia nominal NEMA, la cual aparece en la placa de identificación de los motores de diseño, clases A, B y C. la eficiencia nominal identifica la eficiencia promedio de un gran número de motores de un modelo determinado y también garantiza una cierta eficiencia mínima para ese tipo de motor. Las eficiencias nominales NEMA normalizadas se señalan en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Eficiencias nominales NEMA

% Eficiencia nominal	% Eficiencia mínima garantizada	% Eficiencia nominal	% Eficiencia mínima garantizada
95,0	94,1	80,0	77,0
94,5	93,6	78,5	75,5
94,1	93,0	77,0	74,0
93,6	92,4	75,5	72,0
93,0	91,7	74,0	70,0
92,4	91,0	72,0	68,0
91,7	90,2	70,0	66,0
91,0	89,5	68,0	64,0
90,2	88,5	66,0	62,0
89,5	87,5	64,0	59,5
88,5	86,5	62,0	57,5
87,5	85,5	59,5	55,0
86,5	84,0	57,5	52,5
85,5	82,5	55,50	50,5
84,0	81,5	52,50	48,0
82,5	80,0	50,5	46,0
81,5	78,5		

Otras organizaciones que se ocupan de la normalización en general, también han establecido normas de eficiencia para los motores de inducción. Sin embargo, las técnicas recomendadas para medir la eficiencia de los motores de inducción son diferentes en cada norma y arrojan diferentes resultados para la misma máquina. La norma de NEMA es la más conservadora y esto debe tenerse muy en cuenta al comparar motores medidos con sistemas diferentes. Cuando se cotejan dos motores, es importante comparar sus eficiencias, midiéndolas con las mismas normas. (Champan, 1993)

CAPÍTULO III DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 DEFINICIÓN DE LOS INTERVALOS DE TIEMPO PARA EL CAMBIO DE LOS MARTILLOS DEL MOLINO

Existen diferentes tipos de martillos, estos pueden presentarse de diversas maneras; largos o cortos, de formas variadas, con uno o varios agujeros, de dureza variable, fijos o pivoteantes, etc. La determinación de las características de los martillos a usar va a depender del material a moler, las condiciones operacionales en el equipo y del alcance que deseen quienes los vayan a usar.

Los martillos usados en la planta de alimentos Super S, C.A, son de 2 agujeros para permitir su uso por los 4 costados, están hechos de acero 1020, con una dureza de 48 a 52 HRC (*hardness Rockwell C* o traducido al español dureza Rockwell C) que es un método avalado por la norma ASTM E 18-0, para determinar la dureza, es decir, la resistencia de un material a ser penetrado; estos martillos cuentan con un reforzado de acero al manganeso o tungsteno en la zona de impacto de 4 a 5 mm de longitud, para garantizar una mayor resistencia al desgaste por ser aleaciones que agregan tenacidad y dureza. En la figura 3.1 se puede apreciar un martillo con sus respectivas longitudes.

Los martillos juegan un papel fundamental en la molienda, ya que son los que impactan el material y ocasionan su rompimiento, por esto es necesario mantener un filo agudo en ellos para que puedan funcionar a óptimas condiciones. Es importante señalar que según la marca Champion, el máximo desgaste en el martillo que permite obtener buenos resultados en la molienda es 1/3 de la longitud del ancho del mismo.

El molino de martillos marca Champion en su ensamblaje acopla 84 martillos distribuidos en 4 ejes, cada eje con 21 de ellos. Durante el desarrollo de este objetivo se montaron martillos nuevos en el molino y se tomaron como muestra 4 de ellos, diferenciados de los demás, ubicados estratégicamente en uno de los pernos del eje, en las posiciones 5, 11, 16 y 20 los martillos 1, 2, 3, y 4 respectivamente, la distribución del eje y la posición de los martillos estudiados se pueden apreciar en la figura 3.2, los círculos amarillos representan los martillos examinados, cabe destacar que los pernos 5 y 7 poseen la misma distribución que los pernos 1 y 3 al igual que los pernos 6 y 8 con respecto a los pernos 2 y 4.

Las longitudes estándar y reales de los martillos usados durante el desarrollo de este objetivo se muestran en la tabla 3.1.

Ahora bien, conocida la longitud de los martillos se puede calcular la longitud máxima de desgaste para estos martillos:

$$Desg_{max} = ancho\ del\ martillo \times \frac{1}{3} \quad (Ec.3.1)$$

Donde:

$Desg_{max}$: desgaste máximo

Tabla 3.1 Longitudes estándar e iniciales de los martillos estudiados

Martillo	Posición	Largo (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)	Diam orif (mm)
Estandar	----	250	65	6	33
1	5	250,00	65,00	6,00	32,85
2	11	250,00	65,00	6,00	33,00
3	16	250,00	65,00	6,00	32,90
4	20	250,00	65,00	6,00	32,75

Diam orif: diámetro del orificio que posee el martillo

$$Desg_{max} = 65,00mm \times \frac{1}{3} = 21.67 \text{ mm}$$

Para efectos de operaciones durante el desarrollo del proyecto y porque no afecta en gran manera los resultados obtenidos, se tomará como valor de máximo de desgaste para facilidad de cálculos:

$$Desg_{max} = 21,50 \text{ mm}$$

Una vez acoplados los martillos se les media la longitud semanalmente para apreciar su desgaste con el tiempo, en función de la cantidad en masa de productos molidos. Con todo esto se construyeron graficas de desgaste acumulativo contra producto molido para pretender predecir el comportamiento del desgaste mediante ecuaciones.

Durante la toma de los datos para obtener el desgaste de los martillos solo se pudieron medir 4 veces las longitudes de los mismos, en las primeras 4 semanas, ya que, aunque se pretendía tomar una mayor cantidad de datos para obtener una buena aproximación a la realidad y por ende un buen ajuste, hubo una perturbación en el sistema durante la quinta semana debido a un mal seguimiento en la limpieza del sistema de retención de metales, ocasionando el escape de uno o varios cuerpos metálicos al molino, desgastando considerablemente los martillos apreciándose deformaciones muy irregulares en ellos (ver figura 3.3); estas deformaciones impidieron seguir con las mediciones, ya que la superficie estudiada de los martillos tomados como referencia, no era uniforme, sino irregular.

Para obtener el desgaste semanal se restó el valor de la longitud medida la semana 1 menos la 2 y así sucesivamente con el resto de los valores, para el caso de la primera medida se restó la longitud inicial del martillo menos la longitud que se obtuvo durante la

primera semana de desgaste. Los valores de las longitudes medidas se encuentran reflejados en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Longitudes de los martillos

Semana	Martillo 1	Martillo 2	Martillo 3	Martillo 4
	Longitud (mm)	Longitud (mm)	Longitud (mm)	Longitud (mm)
1	64,95	64,95	64,95	64,95
2	64,40	64,40	64,90	64,50
3	64,00	64,30	64,15	63,85
4	63,30	63,95	64,00	63,00

$$Desg_i = long_o - long_f \quad (\text{Ec.3.2})$$

Donde:

i: desgaste obtenido en cada semana (1, 2, 3 y 4)

long_o: longitud inicial (mm)

long_f: longitud final (mm)

Para el primer martillo durante la primera semana se tiene:

$$Desg_1 = 65,00\text{mm} - 64,95\text{mm}$$

$$Desg_1 = 0,05\text{mm}$$

También se calculó el porcentaje de desgaste durante cada semana siendo este:

$$\%Desg_i = \frac{Desg_i \times 100}{65} \quad (\text{Ec.3.3})$$

Donde:

%Desg_i: porcentaje de desgaste en la semana i

$$\%Desg_1 = \frac{0,05\text{mm} \times 100}{65\text{mm}} = 0,08\%$$

Posteriormente se obtuvo el desgaste acumulativo y el porcentaje de desgaste acumulativo que poseían los martillos al transcurrir las semanas:

$$Desg_{acum\ i} = Desg_{acum\ i-1} + Desg_i \quad (\text{Ec.3.4})$$

Para la semana 2 se tiene:

$$Desg_{acum\ 2} = Desg_{acum\ 1} + Desg_2$$

$$Desg_{acum\ 2} = 0,05\text{mm} + 0,55\text{mm} = 0,60\text{mm}$$

Y el porcentaje de desgaste acumulativo para ese desgaste es:

$$\%Desg_{acum} = \frac{Desg_{acum} \times 100}{65} \quad (\text{Ec.3.5})$$

$$\%Desg_{acum} = \frac{0,60 \times 100}{65,00} = 0,92\%$$

El resto de los resultados tanto para el martillos 1 como para el resto de los martillos se encuentra reflejado en las tablas 4.1 y A.1, A.2 y A.3.

Para saber de la cantidad de producto molido semanalmente fue necesario obtener, con la ayuda del departamento de inventario la cantidad de producto que se molía a diario durante las 4 semanas de estudio, y puesto que en el molino se pulverizaba maíz y sorgo, se obtenían los datos por separado. En las tablas 3.3, A.4, A.5 y A.6 se muestra la cantidad en masa de maíz y sorgo que se molió en las semanas 1, 2, 3, y 4 respectivamente, período durante el cual se estudio el comportamiento de los martillos.

Tabla 3.3 Masa de maíz y sorgo que se molió durante la semana 1

Días	Maíz (kg)	Sorgo (kg)
17/09/10	109.010,00	37.859,00
18/09/10	98.273,00	61.834,00
19/09/10 al 20/09/10	107.092,00	34.357,00
21/09/10	66.848,00	11.293,00
22/09/10	49.892,00	24.779,00
23/09/10	71.086,00	49.740,00

La cantidad total de masa que se molía semanalmente se obtuvo sumando el todo el maíz y el sorgo durante esa semana.

Para obtener la cantidad total de maíz en la semana 1 se tiene:

$$m_{total\ maiz} = \sum_{z=1}^{z=n} m_z\ maiz \quad (\text{Ec.3.6})$$

$$m_{total\ maiz} = (109.010,00 + 92.636,00 + 5.637,00 + 107.092,00 + 66.848,00 + 49.892,00 + 71.086,00) kg$$

$$m_{total\ maiz} = 502.201,00 kg$$

Y para la cantidad de sorgo:

$$m_{total\ sorgo} = \sum_{z=1}^{z=n} m_z\ sorgo \quad (\text{Ec.3.7})$$

$$m_{total\ sorgo} = (37.859,00 + 61.834,00 + 34.357,00 + 11.293,00 + 24.779,00 + 49.740,00) kg$$

$$m_{total\ sorgo} = 219.862,00 kg$$

Entonces la cantidad de producto molido durante la semana 1 se obtuvo sumando el total de maíz y el total de sorgo en esa semana:

$$m_{total\ semana\ i} = m_{total\ maiz} + m_{total\ sorgo} \quad (Ec.3.8)$$

$$m_{total\ semana\ 1} = 502.201,00kg + 219.862,00kg = 722.063,00kg$$

Pero para graficar es necesario tener la cantidad de producto molido acumulado semana a semana, entonces se tiene que:

$$m_{acum\ semana\ i} = m_{semana\ i-1} + m_{semana\ i} \quad (Ec.3.9)$$

En cuanto se llegó a la semana 2 la cantidad de producto molido fue:

$$m_{acum\ semana\ 2} = m_{semana\ 1} + m_{semana\ 2}$$

$$m_{acum\ semana\ 2} = 722.063,00kg + 304.223,00kg = 1.026.286kg$$

Los resultados para la cantidad de producto molido semanal y su cantidad acumulativa para el resto de las semanas se encuentran en la tabla 4.2

Luego de todo esto se contaba con los datos necesarios para construir las gráficas de desgaste acumulativo en función del producto molido, para cada martillo, apreciándose estas en las figuras 4.1, B.1, B.2 y B.3. Después de unir todos los puntos, con la ayuda de la herramienta Microsoft Excel se ajustó la ecuación que más semejaba el comportamiento de la curva. En las gráficas las curvas azules representan la curva real obtenida y las curvas negras representan la curva que Excel ajusta y a la cual pertenece la ecuación asignada.

Posteriormente se determinó la cantidad de producto molido que se necesitaría si a cada una de esas ecuaciones se le asigna el valor de desgaste máximo permitido. Para el caso del martillo 1 la ecuación fue:

$$y = 2 \times 10^{-18} x^3 - 9 \times 10^{-12} x^2 + 1 \times 10^{-5} x - 4,7168 \quad (Ec.3.10)$$

Donde:

y: representa el desgaste acumulativo del martillo

x: representa la cantidad de producto molido

Para un desgaste acumulativo de 21,50 mm, representando el desgaste máximo, se tienen 3 valores de x (cantidad de producto molido) por ser una ecuación cúbica, siendo éstos:

$$y = 21,50mm$$

$$x_1 = 4.063.411,05kg$$

$$x_2 = x_3 = 218.294,48kg$$

Considerando como el valor más acertado el resultado de x_1 , puesto que x_2 y x_3 son valores muy pequeños que apenas representan la cantidad de material que se podría moler en unos días.

Este mismo procedimiento se le aplicó al resto de los martillos y se tomaron en cuenta las mismas consideraciones puesto que también se obtuvieron valores de x inapropiados, mostrándose los resultados en la tabla 4.3.

En vista de que la toma de datos se consideró insuficiente, y no se pudo seguir midiendo la longitud de los martillos periódicamente por la irregularidad que presentaban, se espero que estos llegaran a su desgaste máximo y se buscó la cantidad de material molido desde el momento de su ensamblaje hasta entonces, para poder establecer en que tiempo sucedió esto y cuanto producto se molió. Es importante señalar que por un período corto a parte de maíz y sorgo el molino de martillos pulverizó soya y la cantidad de ésta también se cuantificó para obtener el total de producto molido. En la tabla 3.4 se muestra por períodos la cantidad de maíz sorgo y soya molida durante el período de desgaste, además en la 3.5 se pueden observar las longitudes de los martillos ya desgastados.

Tabla 3.4 Cantidad de maíz sorgo y soya molida desde el ensamblaje de los martillos hasta su desgaste

Período	Maíz (kg)	Sorgo (kg)	Soya (kg)
17/09/10 al 30/09/10	726.568,00	299.718,00	----
10/10/10 al 31/10/10	1.528.055,00	583.876,00	----
01/11/10 al 30/11/10	1.727.817,00	495.008,00	----
01/12/10 al 31/12/10	2.104.526,00	506.231,00	----
01/01/11 al 31/01/11	1.318.051,00	550.600,00	----
01/02/11 al 15/02/11	940.827,43	215.512,00	----
27/01/11 al 15/02/11	----	----	640.042,11

El total de producto pulverizado se obtuvo sumando la cantidad de maíz sorgo y soya en cada período, de la misma manera que se indicó anteriormente. El desgaste y porcentaje de desgaste de los martillos también se calculó de la misma manera que se hizo previamente indicándose los resultados en las tablas 4.4 y 4.5

Tabla 3.5 Longitudes de los martillos desgastados

Martillo	Longitud (mm)
1	42,80
2	38,55
3	45,20
4	32,25

También se hizo un ajuste promedio para graficar el desgaste en función de una cantidad de producto procesado promedio. Tomando como referencia para el desgaste el máximo que pudo tener un martillo durante las medidas de sus longitudes, que lo presento el martillo 4 en su cuarta semana. A partir de ese valor se calculó el desgaste acumulativo semanal, estos resultados se muestran en la tabla 4.7. La cantidad de

producto procesado se obtuvo calculando una cantidad de producto semanal promedio tomando como referencia los meses durante los cuales se desgastaron los martillos.

Para poder tener una cantidad semanal promedio primero se calculó la cantidad diaria en cada uno de los meses, luego la semanal y por último se sacó un promedio de todas. Por ejemplo para el mes de octubre se molieron 2.111.931,00 kg y su cantidad diaria y semanal promedio fueron:

$$m_{diaria\ prom} = \frac{2.111.931,00}{30} = 70.397,70kg$$

$$m_{semanal\ prom} = 70.397,70 \times 7 = 492.783,90kg$$

El resto de los resultados se encuentran en la tabla 4.6

Por último si dividimos la cantidad de maíz y sorgo que se puede moler con los 4 cambios del martillo entre lo que cuesta un juego de martillos, asumiendo que en los otros cambios estos se desgasten en la misma proporción, con igual cantidad de producto molido, y en el mismo tiempo, se puede tener un aproximado de el precio del martillo por kg molido y así se tiene una relación Bs/kg.

Para obtener el precio de un juego de martillos se tiene que multiplicar el costo de un martillo, el cual fue suministrado por el departamento de compras (40,32 BsF) por la cantidad de martillos que lleva el molino (84):

$$Precio_{juego\ de\ martillos} = 40,32Bs \times 84 = 3.386,88Bs$$

Ahora bien la obtención de la relación Bs/kg se hará para el desgaste real obtenido y el ideal proyectado, pero primero hay que multiplicar la cantidad de producto pulverizado en cada uno de los casos por 4, para obtener la cantidad total que se puede moler con los 4 cambios. Entonces:

$$m_{total\ real} = 11.636.831,54kg \times 4 = 46.547.326,16kg$$

$$m_{total\ ideal} = 13.005.212,57kg \times 4 = 52.020.850,28kg$$

$$Relación_{\frac{Bs}{Kg}}_{real} = \frac{3.386,88Bs}{46.547.326,16kg} = 7,276 \times 10^{-5}Bs/kg$$

$$Relación_{\frac{Bs}{Kg}}_{ideal} = \frac{3.386,88}{52.020.850,28kg} = 6,511 \times 10^{-5}Bs/kg$$

3.2 DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS PRODUCTOS MOLIDOS

El tamaño de las partículas de granos molidos, desempeña un papel crítico en la determinación de la digestibilidad de los alimentos, el rendimiento de la mezcla y la granulación. Por lo tanto, una evaluación periódica de ésta es fundamental y necesaria en un programa de fabricación de alimentos, para llevar un buen control de calidad.

En la planta de alimentos Super S, los parámetros establecidos para la distribución granulométrica, no se basan en ninguna norma específica, sino en estudios realizados que determinaron la influencia de un determinado tamaño de partícula en la digestión de los animales y en la granulación del alimento. Estos estudios fueron realizados por expertos en nutrición animal. Los estándares ya mencionados, se muestran en el anexo D.1, e indican los tamices y el porcentaje de retención que debe haber en cada uno de ellos, tanto para molienda fina como para molienda gruesa.

El maíz fue molido empleando mallas de 8 mm de diámetro en su abertura y para el sorgo se usó una unión de mallas durante un primer período de 3 mm de diámetro en el área de impacto y 4 mm en la de desalajo, y posteriormente se colocaron mallas de 2,5 mm de diámetro en ambos lados. Salvo las diferencias en las mallas, las condiciones de operación en el molino fueron siempre las mismas.

Para el análisis por tamizado se empleó el método que se usa en la planta, el cual consiste en tomar muestras de 300 g de material molido, colocarlas en una pila de tamices, cada uno con una abertura diferente, organizados de modo que el más grueso esté en la parte superior y el más fino en la parte inferior, posteriormente colocarlos en un tamizador durante 4 min, desmontar la pila, golpearla suavemente y pesar el contenido en cada tamiz.

Los tamices usados poseen aberturas en sus mallas de 2800, 2000, 1180 y 850 micrones, que corresponden a los tamices de 7, 10, 16 y 20 mallas (*mesh*). El número de *mesh* o número de mallas, es la cantidad de hilos por pulgada lineal que tiene la malla, pero manteniendo constante la superficie abierta, que en ASTM (las siglas de la *American Society of Testing Methods*) es del 60%, es decir que cuanto más grande es el *mesh* más fino deberán ser los hilos. En estos tamices normalizados se denomina número de *mesh* utilizando la palabra *mesh* que significa malla en inglés.

Los datos obtenidos durante el tamizado de las muestras se muestran en las tablas 3.6 para molienda gruesa y A.7 para molienda fina.

Posteriormente se construyeron las gráficas de distribución diferencial y acumulativa. Las distribuciones diferenciales se representaron gráficamente en forma de bloques o histogramas, empleando los porcentajes de masa retenidos y la amplitud de cada intervalo. De estos bloques se obtuvieron curvas suavemente trazadas, uniendo los diámetros medios aritméticos de cada intervalo. En el caso de las distribuciones acumulativas, se trazaron los porcentajes de masa que pasa el tamiz en función a tamaño de la abertura del tamiz, estos puntos se unieron también con líneas suavizadas. Para la construcción de las gráficas fue necesario calcular los datos requeridos en cada eje.

Tabla 3.6 Cantidad de masa retenida en cada tamiz para las muestras de molienda gruesa con maíz

Muestra N°	Masa contenida en cada tamiz (g)					Total (g)
	Malla 7	Malla 10	Malla 16	Malla 20	Bandeja	
1	12,12	34,32	79,47	54,21	119,07	299,19
2	10,65	26,34	63,99	59,61	138,39	298,98
3	17,61	49,38	84,36	53,58	95,07	300,00
4	9,51	30,45	63,99	52,83	141,78	298,56
5	12,99	34,89	69,87	50,40	129,84	297,99
6	16,89	27,09	73,29	75,72	105,24	298,23
7	12,30	31,08	74,70	64,23	116,58	298,89
8	14,16	29,85	66,75	64,68	123,93	299,37
9	9,99	24,87	70,08	53,31	139,35	297,60
10	11,34	27,15	73,29	75,51	110,85	298,14

El porcentaje de masa retenido en cada tamiz se obtuvo dividiendo la cantidad de masa que se retuvo en ese tamiz entre la masa total de la muestra multiplicados por 100, para la muestra 1 de molienda gruesa en el tamiz de malla 7 se tuvo:

$$\%Ret_{t7} = \frac{12,12g}{299,19g} \times 100 = 4,051\%$$

Donde:

$\%Ret_{t7}$: porcentaje retenido en el tamiz 7

Los resultados para el resto de los tamices y de muestras se reportan en las tablas 4.8 Y A.8

El porcentaje de masa que pasa cada tamiz se calculó restando 100 menos lo que se retuvo en cada uno de ellos, tomando como base el porcentaje retenido que se acaba de mostrar se tiene:

$$\%Pasa_{t7} = 100,00 - 4,051 = 95,95\%$$

Donde:

$\%Pasa_{t7}$: porcentaje que pasa el tamiz 7

El porcentaje que pasa para las muestras restantes se reportan en las tablas 4.9 para molienda fina y A.9 para molienda gruesa.

El diámetro medio se define como la media aritmética de los diámetros de abertura, en el intervalo de tamices donde la masa queda retenida, y para determinarlo en el tamiz de malla 7 fue necesario tomar como tamiz hipotético superior el de malla 6 con una abertura de 3.350µm:

$$d_m = \frac{(3.350 + 2.800)\mu m}{2} = 3.075\mu m$$

Donde:

d_m : diámetro medio

El diámetro medio para el resto de los tamices se muestra en la tabla 4.10.

Una vez hechos todos estos cálculos se pudieron construir las gráficas de distribución diferencial y acumulativa. Para tener un punto de referencia fue necesario construir primeramente las curvas según los estándares de la planta, para su posterior comparación con las muestras tomadas.

En este caso sólo fue necesario calcular el porcentaje que pasa, puesto que el porcentaje retenido es el dato que se tiene como referencia según los parámetros establecidos por la planta. Es importante señalar, que para el caso de molienda gruesa se tuvo que asumir un porcentaje de retención en los tamices de malla 10 y 16 de 35 y 30% respectivamente, ya que, como se muestra en el anexo D.1 solo se tiene una referencia de la cantidad de producto que debe haber entre los 2 tamices, pero no la de cada uno el particular.

Los datos de porcentaje retenido y el porcentaje que pasa calculados para los parámetros de molienda gruesa y fina se muestran en las tablas 4.11 y 4.12 con sus respectivos esquemas de distribución diferencial y acumulativa (figuras 4.3 y 4.4). Y el resto de las gráficas que proporcionan las distribuciones para las muestras analizadas de molienda gruesa y fina, se encuentran en las figuras 4.5, 4.6 y de la B.4 a la B.21.

Luego se determinó el diámetro medio de las partículas en cada muestra por el método de la distribución logarítmica normal a partir de la ecuación 2.3:

$$\log d_{gw} = \left[\frac{\sum (W_i \times \log d_i)}{\sum W_i} \right] \quad (\text{Ec.2.3})$$

El d_i representa el diámetro geométrico medio de la partícula en el intervalo i , calculándose a partir de la ecuación 2.2, tomándose también en este caso como referencia los tamices hipotéticos de malla 6 y 400 como tamices superior e inferior respectivamente para este cálculo, el diámetro para el tamiz de malla 7 fue:

$$d_i = (d_u \times d_l)^{0.5} \quad (\text{Ec.2.2})$$
$$d_i = (3.350\mu\text{m} \times 2.800\mu\text{m})^{0.5} = 3.062,68\mu\text{m}$$

Además se calculó el logaritmo de d_i , y el resto de estos resultado se encuentran en la tabla 4.13.

Para poder obtener el valor del diámetro medio de las partículas en cada muestra (d_{gw}), se calculó, $W_i \times \log d_i$, y su sumatoria para cada uno de los tamices y cada una de las muestras, y los resultados obtenidos se encuentran en las tablas A.11 a A.20. Entonces extrayendo de la tabla A.11 los datos para la muestra 1 se tiene que:

$$\log d_{gw} = \frac{775,55415g\mu\text{m}}{300,00g} = 2,5852$$

$$d_{gw} = 10^{2,5852} = 384,75\mu m$$

En cuanto al cálculo del diámetro geométrico medio para los estándares de molienda fina y gruesa, se tomo una base de cálculo de 100 g, para que los porcentajes de retención representaran las masas retenidas en cada tamiz, se hizo el cálculo de la misma manera que se explicó anteriormente y los valores de W_i y $W_i \times \log d_i$ están en la tabla A.10.

Luego se calculó la desviación estándar (S_{gw}) a cada una de las muestras a partir de la ecuación:

$$\log S_{gw} = \left[\frac{\sum W_i (\log d_i - \log d_{gw})^2}{\sum W_i} \right]^{0,5} \quad (\text{Ec.2.4})$$

En este caso también se tabularon $(\log d_i - \log d_{gw})^2$ y $W_i \times (\log d_i - \log d_{gw})^2$ para cada uno de los tamices y cada una de las muestras, así como también para los estándares de la planta, y estos valores se pueden apreciar en las tablas A.21 a la A.31.

Tomando de la tabla A.22 y A.11 los datos necesarios para calcular la desviación estándar, se tiene para la muestra 1

$$\log S_{gw} = \left[\frac{53,159759 g \mu m}{300,00 g} \right]^{0,5} = 0,42095 \mu m$$

$$S_{gw} = 10^{0,42095} \mu m = 2,6360 \mu m$$

El resto de los resultados de d_{gw} y S_{gw} para los estándares de molienda y cada una de las muestras se encuentran en la tabla 4.14, 4.15 y A.32.

3.3 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DEL MOLINO

Una buena manera de ver cómo está rindiendo un motor es a través del cálculo de su eficiencia, ya que ésta es un factor que indica el grado de pérdida de energía, trabajo o potencia de cualquier aparato eléctrico o mecánico. Para poder calcular la eficiencia es necesario saber que el motor instalado en el sistema de molienda de alimentos Super S es trifásico de corriente alterna. Cada generador y cada carga en un sistema trifásico puede estar conectado en estrella (Y) o en delta (Δ), este motor se encuentra conectado en estrella-delta, es decir, arranca en estrella para que el impacto en el consumo de energía no sea tan brusco, y se estabiliza en delta.

Para el cálculo de la eficiencia fue necesario medir el voltaje y amperaje en cada fase del motor a distintas intensidades de corriente establecidas, para apreciar como variaba la eficiencia según el amperaje suministrado en ese momento. Los datos de voltaje y amperaje se tomaron tanto para molienda fina como para gruesa, y 2 veces con cada corriente suministrada en corridas diferentes. Estos datos se encuentran en las tablas 3.7 y A.33.

La eficiencia se obtiene a partir de la ecuación 2.22.

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \times 100\% \quad (\text{Ec.2.22})$$

La potencia de salida es el producto entre el voltaje nominal, el amperaje nominal, los cuales se encuentran en la placa del motor como se puede apreciar en el anexo D.2, y el coseno de θ ó factor de potencia que se define como la relación entre la potencia activa, y la potencia aparente. En la tabla 3.8 se muestran los datos del voltaje y amperaje nominal al igual que el factor de potencia del motor del molino.

Tabla 3.8 Voltaje y Amperaje nominal y factor de potencia

Voltaje (Volt)	Amperaje (Amp)	Factor de potencia
460	228	0,95

$$P_{sal} = V_{nom} \times I_{nom} \times \cos \theta \quad (\text{Ec.3.11})$$

$$P_{sal} = 460\text{Volt} \times 228\text{Amp} \times 0,95 = 99.636\text{Watt}$$

Como la corriente no se mantenía estable, si no que variaba en un rango, se calculó una promedio en cada fase; para un amperaje suministrado de 80 Amp en la fase 1 la corriente promedio fue:

$$I_{prom} = \frac{(62 + 92)\text{Amp}}{2} = 77,0 \text{ Amp}$$

El resto de los valores se encuentran en las tablas 4.16 y A.34.

La potencia suministrada a cada fase del motor, para molienda gruesa en la primera corrida de 80 Amp es:

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta \quad (\text{Ec.2.13})$$

$$P_1 = 454\text{Volt} \times 77,0\text{Amp} \times 0,95 = 33.210,10\text{Watt}$$

$$P_2 = V_2 I_2 \cos \theta \quad (\text{Ec.2.14})$$

$$P_2 = 460\text{Volt} \times 103\text{Amp} \times 0,95 = 45.011\text{Watt}$$

$$P_3 = V_3 I_3 \cos \theta \quad (\text{Ec.2.15})$$

$$P_3 = 450\text{Volt} \times 94 \text{ Amp} \times 0,95 = 40.185,00\text{Watt}$$

Entonces la potencia de entrada total suministrada a la carga trifásica es:

$$P_{tot\ ent}(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) \quad (\text{Ec.2.16})$$

$$P_{tot\ ent} = (33.210,100 + 45.011,00 + 40.185,00)\text{Watt} = 118.406,10\text{Watt}$$

Los demás resultados se pueden encontrar en la tabla 4.17 y A.35.

Una vez obtenida la potencia de entrada y de salida se puede calcular la eficiencia, y para el primer amperaje suministrado fue:

$$\eta = \frac{99.636Watt}{118.406,10Watt} \times 100 = 84,148\%$$

La eficiencia para el resto de los ensayos realizados se encuentra en las tablas 4.18

Para comparar con los datos obtenidos anteriormente se calculó una eficiencia ideal, considerando que el amperaje se mantiene constante y es igual al suministrado, y que el voltaje es el nominal, como se puede apreciar en la tabla 3.9. Cabe destacar que en casos como estos la potencia total suministrada a una carga trifásica esta balanceada y se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$P_{tot}(t) = 3VI \cos \theta$$

(Ec.2.17)

En el caso de un amperaje suministrado igual a 80 Amp la potencia de entrada es:

$$P_{ent} = 3 \times 460Volt \times 80Amp \times 0,95 = 104.880Watt$$

Tabla 3.9 Corriente suministrada y voltaje nominal

Corriente asignada (Amp)	Voltaje (Volt)
80	460
100	
120	
140	
160	
180	

La potencia de salida es la misma que la usada en el caso anterior, entonces la eficiencia en este caso es igual a:

$$\eta = \frac{99.636Watt}{104.880Watt} \times 100 = 95,00\%$$

Los resultados de potencia de entrada y eficiencia para los otros casos se pueden observar en la tabla 4.19

Además de calcular la eficiencia ideal, se midió el voltaje y la corriente en el molino sin alimentación al mismo, es decir, sin maíz o sorgo entrando en él para ser pulverizados. Y estos datos se pueden apreciar en la tabla 3.10

Tabla 3.10 Voltaje y corriente en cada fase cuando no hay alimentación al molino

Fase 1		Fase 2		Fase 3	
Voltaje (Volt)	Rgo Cte (Amp)	Voltaje (Volt)	Rgo Cte (Amp)	Voltaje (Volt)	Rgo Cte (Amp)
449	58-68	446	76-86	448	86-95

Con estos datos se calculó la eficiencia de la misma manera antes explicada y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 4.20.

3.4 SELECCIÓN DEL FLUJO DE ALIMENTACIÓN ADECUADO PARA EL MOLINO, DEPENDIENDO DEL TIPO DE MATERIA PRIMA

El flujo de alimentación al molino es un factor que determina varios aspectos, ya que este incide en la granulometría obtenida, la cantidad de energía consumida, y la presión negativa que debe haber en las ventanillas del molino, además de que varía con el amperaje suministrado al motor.

En esta etapa del proyecto se hicieron una serie de ensayos en el molino, variando la intensidad de corriente establecida en el motor, para estudiar como variaba con cada amperaje suministrado: el flujo de alimentación, la distribución granulométrica, la velocidad tangencial, la cantidad de producto que se molía y la succión por las ventanillas del molino.

Primeramente se tomó como referencia un tiempo de 5 min en cada corrida, suministrando en cada una intensidades de corriente que iban ascendiendo de 20 en 20 Amp empezando con 80 hasta llegar a 180 Amp, no se consideró un tiempo de corrida mayor, ya que se tenía que variar muchas veces las condiciones de operación en el molino y esto podría traer consigo retrasos en las demás etapas de producción. En cada corrida se tomaban muestras de el material molido, se medían las revoluciones por minuto en el molino, el amperaje y voltaje en el motor, la altura de vaciado en los tanques de premolienda, y se abrieron las ventanillas laterales en el molino para observar si había o no succión.

Para la obtención del flujo másico de alimentación fue necesario seguir una serie de pasos, ya que este valor no es una variable controlada en el sistema, la única variable que se controla es el amperaje del motor y este a su vez modifica las demás condiciones. En cada corrida se medía la altura inicial y final en el tanque de premolienda para obtener la altura de vaciado; con la ecuación del volumen de un cilindro, ya que los tanques son cilíndricos, se calculó el volumen de vaciado; se tomaron porciones de las muestras obtenidas y se le calculó la densidad por el método que usa la planta, con el volumen y la densidad se calculó la cantidad de masa que se molía en ese intervalo y luego con el tiempo establecido en cada corrida se calculó el flujo de

alimentación. Los datos para altura inicial y final del tanque se aprecian en la tabla 3.11 para molienda gruesa y A.36 para fina.

La altura de vaciado se calculó restando la altura en el tanque al final y al principio de cada corrida. Para la primera corrida con molienda gruesa se tiene:

$$h_{vac} = h_f - h_0 \quad (\text{Ec.3.12})$$

Donde:

h_{vac} = altura de vaciado (m)

h_f = altura final (m)

h_0 = altura inicial (m)

$$h_{vac} = (4,22 - 4,14) m = 0,08 m$$

Para calcular el volumen de vaciado, como ya se dijo se usó la ecuación del volumen de un cilindro, y calculándolo para la altura de vaciado que se acaba de obtener, se tiene:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

(Ec.3.13)

$$V_{vac} = \pi \times r^2 \times h_{vac}$$

Donde:

V_{vac} = volumen de vaciado (m^3)

π = pi (3,1416)

r = radio del tanque (1,70m)

$$V_{vac} = \pi \times 1,70 m^2 \times 0,08 m = 0,726 m^3$$

Para saber la masa que se molió en ese tiempo primero fue necesario obtener la densidad de cada una de las muestras, ésta se obtuvo por un método que consiste en arrojar en un recipiente cilíndrico la muestra hasta que se derrame, luego se aparta lo sobrante y se pesa lo que queda dentro del cilindro. Este recipiente es especial para la obtención de la densidad de sólidos, está calibrado con un factor de conversión entre la masa que pueda quedar retenida en el y su volumen, el cual permite multiplicar la masa reportada por 1,8454. Los valores de las masas de las muestras se arrojan en la tabla 3.12.

Para la primera muestra de maíz el valor de la densidad fue:

$$\rho = 328,49 \times 1,8454 = 606,20 \text{ kg}/m^3$$

El resto de las densidades se encuentran en la tabla A.37

Para la primera densidad del maíz la masa fue:

$$\rho = \frac{m}{V_{vac}} \Rightarrow m = \rho \times V_{vac} \quad (\text{Ec.3.14})$$

Donde:

ρ = densidad (kg/m³)

m= masa (kg)

$$m = 606,20 \text{ kg/m}^3 \times 0,726 \text{ m}^3 = 440,30 \text{ kg}$$

Los resultados para altura de vaciado, volumen de vaciado y masa molida para el resto de las muestras se encuentran en las tablas A.38.

Con el tiempo de cada corrida llevado a horas que es igual a 0,083h se calculó el flujo de alimentación al molino, y considerando la muestra 1 de maíz:

$$m^0 = \frac{m}{t} \quad (\text{Ec.3.15})$$

Donde:

m^0 = flujo másico (kg/h)

t= tiempo (h)

$$m^0 = \frac{440,30 \text{ kg}}{0,083 \text{ h}} = 5.285,73 \text{ kg/h}$$

El flujo másico para el resto de las muestras se encuentra en la tabla 4.21.

Para seguir estudiando cómo afectan los cambios en el amperaje del motor a los parámetros de molienda. Con la cantidad de energía consumida en cada variación del amperaje o la potencia de entrada, que se calculó en la sección 3.3, y cuyos resultados se muestran en las tablas 4.17 y A.35, se determinó, lo que cuesta cada kWh consumido.

Con una factura de consumo eléctrico facilitada por el departamento de cuentas por pagar, se supo el costo actual en BsF del kWh en la planta. Esta factura se puede apreciar en el anexo D.3. Y a partir de las tablas 4.17 y A.35 se calculó la potencia de entrada en kWatt, ya que ésta se encuentra en Watt en dichas tablas, luego con el tiempo en cada corrida, que como se dijo anteriormente fue de 5 min (0,083 h), se obtuvieron los kWh, seguidamente se multiplicó por lo que cuesta cada kWh y se obtuvo la cantidad de dinero por hora según la energía consumida en cada amperaje suministrado, tanto para molienda gruesa como para molienda fina.

Para llevar la potencia de entrada a kWatt se tomará como muestra de cálculo la potencia de entrada para la primera corrida de molienda gruesa:

$$P_{ent}(kWatt) = \frac{P_{ent}(Watt) \times 1000}{1000} = 118,40610 \text{ kWatt} \quad (\text{Ec.3.16})$$

Con la potencia de entrada, se determinó la cantidad de energía consumida por hora, y para la misma corrida fue:

$$P_{enz}(kWh) = \frac{P_{ent}(kWatt)}{t} \quad (\text{Ec.3.17})$$

$$P_{enz}(kWh) = \frac{118,40610kWatt}{0,083h} = 1.421,44kWh$$

Posteriormente por factor de conversión se obtuvo la cantidad de dinero por energía consumida:

$$1.421,44kWh \times \frac{0,037153Bs}{1kWh} = 52,8108Bs$$

El resto de los resultados obtenidos para todas las demás corridas se pueden apreciar en las tablas 4.22 y A.39.

Seguidamente se calculó la capacidad total que poseían los tanques de almacenamiento de maíz y sorgo, para obtener con el flujo de alimentación, el tiempo de vaciado de un taque y cuanta energía necesita para vaciarse.

Para saber la capacidad total que poseían los tanques fue necesario obtener sus dimensiones. Los tanques son cilíndricos pero en la parte inferior poseen un pequeño cono, lo que implica que el volumen de los mismos es la sumatoria entre el volumen de la parte cilíndrica y el cono. Las dimensiones de cada uno de los tanques se muestran en la tabla 3.13. Cabe destacar que los tanques de premolienda se denominan 101, 102 y 133, en este último se almacena maíz y en los otros dos sorgo y soya (cuando la soya es granulada). Los tanques 101 y 102 poseen las mismas dimensiones.

Para el tanque 133 el volumen del cilindro partiendo de la ecuación 3.13:

$$V_{cil} = \pi \times r^2 \times h$$

Donde:

π : pi 3,1416

r: radio del tanque (m)

h: altura del tanque (m)

Tabla 3.13 Dimensiones de los tanques de premolienda

Tanque 133				Tanques 101 y 102			
Cilindro		Cono		Cilindro		Cono	
h (m)	D (m)	h (m)	d (m)	h (m)	D (m)	h (m)	d (m)
12,20	3,40	3,00	0,60	13,30	3,40	1,90	0,60

h: altura (m)

D: diámetro del cilindro y diámetro mayor del cono (m)

d: diámetro menor del cono (m)

Y su radio:

$$D = 2 \times R \Rightarrow R = \frac{D}{2} = \frac{3,40m}{2} = 1,70m \quad (\text{Ec.3.18})$$

Donde:

D:diámetro (m)

R:radio (m)

$$V_{cil} = \pi \times (1,70m)^2 \times 12,20m = 110,77m^3$$

Ahora el volumen de cono, considerando un cono truncado:

$$V_{cono} = \frac{1}{3} \pi \times h \times (R^2 + r^2 + R \times r) \quad (\text{Ec.3.19})$$

Donde:

h: altura del tanque (m)

R: radio mayor (m)

r: radio menor (m).

El radio menor del cono es según la ecuación 3.18:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{0,60m}{2} = 0,30m$$

El volumen del cono es:

$$V_{cono} = \frac{1}{3} \pi \times 3m \times ((1,70m)^2 + (0,30m)^2 + 1,70 \times 0,30) = 10,96m^3$$

Ahora bien el volumen total del tanque fue:

$$V_{tanque} = V_{cono} + V_{cilindro}$$

(Ec.3.20)

$$V_{tanque} = 10,96m^3 + 110,77m^3 = 121,73m^3$$

Considerando una densidad promedio para el maíz, calculada entre todas las densidades obtenidas en cada corrida para molienda gruesa, se obtuvo la capacidad del tanque. Y la densidad promedio fue:

$$\rho_{prom\ maiz} = 608,68 \text{ kg/m}^3$$

A partir de la ecuación 3.14 se tiene:

$$m = \rho \times V_{tanque}$$

$$m = 608,68 \text{ kg/m}^3 \times 121,73m^3 = 74.094,98kg$$

Este mismo procedimiento se usó para calcular el volumen y la capacidad de los tanques 101 y 102 y los resultados se muestran en la tabla 4.23. Las densidades promedio para el maíz y el sorgo se encuentran en la tabla A.40.

Posteriormente se calculó el tiempo de vaciado de los tanques, aplicando factor de conversión a partir del flujo másico de alimentación en cada corrida, extrayendo los datos de la tabla 4.21. Para el maíz en su primera corrida a 80 Amp se tuvo:

$$74,094,98kg \times \frac{1h}{5,285,7309kg} = 14,0179h$$

Luego de esto se calculó la cantidad de energía en kW que se consumiría si se vacía todo el tanque suministrando una corriente específica, esto también se hizo por factor de conversión partiendo de los kWh que se calcularon en cada corrida y se encuentran en las tablas 4.22 y A.39. Para la primera corrida del maíz se tuvo:

$$14,0179h \times \frac{1,421,44kW}{1h} = 19,925,66kW$$

Las mismas consideraciones se tomaron para determinar la cantidad de dinero que tendría que pagar la planta si se vacía todo el tanque suministrando un amperaje determinado, tomando como base la cantidad de dinero por hora calculado en cada corrida, presente también en las tablas 4.22 y A.39, para el tiempo de vaciado que se acaba de calcular la cantidad de dinero equivalente fue:

$$14,0179h \times \frac{52,8108Bs}{1h} = 740,298Bs$$

El tiempo de vaciado, los kW en ese tiempo y el dinero que se debería pagar para vaciar un tanque, para las demás corridas se muestran en las tablas 4.24 y A.41.

Posteriormente se analizaron las muestras recolectadas en cada corrida para conocer la distribución granulométrica y el diámetro medio de partículas por masa y verificar como variaban estos parámetros con el amperaje suministrado. Las cantidades de masa retenidas en cada tamiz se muestran en las tablas 3.14 y A.42.

Se calculó el porcentaje de masa retenido en cada tamiz de la misma manera que se explicó en la sección 3.2 al igual que el diámetro geométrico promedio de las partículas en cada muestra y su respectiva desviación estándar, los resultados de estos cálculos se pueden apreciar en las tablas 4.25, 4.26, A.43 y A.44.

Tabla 3.14 Cantidad de masa retenida en cada tamiz para las muestras de molienda gruesa con maíz

Corriente asignada (Amp)	Masa contenida en cada tamiz (g)					Total (g)
	Malla 7	Malla 10	Malla 16	Malla 20	Bandeja	
80	11,57	23,06	61,72	55,82	147,22	299,39
80	12,20	27,71	61,27	56,69	141,57	299,44
100	13,66	24,35	61,70	62,90	140,39	303,00
100	12,97	24,25	65,78	65,10	133,70	301,80
120	15,33	26,30	66,32	58,77	133,28	300,00
120	15,41	28,41	71,69	58,46	128,13	302,10
140	18,27	30,00	69,78	52,25	128,20	298,50
140	15,42	28,11	70,92	53,58	133,77	301,80
160	19,30	38,70	72,70	47,75	121,25	299,70
160	18,65	32,20	76,29	53,21	119,49	299,84
180	22,66	35,27	72,82	51,86	118,89	301,50
180	19,80	31,51	73,03	53,83	124,75	302,92

Para verificar si la velocidad tangencial variaba con cada intensidad de corriente asignada al motor, esta se calculó para cada corrida a partir de la ecuación 2.8

$$V_{tg} = \omega \times r \quad (\text{Ec.2.8})$$

Como era necesario saber la velocidad angular, se midió en cada corrida y los datos obtenidos se encuentran en las tablas 3.15.

Además el radio del molino también se tuvo que calcular, ya que este no se podía medir fácilmente. El molino en su ensamblaje posee un eje (ver figura 3.4), donde se encuentran los agujeros para cada perno. Dicho eje posee en el centro un cilindro macizo cuyo perímetro es de 48 cm, como se necesitaba el radio de esa circunferencia con la ecuación del perímetro se obtuvo el diámetro, y luego con este el radio.

$$P = d \times \pi \Rightarrow d = \frac{P}{\pi} \quad (\text{Ec.3.21})$$

Donde:

P: perímetro

$$d = \frac{48,00\text{cm}}{\pi} = 15,28\text{cm}$$

Tabla 3.15 Velocidad angular para los ensayos con maíz y sorgo, con un montaje de martillos para molienda fina

Corriente asignada (Amp)	Velocidad angular (rpm)	
	Maíz	Sorgo
80	1.783	1.789
80	1.803	1.793
100	1.794	1.795
100	1.792	1.794
120	1.793	1.794
120	1.786	1.790
140	1.792	1.791
140	1.792	1.791
160	1.792	1.793
160	1.791	1.792
180	1.790	1.785
180	1.788	1.786

Ahora el radio a partir de la ecuación 3.18:

$$D_{ist\ 1} = r = \frac{D}{2} = \frac{15,28cm}{2} = 7,64cm$$

Se considerará este radio como la distancia 1

Después se midió la distancia desde el punto donde termina el cilindro hasta el extremo del eje (ver figura 3.4), y esta se denominó distancia 2:

$$D_{ist\ 2} = 35,00\ cm$$

Por último se midió la distancia del extremo del eje a la punta del martillo (ver figura 3.4), y se consideró como la distancia 3:

$$D_{ist\ 3} = 14,00cm$$

Es importante señalar que los martillos estaban ubicados el en perno más cercano a la malla para una posición de molienda fina. La suma de estas 3 distancias representa el radio:

$$r = D_{ist\ 1} + D_{ist\ 2} + D_{ist\ 3} \tag{Ec.3.22}$$

$$r = (7,64 + 35,00 + 14,00)\ cm = 56,64cm = 0,5664m$$

En la figura 3.4 se pueden apreciar mejor estas distancias.

Entonces la velocidad tangencial para la primera corrida con maíz fue:

$$V_{tg} = 0,5664m \times 1.783rpm = 1009,89 \text{ m}/\text{min}$$

El resto de los valores se encuentra en la tabla 4.27

Además se midieron las revoluciones sin material cayendo al molino, para estudiar posibles cambios en la velocidad angular y por ende en la tangencial, estos resultados se muestran en la tabla 4.28.

También se calculó la velocidad tangencial luego que los martillos se cambiaran de ubicación (después que se desgastaron), y pasaron de estar en posición de molienda fina para estar en posición de molienda gruesa. En este caso el radio varió, puesto que los martillos ahora estaban más lejos de la malla. Y de las distancias antes mencionadas para calcular el radio, sólo varió la 3, que fue:

$$D_{\text{rect } 3} = 13,00 \text{ cm}$$

El nuevo radio se obtuvo a partir de la ecuación 3.22

$$r = (7,64 + 35,00 + 13,00) \text{ cm} = 55,64 \text{ cm} = 0,5564 \text{ m}$$

Los valores de las revoluciones por minuto en este caso se pueden apreciar en la tabla 3.16

Tabla 3.16 Velocidad angular para los ensayos con maíz y sorgo, con un montaje de martillos para molienda gruesa

Corriente asignada (Amp)	Velocidad angular (rpm)	
	Maíz	Sorgo
80	1.784	1.790
80	1.803	1.793
100	1.793	1.795
100	1.792	1.794
120	1.794	1.794
120	1.785	1.791
140	1.792	1.791
140	1.793	1.792
160	1.792	1.793
160	1.791	1.792
180	1.790	1.786
180	1.789	1.786

La velocidad tangencial se calculó de la misma manera antes explicada para todas las corridas, y los resultados se encuentran en la tabla 4.29. Además en este caso también se midieron las revoluciones sin material cayendo al molino, para estudiar posibles

cambios en la velocidad angular y por ende en la tangencial, estos resultados se muestran en la tabla 4.30.

Para verificar si existía presión negativa y cuál es el flujo de aire más indicado, se abrieron las ventanillas de molino durante los ensayos realizados, y se observó que en vez de succión había mucha expulsión de polvo del molino hacia afuera, esto se presentó para todas las corridas. En vista de lo explicado, no se pudieron obtener experimentalmente estos valores, sin embargo se calcularon los teóricos.

Como regla general, se aplica que el área de la malla en dm^2 dividida entre dos es igual al flujo volumétrico de aire m^3/min , o lo que es lo mismo:

$$V_{aire} \left(\frac{m^3}{min} \right) = \frac{A_{malla}(dm^2)}{2} \quad (Ec.2.1)$$

Como las mallas del molino son rectangulares su área se reduce a calcular el área de un rectángulo, las dimensiones de las mallas son 15,85x7,60 dm y su área:

$$A = L_1 \times L_2 \quad (Ec.3.23)$$

$$A_{malla} = 15,85dm \times 7,60 dm = 120,46dm^2$$

Entonces el volumen de aire requerido es:

$$V_{aire} = \frac{120,46dm^2}{2} = 60,23 m^3/min$$

Para obtener la presión negativa necesaria se necesitan de 12 a 15 mbar para molinos de martillos y de 10 a 15 mbar para superar la resistencia del filtro. Por lo tanto el ventilador debe generar 25 a 30 mbar de presión negativa que equivale a: la resistencia del molino de martillos + resistencia del filtro + la posible resistencia de los conductos).

3.5 PROPUESTA PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MOLIENDA

Durante esta etapa del proyecto, primeramente fue necesario estudiar la posición actual del sistema, ya que para poder proponer una nueva ubicación era necesario analizar bien los lugares en donde están ubicados los equipos actualmente, y así seleccionar el sitio más eficiente y que al mismo tiempo permitiera efectuar operaciones con mayor facilidad, usar menos equipos y además mejorar el proceso de trituración de la materia prima.

Para realizar las propuestas de reubicación se usó el simulador Autodesk Inventor 2011, que es un producto que ofrece un conjunto amplio y flexible de software para el

diseño mecánico en 3D, simulación de productos, herramientas de creación, diseño y comunicación.

El primer esbozo realizado fue un esquema representativo de todo el sistema actual, donde se muestra el recorrido del material desde que sale de los tanques de premolienda hasta llegar a su posterior almacenamiento una vez triturado.

El sistema actual funciona por medio de un recorrido que empieza en los tanques 101, 102, y 133 (ver figura C.1), donde se retiene la materia prima, que es trasladada posteriormente por los transportadores si fin 40 y 44, desalojándola a través de unos ductos a el elevador de canjilones M50, encargado de subir el grano y depositarlo en un pequeño tanque, denominado pulmón alimentador 194 (ver figura C.2), donde se mantiene almacenado temporalmente el grano, es importante resaltar que al lado de este tanque hay otro idéntico que no está en uso (ver figura C.3), el cual servía de almacenador temporal para un molino que fue eliminado del sistema actual.

Luego que el producto sale de los pulmones pasa posteriormente por un retenedor de metales (ver figura C.4), que capta las partículas metálicas que pudiera traer el producto a moler, dejándolo pasar libre hacia el molino marca Champi3n (ver figura C.5), que tiene la finalidad de fracturar los cereales hasta convertirlos en gránulos más pequeños. El exceso de polvo provocado por el quebrantamiento del grano es absorbido por un dispositivo encargado de separar las partículas s3lidas dispersas en los gases mediante un medio poroso, denominado filtro de mangas (ver figura C.6), el cual est3 ubicado a la descarga del molino. Cuando el material sale del triturador pasa por una serie de transportadores (7B y 7A) y una tolva (ver figura C.7) que pertenec3a al antiguo molino ya mencionado.

En la figuras 3.5 se puede apreciar un diagrama de flujo del sistema actual donde se ilustran todos los equipos antes mencionados y se parec3a el recorrido de la materia prima.

Como se mencion3 anteriormente este sistema posee partes pertenecientes a un molino que fue eliminado, ya que, el sistema estaba conformado principalmente por 2 molinos, se retir3 unos de ellos pero quedaron instalados los equipos que trasladaban la materia prima hasta el, ocupando un espacio innecesario. Unido a esto el proceso que traslada los granos hasta el molino Champion, posee una numerosa cantidad de equipos que hacen del traslado de la materia prima un largo recorrido, tardando mucho tiempo para llegar al proceso de quebrantamiento y almacenamiento.

La figura C.1 muestra los tanques de almacenamiento de los cereales enteros, a la izquierda de esta el tanque 133, y a la derecha los tanques 101 y 102 uno al lado del otro. La figura C.2 ilustra el pulm3n alimentador del molino, y en la figura C.3 se puede apreciar el pulm3n que no est3 en uso. En las figuras C.4, C.5 y C.6 se pueden apreciar el im3n retenedor de metales el molino de martillos y el filtro de mangas. En la figura C.7 se observa la tolva que pertenec3a al molino retirado, a trav3s de la cual pasa el material molido, ya que esta es la conexi3n entre el transportador 7B y 7A, en esta figura tambi3n se puede observar el transportador 7A.

Además en la figura 4.8 se aprecia este sistema con una vista en perspectiva del esquema realizado en el simulador inventor 2011 en 3D y de la figura B.22 a la B.26 se pueden apreciar las vistas frontal lateral, aérea y en perspectiva desde 2 puntos de vista distintos al señalado en la figura 4.8, donde se ilustran todos los equipos pertenecientes al sistema.

Luego de haber estudiado la ubicación actual de los equipos pertenecientes al sistema de molienda se propuso la reubicación, con dos (2) propuestas en las que se eliminan unos equipos, se cambian otros de posición, y se colocan algunos nuevos.

Con la remodelación del sistema de molienda se pretende una nueva ubicación del molino con respecto al filtro de mangas, con el fin de que este quede lo más cerca posible del molino, para mejorar el sistema de aspiración de polvo. En ambas propuestas la opción es girar el molino 90°, e instalar el transportador del filtro de mangas directamente a la tolva del molino, para esto es necesario mover el filtro junto con su transportador hasta donde está el molino para que queden en paralelo.

Otras de las cosas que tienen en común las 2 opciones es que se van a eliminar muchos de los equipos que conforman el sistema, para ser sustituidos por vías de transporte directas hacia la alimentación del molino. Entre los equipos descartados está el elevador de cangilones M50, los pulmones alimentadores, los transportadores 7A y 7B, y la tolva del molino que fue retirado.

Ahora bien en cuanto a la primera propuesta, además de eliminar todos los equipos antes mencionados, se colocó una pequeña tolva de almacenamiento temporal por encima del retenedor de metales para que cumpla la función que cumplía el pulmón, se subió un poco el tanque 133, ya que este es independiente de todos los demás, lo cual permite moverlo de su posición actual, cosa que no se puede hacer con los tanques 101 y 102 ya que ellos pertenecen a todo un sistema de tanques conectados. En la figura 3.6 se puede apreciar mejor esto.

La subida del tanque se hará con la finalidad de que este quede por encima de la nueva tolva y se pueda conectar un transportador, desde la salida del mismo al nuevo equipo de almacenamiento temporal. Como los otros tanques no se pueden mover, la mejor manera de hacer llegar el material a la tolva es conectando un transportador inclinado, desde el transportador 40 hasta la tolva.

Por otro lado, en la parte de abajo del molino solo quedaría la tolva de descarga del mismo, el transportador del filtro de mangas y un nuevo transportador conectado desde la tolva del molino hasta el ducto que va al sótano, este transportador quedará un poco inclinado, puesto que sale desde la tolva del molino que esta aproximadamente a un metro de altura hasta el piso. La figura 3.7 muestra un diagrama de flujo de esta propuesta.

En las figuras 4.11 y B.30 se puede apreciar la reubicación en perspectiva, y las figuras B.27, B.28 y B.29 muestran las vistas lateral, frontal y aérea o de planta de la misma.

Para la segunda propuesta de reubicación se planteó al igual que el caso anterior colocar una pequeña tolva encima del retenedor de metales. Además con la eliminación

de los transportadores 7A, 7B y la tolva adicional que allí se encuentra, quedó debajo del molino un espacio considerable que permitió bajarlo de unos 50 cm de la posición donde se encuentra actualmente, para que así la altura entre los tanques y la nueva tolva sea menor y se puedan colocar 2 transportadores inclinados, uno del tanque 133 a la tolva y otro del transportador 40 a la tolva.

En la parte de abajo del molino también quedaría en este caso solo la tolva de descarga del mismo, el transportador del filtro de mangas y un nuevo transportador conectado desde la tolva del molino hasta el ducto que va al sótano, este transportador quedará un poco inclinado, pero menos que el de la propuesta anterior, ya que la altura entre el molino y el piso es ahora mucho menor. En esta propuesta el tanque 133 no es movido de su posición actual. La figura 3.8 muestra el diagrama de flujo para esta opción.

En las figuras 4.12 y B.33 se observa un esquema en perspectiva de toda ésta propuesta. Y en las B.31 y B.32 las vistas lateral y aérea o de planta.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 DEFINICIÓN DE LOS INTERVALOS DE TIEMPO PARA EL CAMBIO DE LOS MARTILLOS DEL MOLINO

Para pretender predecir el comportamiento de los martillos del molino se construyeron las curvas de desgaste en función de la cantidad de producto molido, las tablas 4.1 y 4.2 muestran el desgaste y porcentaje de desgaste del martillo y la cantidad de material que se pulverizo semanalmente, los cuales eran datos necesarios para construir la curva del martillo número 1 y las tablas A.1, A.2 y A.3 para los martillos 2, 3 y 4 respectivamente. Las curvas para cada uno de los martillos se muestran en las figuras 4.1, B.1, B.2 y B.3.

Tabla 4.1 Desgaste y porcentajes de desgaste para el martillo 1

Semana	Desgaste (mm)	% Desgaste	Desgaste acum (mm)	% Desgaste acum
1	0,05	0,08	0,05	0,08
2	0,55	0,85	0,60	0,92
3	0,40	0,62	1,00	1,54
4	0,70	1,08	1,70	2,62

Tabla 4.2 Cantidad de producto molido semanalmente y su cantidad acumulativa

Semana	Maíz (kg)	Sorgo (kg)	Total (kg)	Total acum (kg)
1	502.201,00	219.862,00	722.063,00	722.063
2	224.367,00	79.856,00	304.223,00	1.026.286
3	286.769,00	107.516,00	394.285,00	1.420.571
4	236.542,00	101.395,00	337.937,00	1.758.508

Se puede observar que todos los datos obtenidos en cada una de las curvas del desgaste de los martillos se ajustan perfectamente a una curva cúbica puesto que el valor de R, (que es el factor que indica en la escala del 0 al 1 que tanto se asemeja alguna curva a una ecuación en particular), en cada uno de los casos dio 1, y las ecuaciones respectivas que representan el desgaste de cada uno de los martillos se encuentran en cada gráfica.

También se comprobó que los martillos no se gastan en la misma proporción, todo depende de su ubicación a lo largo del eje, ya que los martillos ubicados en los extremos del eje presentaron mayores desgastes que los ubicados hacia el centro, esto también se vio reflejado en las curvas de los martillos 1 y 4 que eran los ubicados a los extremos,

presentando curvas más pronunciadas, que las de los martillos 2 y 3 que representaban unas más suaves. Ésto se puede atribuir al hecho de que la alimentación al molino no es completamente uniforme, por el hecho de que ésta sea a través de un transportador de tornillo sin fin.

Al introducir el valor de 21,5 mm en cada una de las ecuaciones se obtuvo un aproximado a la cantidad de producto molido para cuando los martillos llegaron a ese desgaste, los valores sombreados en la tabla 4.3 son los considerados como los más acertados, puesto que el resto son valores negativos ó muy pequeños que apenas representan la cantidad de material que se podría moler en unos días. Observándose que para los martillos 1 y 4 la cantidad de producto procesado fue bastante similar y mayor si se compara con las obtenidas en los martillos 2 y 3 que también fueron próximas entre ellas.

Tabla 4.3 Cantidad de producto molido para el desgaste máximo del martillo, con las ecuaciones que se ajustan a las curvas de cada martillo

Producto molido	Martillo 1	Martillo 2	Martillo 3	Martillo 4
X_1	4.063.411,05	2.210.436,06	-492.411,74	3.897.098,66
X_2	218.294,48	561.448,64	2.746.205,87	-281.882,66
X_3	218.294,48	561.448,64	2.746.205,87	-281.882,66

Tomando en cuenta que los datos obtenidos fueron insuficientes para tener un buen ajuste, al llegar los martillos a su máximo desgaste, mostrándose en la tabla 4.5 las longitudes de estos una vez desgastados, se comparó si la cantidad de producto pulverizado coincidía con la obtenida en los ajustes cúbicos y como se observa en la tabla 4.4 ese valor dio mucho mayor a las obtenidas con las ecuaciones polinómicas. El hecho de que estas proyecciones no hayan dado próximas a la realidad se atribuye a que el desgaste de los martillos se alcanzó en aproximadamente 5 meses y la toma de datos solo fue en el primer mes, y tal vez si se hubieran tomado más datos las curvas hubieran tomado otra forma y por ende se ajustarían a otras ecuaciones.

También se puede decir estadísticamente hablando que una buena aproximación a la realidad se obtiene cuando el número de datos contiene todas las observaciones hipotéticamente posibles de un fenómeno determinado y limitado en un espacio y tiempo, además de que se toma en cuenta todo el universo de los datos a estudiar, es decir, que la población a estudiar debe ser representativa para el universo estudiado. Y en el caso de los martillos, no se hicieron todas las observaciones hipotéticamente posibles, el tiempo de estudio fue mucho más pequeño que el tiempo en el que ocurrió el fenómeno, y la población no fue suficientemente representativa.

Es importante señalar que el total mostrado en la tabla 4.4 pudo haber sido mayor, ya que, cuando al molino se escapó la pieza metálica se desgastaron considerablemente

los martillos y este impacto fue más de una vez, porque aunque ya no se medían las longitudes de los martillos semanalmente, estos se observaban periódicamente para percibir su desgaste y en esas observaciones se encontró que en otras oportunidades fue impactado por piezas metálicas. Estas piezas causan desgastes considerables en el martillo, ya que ellos no fueron diseñados para pulverizar ese tipo de material. Este desgaste ocasiona una disminución en la longitud útil para la pulverización de maíz, sorgo y soya que son menos abrasivos y los que determinan las condiciones operacionales del molino.

Tabla 4.4 Cantidad total de producto pulverizado en cada periodo

Períodos	Producto molido
17/09/10 al 30/09/10	1.026.286,00
01/10/10 al 31/10/10	2.111.931,00
01/11/10 al 30/11/10	2.222.825,00
01/12/10 al 31/12/10	2.610.757,00
01/01/11 al 31/01/11	1.868.651,00
01/02/11 al 15/02/11	1.156.339,43
27/01/11 al 15/02/11	640.042,11
Total	11.636.831,54

Tabla 4.5 Desgaste y porcentaje de desgaste para los martillos desgastados

Martillo	Desgaste	% Desgaste
1	22,20	34,16
2	26,45	40,69
3	19,80	30,46
4	32,75	50,38

Para futuras consideraciones se recomienda la instalación de un sistema automatizado de retención de metales, con controladores que limpien la superficie del imán automáticamente, cuando el espesor de las piezas retenidas sea suficientemente grueso. El sistema actual de retención de metales es manual y si no se limpia el imán periódicamente se escapan los cuerpos, ocasionando deformaciones, que son desfavorables para el equipo, ya que disminuyen el tiempo de vida útil del martillo y por ende la cantidad de producto que pueda llegar a moler. Como solución inmediata y económica, se recomienda tener un seguimiento muy minucioso del sistema actual de retención de metales, para evitar que el imán deje escapar cuerpos hacia el molino.

En vista de que se no se obtuvo una buena proyección real del desgaste de los martillos por la insuficiencia de datos, y siempre es recomendable evaluar las condiciones extremas de operación, se hizo el ajuste para una cantidad de producto molido promedio y el desgaste máximo que presento uno de los martillos, que como se

dijo anteriormente fue el martillo 4 con un desgaste de 0,85 mm. Esta consideración se hizo para intentar predecir de manera ideal, el comportamiento de los martillos y verificar si coincide con los resultados obtenidos en la realidad.

Se tomo como valor referencial para el desgaste la condición extrema de operación, ya que esta condición es la que limita el proceso, es decir, si uno de los martillos llega a la cantidad máxima de desgaste, es motivo suficiente para que se deje de usar ese lado de los mismos aunque el resto de ellos todavía permitan mas desgaste, porque si se espera que los martillos que aceptan desgaste lleguen al valor máximo, para ese entonces ya el martillo que se desgastó en un principio está excesivamente desgastado pudiendo afectar las condiciones operacionales posteriormente.

Las tabla 4.6 muestra la cantidad molida por períodos, una cantidad en promedio diaria y una semanal y la tabla 4.7 el desgaste acumulativo del martillo y la cantidad de producto molido acumulada semanalmente partiendo de la promedio que se muestra en la tabla 4.6. Esta tabla muestra los valores necesarios para construir la curva representada en la figura 4.2. En vista de que se tomaron consideraciones ideales, ya que el desgaste no es el mismo semana a semana ni se muele la misma cantidad de producto semanalmente, el incremento en los puntos de la curva fue proporcional, y es lógico esperar que la curva represente una línea recta.

Tabla 4.6 Cantidad de producto molido promedio

Período	Cantidad molida por período (kg)	Cantidad diaria (kg)	Cantidad semanal (kg)
01/10/10 al 31/10/10	2.111.931,00	70.397,70	492.783,90
01/11/10 al 30/11/10	2.222.825,00	74.094,17	518.659,17
01/12/10 al 31/12/10	2.610.757,00	87.025,233	609.176,63
01/01/11 al 31/01/11	1.868.651,00	62.288,37	436.018,57
		Cantidad semanal promedio	514.159,57

A pesar de las consideraciones hechas los resultados no se alejan tanto de la realidad porque se puede observar que para alcanzar un desgaste de 21,5 mm, según la proyección de esta curva, es necesario moler entre 25 y 26 semanas, que equivalen aproximadamente a 6 meses, y puesto que en los datos el valor de 21,5 mm está entre las semanas 25 y 26 fue necesario hacer una interpolación, para saber cuánta cantidad de materia prima corresponde con este valor y el resultado de esa interpolación resultó 13.005.212,57 kg.

Si se compara la cantidad de materia prima real que se pudo moler hasta alcanzar el desgaste de los martillos y la que se obtuvo en esta proyección ideal se ve que hay una diferencia de 1.368.381,03 kg y si además se compara con el tiempo que resultó 5 y 6 meses respectivamente, se puede decir que la proyección fue bastante buena, a pesar de que la cantidad molida es considerable y en cuanto a tiempo se habla de 30 días,

pero como se dijo anteriormente los martillos sufrieron varias deformaciones y desgastes considerables por piezas metálicas, las cuales disminuyeron la cantidad de maíz y sorgo que se pudo haber molido, y en el caso hipotético de que este problema operacional no se presentara, tal vez los martillos hubieran podido moler mas o menos esa cantidad de material que equivale aproximadamente a lo que se muele en un mes.

El cálculo de la relación precio kilogramo se hizo con la finalidad de obtener una aproximación de lo que cuesta un juego de martillos por kilogramo molido, y como se pudo observar en el cálculo realizado en la sección 3.1, tanto en el caso ideal como en el real estos valores fueron muy pequeños. Y aun, cuando esta aproximación es bastante hipotética, ya que los martillos no se gastan exactamente en la misma proporción ni durante el mismo período de tiempo en cada cambio, permite obtener un aproximado que se puede tomar como punto de referencia para futuros análisis económicos.

Por último se tiene que según todos los resultados obtenidos un juego de martillos permite usar uno de sus lados por un período de 5 meses aproximadamente, período que podría ser mayor, posiblemente de un mes más, dependiendo de la cantidad de producto molido en ese tiempo y del seguimiento que se le tenga a los martillos. Además como los martillos usados en la planta permiten 4 cambios para usarse por los 4 costados de impacto se puede decir que un juego de martillos pudiera pulverizar durante 2 años aproximadamente.

4.2 DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS PRODUCTOS MOLIDOS

La distribución del tamaño de las partículas es un factor importante que se debe tomar en cuenta en el proceso de molienda. Y en el caso de la pulverización para fabricación de alimentos, no se trata simplemente de moler más fino, puesto que moler en exceso es un desperdicio de energía, ya que reducen las tasas de producción, aumentan los costos de fabricación y los alimentos elaborados de esta forma le hacen más mal que bien al animal que lo consume. Por este motivo debe existir un equilibrio en la distribución del tamaño de las partículas.

Este análisis persiguió contrastar los resultados obtenidos con los tamaños de partícula recomendados en la industria de la producción de alimentos para animales. Para el caso de alimentos Super S los estándares para molienda gruesa y fina se encuentran en el anexo C.1, como se dijo anteriormente estos estándares están basados en estudios nutricionales que determinaron la influencia de un determinado tamaño de partícula en la digestión de los animales y en la granulación del alimento. Durante esta discusión siempre se pretenderá comparar los resultados obtenidos con estos parámetros establecidos, ya que en todos los casos fueron los resultados esperados.

Las tablas 4.8, 4.9, 4.10, A.5 y A.6, muestran los porcentajes de masa retenidos y que pasan el tamiz, además del diámetro medio de cada tamiz, información necesaria para la construcción de las gráficas de distribución diferencial y acumulativo, para las muestras de maíz y sorgo analizadas.

Tabla 4.8 Porcentaje de masa retenido en cada tamiz para las muestras de molienda fina con sorgo

Muestra N°	% Masa retenido en cada tamiz				
	Malla 7	Malla 10	Malla 16	Malla 20	Bandeja
1	1,900	1,730	12,280	23,24	60,850
2	2,892	3,477	18,069	26,63	48,937
3	2,401	3,401	19,264	27,52	47,419
4	2,130	3,659	16,357	22,26	55,599
5	2,004	3,938	20,608	27,73	45,719
6	0,231	0,652	7,128	20,58	71,409
7	0,231	1,363	16,891	25,90	55,613
8	0,151	0,753	14,895	28,29	55,907
9	0,251	0,863	14,403	37,02	47,466
10	0,752	1,203	9,783	20,12	68,147

Las tablas 4.11 y 4.12 también muestran los porcentajes de masa retenidos y que pasan cada tamiz y el diámetro medio de los tamices, pero en este caso es para los estándares de molienda fina y gruesa. Estos datos sirvieron para construir las figuras 4.3 y 4.4 donde se muestran las distribuciones acumulativa y diferencial de los tamaños de las partículas para estos parámetros, con curvas suavemente trazadas. Estas figuras y tablas servirán de referencia para el análisis granulométrico de las posteriores muestras.

Tabla 4.9 Porcentaje de masa que pasa cada tamiz para las muestras de molienda fina con sorgo

Muestra N°	% Masa que pasa cada tamiz				
	Malla 7	Malla 10	Malla 16	Malla 20	Bandeja
1	98,10	96,37	84,09	60,85	0,00
2	97,11	93,63	75,56	48,94	0,00
3	97,60	94,20	74,93	47,42	0,00
4	97,87	94,21	77,85	55,60	0,00
5	98,00	94,06	73,45	45,72	0,00
6	99,77	99,12	91,99	71,41	0,00
7	99,77	98,41	81,52	55,61	0,00

8	99,85	99,10	84,20	55,91	0,00
9	99,75	98,89	84,48	47,47	0,00
10	99,25	98,05	88,26	68,15	0,00

Tabla 4.10 Diámetro medio aritmético para cada uno de los tamices

Malla	Diámetro del tamiz (μm)	Diámetro medio (μm)
7	2.800	*3.075
10	2.000	2.400
16	1.180	1.590
20	850	1.015
Bandeja	0	425

*se asumió como tamiz superior el de malla 6

Tabla 4.11 Porcentaje de masa retenida y porcentaje que pasa cada tamiz para los estándares de molienda fina

Malla	Diámetro del tamiz (μm)	Diámetro medio arit (μm)	% Retenido en el tamiz	% Pasa el tamiz
7	2.800	3.075	0	100
10	2.000	2.400	0	100
16	1.180	1.590	10	90
20	850	1.015	25	65
Bandeja	0	425	65	0

Diámetro medio arit: diámetro medio aritmético

En el caso de la molienda fina lo que se busca es que la mayor concentración de partículas queden en la bandeja, y que en los tamices de mallas 7 y 10 no se retenga nada de material, puesto que estos tamices poseen aberturas por las que puede pasar un sorgo entero y lo menos que se busca es que las partículas salgan enteras, porque de lo contrario no valdría la pena la trituration de este cereal.

En la curva de distribución diferencial de la figura 4.3 se puede apreciar un pico bastante elevado y pronunciado, que representa la gran cantidad de material que se espera la bandeja, y una caída brusca hasta cero que indica los porcentajes iguales a cero que se esperan en los tamices de aberturas mayores.

Por otra parte para el caso de la molienda gruesa, se pretende que el material se retenga en mayor proporción en los tamices de malla 10 y 16, ya que son tamices con

aberturas medianamente grandes y en este caso lo que se quiere es que las partículas no queden tan desmenuzadas.

También se aprecia en la figura 4.4 que para la molienda gruesa el pico no es tan pronunciado como en el caso de la figura 4.3, ya que la mayor cantidad de producto esperado se encuentra distribuido en los tamices de malla 10 y 16, sin embargo en la zona que corresponde a la abertura de estos tamices se aprecia el área más elevada de la curva de distribución diferencial.

En principio, los métodos basados en el análisis acumulativo son más precisos que los basados en el análisis diferencial, ya que cuando se utiliza el primero no es preciso suponer que todas las partículas de una sola fracción son de igual tamaño. Por otro lado las curvas de distribución acumulativa arrojan información importante, relativa a las diferencias en los tamaños de las partículas para cada tipo de muestra. Por ejemplo para los parámetros estandarizados de molienda fina, se puede identificar gráficamente que el 40% de la masa quedaría retenido en un tamiz con una abertura aproximada de 750 μm , y en el caso de la molienda gruesa, el mismo porcentaje se podría quedar retenido, en un tamiz de aproximadamente 1.470 μm .

Sin embargo, la exactitud de las medidas de tamaño de las partículas raramente es suficientemente grande como para justificar el uso del análisis acumulativo, y los análisis casi siempre se basan en el análisis diferencial, es por esto que en desarrollo de este proyecto se compararan todos los resultados basándose en el análisis diferencial, además de que en la planta este es el que toman como punto de referencia.

Tabla 4.12 Porcentaje de masa retenida y porcentaje que pasa cada tamiz para los estándares de molienda gruesa

Malla	Diámetro del tamiz (μm)	Diámetro medio arit (μm)	% Retenido en el tamiz	% Pasa el tamiz
7	2.800	3.075	5	95
10	2.000	2.400	35	60
16	1.180	1.590	30	30
20	850	1.015	15	15
Bandeja	0	425	15	0

La figura 4.5 muestra la distribución diferencial y acumulativa para la muestra 1 de sorgo, las graficas para el resto de las muestras de molienda fina, se encuentran en las figuras que están desde la B.4 a la B.12. Es importante resaltar que aunque en estas gráficas se observe a simple vista un comportamiento similar en todas ellas, existen variaciones relevantes que influyen en los resultados obtenidos del alimento fabricado. Para detallar más estas variaciones se puede observar en la tabla 4.8 que para las primeras 5 muestras se obtuvieron porcentajes de retención que van desde 1,730% hasta 3,938% en los tamices donde el porcentaje debería ser cero, es decir los de malla 7 y 10.

Estos altos porcentajes de retención en los tamices de mayor abertura se debían, a que el diámetro de apertura de las mallas que se usaban en el molino para ese entonces en la molienda fina era de 3 mm por el área de impacto y 4 mm por el de desalajo aproximadamente. Este diámetro permitía que el sorgo entero se escapara entre las mallas, ya que el sorgo es un cereal bastante pequeño y el diámetro de abertura de las mallas era suficientemente grande para que este pasara sin muchas complicaciones.

Todo esto traía como consecuencia la producción de alimentos fuera de especificación, tanto para los que se fabrican en forma de polvo como para los granulados. En el caso de los alimentos en forma de polvo está contraindicado obtener partículas muy grandes, ya que son alimentos fabricados para animales que requieren una dieta rica en partículas pequeñas, además de que ellos tienden a ser selectivos, puesto que si consiguen partículas más grandes de las que consumen simplemente las rechazan, generando pérdidas de alimento y por ende de dinero.

Por otro lado para el alimento granulado los problemas se presentan en la peletización, ya que la partícula con la cual se va a fabricar el pelet no debe sobrepasar 1/3 del diámetro del mismo. El diámetro del pelet fabricado en la planta de alimentos Super S es de 4,7625 mm y la materia prima con la que se fabrica este, no debería tener un diámetro mayor a 1,5875 mm, el diámetro aproximado de un sorgo entero está entre 2,3 y 2,7 mm, evidenciándose que es mucho mayor al requerido por el gránulo. Todo esto ocasiona que el material se vea forzado a pasar por los moldes, disminuya el tiempo de peletizado, se desgasten los moldes con mayor rapidez, aumente el la demanda de energía eléctrica por parte del equipo y disminuya el tiempo de vida útil del mismo, además de que se obtiene un pelet de baja calidad, ya que el exceso de partículas gruesas, sobre todo de maíz y sorgo, no permite una buena almidonización del granulo.

Como la manera más fácil de obtener una granulometría diferente es cambiando las mallas, se sustituyeron por unas de 2,5 mm de abertura en su diámetro, evidenciándose cambios considerables para las últimas 5 muestras, en los porcentajes de retención de los tamices de abertura mayor, siendo estos menores al 1%, excepto las muestras 7 y 10 con porcentajes de 1,3633 y 1,2028% ambas en el tamiz de malla 10. Se puede decir que los resultados obtenidos con el cambio de las mallas fueron bastante aceptables, ya que obtener 0% de retención en un tamiz es imposible, estas, sólo son consideraciones ideales, sin embargo sí se pueden lograr porcentajes cercanos a cero y se obtuvieron valores bastante pequeños.

En cuanto a los demás tamices se observan porcentajes de retención un poco desviados pero aceptables, salvo en algunos casos. Como las muestras 2, 3, 5 y 8 que poseían cantidades de polvo considerablemente bajas en la bandeja, en comparación con las estandarizadas, y la muestra 6 que retuvo una cantidad de polvo por encima del debido en la bandeja y muy poca en el tamiz de malla 16.

Ahora bien, se puede apreciar en la figura 4.6 la distribución diferencial y acumulativa para la muestra 1 de maíz molido, las gráficas para el resto de las muestras de molienda gruesa, se encuentran en las figuras que están desde la B.13 a la B.21. Es importante resaltar que aunque en estas gráficas se observe a simple vista un comportamiento

similar en todas ellas, existe variación con respecto a la grafica estandarizada, ya que esta última posee en la distribución diferencial un pico un poco elevado en el centro que corresponde a las partículas que quedan retenidas en los tamices de malla 10 y 16 y cae hacia los extremos, mientras que las muestras analizadas poseen el pico más elevado en uno de los extremos, el que representa las partículas más pequeñas y va cayendo a medida que el tamaño de la partícula aumenta o el diámetro del tamiz se hace más grande. Estas variaciones son bastante relevantes e influyen en los resultados obtenidos del alimento fabricado.

Todo esto se puede corroborar al observar la tabla A.8 donde se muestran los porcentajes de retención en cada uno de los tamices para todas las muestras analizadas de molienda gruesa, con porcentajes retenidos bastante altos en la bandeja, todos por encima de 35%; y bajos en los tamices de malla 10 y 16, donde se observa que entre los 2 el porcentaje retenido es aproximadamente 35%, donde debería concentrarse el 65% de la muestra. El hecho de que se presentara gran cantidad de producto en la bandeja se debe a que los martillos estaban colocados en posición de molienda fina, unido a esto el filtro de mangas, dispositivo que sirve para succionar el exceso de polvo, no estaba funcionando en las mejores condiciones, además de que su ubicación no es la más favorable (en la sección 4.5 se explica más detalladamente la influencia de la ubicación del filtro en la distribución granulométrica obtenida).

El eje del molino posee varios pernos que permiten colocar los martillos más lejos ó cerca de las mallas, la posición más lejana favorece la molienda gruesa, ya que impactan el material contra las mallas rompiéndolo en pedazos más grandes, mientras que si los martillos están más cerca de la esta, aparte de impacto existe más fricción entre los martillos y el material contra la malla, ocasionando productos más pulverizados. La distancia entre el orificio del perno y el extremo del eje entre un perno y otro es de 10 mm. En la figura 4.6 se puede apreciar esquemáticamente esta distancia, observándose que los pernos 8, 5, 6 y 7 están más cerca al extremo del eje a 60 mm de distancia y los 1, 2, 3, y 4 están más alejados con 70 mm de longitud.

Durante el tiempo en que se tomaron las muestras los martillos estaban colocados en posición de molienda fina, favoreciendo los resultados obtenidos en la cantidad de polvo para la molienda de sorgo, más no para la de maíz.

Se recomienda jugar con las posiciones de los martillos respecto a la malla, en cuanto al perno donde se ensamble, longitud de los martillos usados o con la distancia que hay del orificio del martillo al extremo del mismo, ya que todos estos son factores que influyen en la distancia entre las mallas y el martillo. Para ver si se pueden conseguir buenos resultados con un montaje en particular, tanto en la molienda fina como en la gruesa, ya que no se pueden cambiar los martillos de posición cada vez que se vaya a moler algo diferente, porque este cambio es bastante tedioso, se lleva algunas horas y en la planta se puede moler maíz y sorgo alternados, inclusive varias veces a día.

En cuanto al tamiz de abertura mayor se consiguieron porcentajes que se pueden considerar dentro de los parámetros, ya que siempre estuvieron cerca del 5% de

retención. Para las muestras en el tamiz de malla 20 se observan porcentajes de retención un poco desviados pero aceptables.

El diámetro medio de las partículas por masa, para los estándares de molienda gruesa y fina se puede apreciar en la tabla 4.14. Si se comparan estos valores con los porcentajes de retención esperados en los tamices de malla 7, 10, 16 y 20 se puede apreciar que el valor del diámetro medio está dentro del intervalo de tamices donde se espera que se concentre la mayor cantidad de materia. Lo mismo pasa con la molienda fina ya que en este caso se espera que la mayor cantidad de partículas sean muy pequeñas y pasen el tamiz de 850 μm de abertura y el diámetro medio obtenido fue mucho más pequeño que este valor.

Tabla 4.13 Diámetro medio geométrico para cada uno de los tamices

Malla	Diametro del tamiz (μm)	Diámetro medio (μm)	Log d_i
7	2.800	*3.062,68	3,4861014
10	2.000	2.366,43	3,374094
16	1.180	1.536,23	3,186456
20	850	1.001,50	3,0006505
bandeja	0	**179,72	2,2546013

*se asumió como tamiz superior el de malla 6

**se asumió como tamiz inferior el de malla 400

Tabla 4.14 Diámetro medio de las partículas por masa y desviación estándar logarítmica normal de la muestra para los estándares de molienda

Estándar	d_{gw} (μm)	S_{gw}
Molienda fina	342,22	2,4232
Molienda gruesa	1257,37	2,4008

Para el caso de las muestras analizadas, los diámetros medios de las partículas por masa se pueden apreciar en las tablas 4.15 y A.32. En las muestras de molienda fina el d_{gw} varía con respecto al calculado por los parámetros estándares, pero sigue siendo menor a 850 μm , abertura del último tamiz por el que pasa la muestra antes de llegar a la bandeja, por lo cual se puede considerar aceptable esta variación. Todo esto sigue demostrando que en las muestras predominan las partículas pequeñas que es lo que se quiere en este caso.

En cuanto a la molienda gruesa los resultados del d_{gw} para las muestras analizadas variaron mucho con respecto al d_{gw} calculado con los estándares de molienda, ya que el

valor obtenido en todos los casos fue mucho más pequeño, indicando el predominio de las partículas de menor diámetro, aunque lo esperado era que fuesen más grandes.

La explicación de estos resultados también se debe a lo dicho con las figuras 4,5 y 4,7, en cuanto a lo que se esperaba obtener y lo que se obtuvo en cada tamiz. Pero en este caso los resultados determinan cual es el diámetro de las partículas que predominan en la muestra, que representarían aproximadamente el diámetro medio de los tamices donde se retiene la mayor cantidad de material, a partir de un intervalo de diámetros entre el tamiz superior e inferior, de donde se arroje la muestra.

Pero algunas veces resulta más conveniente discutir en función a lo retenido en cada tamiz porque aunque allí se evalúen intervalos de diámetros se puede considerar lo retenido en tamices donde no se esperen grandes concentraciones de material como sucedió con las primera 5 muestras de molienda fina, y el diámetro medio de las partículas por masa sólo determina cuales son las partículas que predominan en el intervalo y en este caso no se pueden estudiar estas circunstancias.

Tabla 4.15 Diámetro medio de las partículas por masa y desviación estándar logarítmica normal de la muestra para las muestras de molienda fina

Muestras	d_{gw} (μm)	S_{gw}
1	384,75	2,6360
2	496,77	2,7828
3	509,36	2,7626
4	436,77	2,7668
5	527,59	2,7594
6	305,28	2,3316
7	420,09	2,6234
8	411,88	2,5756
9	476,14	2,5602
10	330,03	2,4664

4.3 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DEL MOLINO

La potencia de salida aún y cuando se debió obtener experimentalmente, por no poseer en la planta las condiciones necesarias para tomar esos datos, se calculó con los valores nominales de corriente y voltaje, a partir de los cuales se puede considerar como una buena aproximación, ya que la eficiencia respecto a la energía de una operación de molienda, también se puede definir como la energía que se consume en comparación con la ideal requerida y la potencia calculada con valores nominales se puede tomar como la ideal requerida, ya que un valor nominal es aquel que establece las condiciones

más favorables para que un equipo pueda trabajar a óptimas condiciones, o dicho de otra manera las condiciones ideales de operación.

El factor de potencia en alimentos Super S es igual a 0,95. Este nunca puede ser mayor a la unidad. Un factor de potencia bajo es una característica desfavorable de cualquier carga, ya que uno bajo comparado con otro alto, origina para la misma potencia una mayor demanda de corriente y la potencia aparente es mayor originando una mayor dimensión de los generadores. Las compañías suministradoras de energía eléctrica penalizan la existencia de un factor de potencia bajo. Todo esto indica que el factor de potencia que se usa en la planta es bastante aceptable.

En las tablas 4.16 y A.31 se muestra el valor del amperaje promedio, fue necesario hacer esto, ya que no se mantenía constante en ninguna de las fases ni en ninguna de las corridas, cabe destacar que el rango en el que oscilaba la corriente es bastante amplio como se puede observar en las tablas 3.7 y A.30, esto se puede deber al hecho de que la energía que llega a la planta es variante.

Un sistema trifásico balanceado es aquel en el cual los tres generadores tienen voltajes que son exactamente iguales en magnitud y desfasados 120° entre sí, y donde todas las tres cargas son iguales en magnitud y en ángulo, y como se puede mostrar en las tablas 3.7 y A.30 tanto el voltaje como el amperaje reportaban valores diferentes en cada fase, es decir no se mantuvieron constantes, esto dice que el motor no se encuentra balanceado. Es importante señalar que a pesar de que el amperaje se controla en una de las fases este no permanece constante ni en esa fase, por lo que se recomienda tener un control en cada una de ellas, puesto que el controlar una fase no va a garantizar que las demás se mantengan en el mismo rango, por ser un sistema desbalanceado.

Tabla 4.16 Corriente promedio en cada fase para molienda gruesa con maíz

Corriente asignada (Amp)	I_{prom} fase 1 (Amp)	I_{prom} fase 2 (Amp)	I_{prom} fase 3 (Amp)
80	77,0	103,0	94,0
80	74,5	102,0	99,5
100	90,5	112,5	110,5
100	99,0	118,0	112,5
120	112,5	139,0	125,5
120	109,0	140,5	126,0
140	123,0	157,0	143,5
140	123,0	166,0	145,5
160	149,0	172,0	165,5
160	150,0	173,5	166,0
180	167,0	203,0	192,5
180	168,5	192,0	191,0

Todo esto hizo necesario que se calculara la potencia en cada fase para poder obtener la potencia de entrada, mostrándose los resultados en la tabla 4.17 y A.32. En el caso hipotético de que el motor estuviera balanceado la potencia de entrada solo se calcularía multiplicando 3 veces el voltaje y el amperaje por el factor de potencia.

Con la potencia de entrada y de salida se calculó la eficiencia real en el motor cuyos resultados se muestran en la tabla 4.18. Como se puede observar a medida que aumenta la intensidad de corriente asignada, la eficiencia disminuye considerablemente, tanto así que a una corriente de 180 Amp se encuentra por debajo de 45%, esto sucedió para los ensayos realizados con molienda gruesa y para los de molienda fina. En el molino el amperaje del motor es controlado, y el valor de este va a determinar cuánto material es alimentado al triturador y cuanta energía va a consumir el motor, mientras mayor sea el amperaje asignado mayor será la cantidad de producto alimentando.

El incrementar la intensidad de corriente al molino implica que hay mas alimentación al mismo pero también se está incrementando la cantidad de energía que consume el motor, el hecho de que todo esto suceda es porque si el molino tiene que pulverizar una mayor cantidad de material, es lógico que demande más energía, porque tiene que hacer una fuerza mayor para pulverizar más producto, ocasionando que el trabajo o la cantidad de energía necesaria aumente.

Tabla 4.17 Potencias en cada fase y potencia de entrada para molienda gruesa

Corriente asignada (Amp)	P ₁ (Watt)	P ₂ (Watt)	P ₃ (Watt)	P _{ent} (Watt)
80	33.210,10	45.011,00	40.185,00	118.406,10
80	32.131,85	44.574,00	42.536,25	119.242,10
100	38.430,83	48.200,63	46.189,00	132.820,45
100	42.040,35	50.557,10	47.025,00	139.622,45
120	47.452,50	59.158,40	52.220,55	158.831,45
120	45.976,20	59.796,80	52.428,60	158.201,60
140	51.414,00	66.520,90	59.028,73	176.963,63
140	51.414,00	70.334,20	59.851,43	181.599,63
160	61.998,90	72.222,80	67.763,98	201.985,68
160	62.415,00	72.852,65	67.968,70	203.236,35
180	69.647,35	85.239,70	79.002,00	233.889,05
180	70.272,93	80.620,80	78.386,40	229.280,13

En la tabla 4.18 también se puede apreciar que la eficiencia disminuía en la misma proporción tanto para los ensayos realizados con molienda gruesa como para los hechos con molienda fina, y que estos se mantuvieron prácticamente constantes si se toma

como punto de referencia la eficiencia obtenida con determinado amperaje para un ensayo y para otro, sólo cuando la corriente asignada fue de 80 Amp se obtuvo una variación considerable de los resultados obtenidos en cada uno de los casos, siendo de aproximadamente 7%. Todo esto lleva a la conclusión que el material que se alimente al molino no influye en la eficiencia obtenida.

Para comparar con la eficiencia obtenida experimentalmente se calculó una eficiencia ideal, asumiendo un sistema balanceado, donde la corriente es igual a la controlada y el voltaje es el nominal, en la tabla 4.19 se muestran los resultados de este cálculo. Como se puede observar en este caso la eficiencia también disminuye a medida que se incrementa la corriente suministrada, y comparándola con la real se puede observar que esta es menor que la ideal en todos los casos pero la diferencia entre una y otra es muy poca, a pesar de que en el caso real el motor esta desbalanceado.

También se calculó la eficiencia del motor cuando al molino no se le alimentaba material, para verificar que tanto afectaba la ausencia de este, a la eficiencia, y se obtuvo una bastante cercana al 100%, esto se debía al hecho de que los martillos del molino, solo giraban alrededor de su propio eje sin realizar ningún tipo de esfuerzo por tratar de fracturar algo, que es lo que ocasiona una mayor demanda de energía.

Por último y no menos importante se debe tomar en cuenta que para ayudar en la comparación de las eficiencias de los motores, NEMA posee una clasificación llamada eficiencia nominal NEMA, la cual aparece en la placa de identificación de los motores. Cabe destacar que esta eficiencia NEMA también posee una mínima garantizada para cada caso, las cuales se pueden observar en la tabla 2.1.

Tabla 4.18 Eficiencia del motor según la corriente suministrada para molienda gruesa y fina

Corriente asignada (Amp)	% Eficiencia	
	Molienda gruesa	Molienda fina
80	84,148	91,439
80	83,558	91,444
100	75,016	71,855
100	71,361	72,652
120	62,731	61,043
120	62,980	61,540
140	56,303	54,406
140	54,866	53,903
160	49,328	48,070
160	49,025	48,323
180	42,600	41,496
180	43,456	42,533

Tabla 4.19 Eficiencia ideal

Corriente (Amp)	Potencia de entrada (Watt)	% Eficiencia
80	104.880	95,00
100	131.100	76,00
120	157.320	63,33
140	183.540	54,29
160	209.760	47,50
180	235.980	42,22

Tabla 4.20 Amperaje promedio potencia de entrada y eficiencia del motor cuando no hay alimentación al molino

Fase 1		Fase 2		Fase 3		P _{ent}	% Eficiencia
I _{prom} (Amp)	P ₁ (Watt)	I _{prom} (Amp)	P ₂ (Watt)	I _{prom} (Amp)	P ₃ (Watt)		
63,0	26.872,65	81,0	34.319,70	90,5	38.516,80	99.709,15	99,927

La eficiencia nominal NEMA para el motor instalado al sistema de molienda es de 94,5% y según la tabla 2.1 la mínima garantizada para este porcentaje es 93,6%, si se compara con las obtenidas durante los ensayos se puede decir que la única que se aproxima más a la mínima garantizada, es la eficiencia obtenida cuando se le asignó al molino una intensidad de corriente de 80 Amp, y que inclusive para los ensayos realizados con molienda gruesa esta se aleja todavía más.

4.4 SELECCIÓN DEL FLUJO DE ALIMENTACIÓN ADECUADO PARA EL MOLINO, DEPENDIENDO DEL TIPO DE MATERIA PRIMA

En esta etapa del proyecto se tomaron en cuenta varios factores. Primeramente se calculó el flujo másico de alimentación para saber que tanto variaba éste con cada amperaje suministrado al motor. Como se puede apreciar en la tabla 4.21 el flujo aumenta a medida que se incrementa la intensidad de corriente asignada. Esto se debe a que el sistema posee un variador de frecuencia en el alimentador del molino que aumenta la cantidad de producto que entra a este a medida que el amperaje en el motor se incrementa. Todo esto lleva a la conclusión de que si el amperaje se establece en un

valor elevado, el producto se molerá a mayor velocidad, pudiendo disponerse rápidamente de los cereales triturados, pero si por el contrario se suministra un amperaje, bajo el tiempo de molienda será mayor y por ende se requerirá de más tiempo para disponer del alimento ya pulverizado.

Como se indicó en el desarrollo del objetivo 3 la eficiencia del motor disminuye a medida que se le suministra corriente al mismo. El hecho de que todo esto suceda es porque si el molino tiene que pulverizar una mayor cantidad de material, es lógico que demande más energía, porque tiene que hacer una fuerza mayor para pulverizar más producto, ocasionando que el trabajo o la cantidad de energía necesaria aumenten. Una mayor demanda de energía implica disminución en la eficiencia del motor.

A partir de los resultados obtenidos en esa etapa del proyecto, se calculó la potencia de entrada en kWh y la cantidad de dinero que se debe pagar por kWh consumido según la carga suministrada, en las tablas 4.22 y A.35 se puede observar que la potencia por hora consumida aumenta a medida que se aumenta la alimentación al motor, lo que corrobora lo antes mencionado, pero también se puede observar que la cantidad de dinero por kWh aumenta a medida que se incrementa el consumo energético.

Ahora bien, para corroborar aun más lo antes mencionado, se calculó el tiempo de vaciado de los taques, la cantidad de energía necesaria para hacer esto y el dinero por kWh necesario. Todo esto se llevó a cabo considerando la máxima capacidad de los tanques, por ésto hubo la necesidad de calcular los volúmenes y la capacidad de los tanques de almacenamiento de premolienda, tal como se muestran en la tabla 4.23.

Tabla 4.22 Potencia en kWh y cantidad de dinero equivalente, para cada corrida, en los ensayos de molienda gruesa

Corriente asignada (Amp)	P_{ent} (Watt)	P_{ent} (kWatt)	P_{ent} (kWh)	Dinero (Bs)
80	118.406,10	118,40610	1.421,44	52,8108
80	119.242,10	119,24210	1.431,48	53,1837
100	132.820,45	132,82045	1.594,48	59,2398
100	139.622,45	139,62245	1.676,14	62,2736
120	158.831,45	158,83145	1.906,74	70,8411
120	158.201,60	158,20160	1.899,18	70,5602
140	176.963,63	176,96363	2.124,41	78,9283
140	181.599,63	181,59963	2.180,07	80,9960
160	201.985,68	201,98568	2.424,80	90,0885
160	203.236,35	203,23635	2.439,81	90,6463
180	233.889,05	233,88905	2.807,79	104,3179
180	229.280,13	229,28013	2.752,46	102,2622

Tabla 4.23 Volumen y capacidad de los tanques 101, 102 y 133

Tanque	Volumen del cono (m ³)	Volumen del cilindro (m ³)	Volumen del tanque (m ³)	Capacidad del tanque (kg)
101	6,94	120,75	127,69	71.270,17
102	6,94	120,75	127,69	71.270,17
133	10,96	110,77	121,73	74.094,98

Con la máxima capacidad de cada tanque se pudo calcular el tiempo de vaciado, la energía consumida en ese tiempo y el dinero equivalente a esa cantidad de energía y tiempo transcurrido, como se puede apreciar en las tablas 4.24 y A.37. Observándose que el tiempo de molienda es muy grande en los primeros ensayos donde se suministraron amperajes pequeños, lo que implica que tanto la cantidad de energía como el dinero por kWh aumenten considerablemente. Y aunque la energía consumida y por ende la eficiencia del motor disminuyan con la carga, el gran tiempo de molienda a flujos de alimentación bajos, hace que se consuma mucha más energía.

Por ejemplo, según como se muestra en la tabla 4.24 si se llena un tanque a 80 Amp el tiempo de molienda debería ser de 14,0179 horas y se necesitarían pagar 740,298 BsF para cubrir la demanda de energía durante todo ese tiempo, pero si se hace a 160 ó 180 Amp el tiempo de vaciado es más o menos de 2 horas y el dinero que la empresa tendría que pagar por cubrir esas demandas energéticas sería menor a 250 BsF.

Este elevado tiempo de molienda a cargas bajas se evidencia más para los ensayos con molienda fina, ocasionando que el dinero y la cantidad de energía consumida sean aun mayores.

Tabla 4.24 Tiempo de vaciado, energía consumida en ese tiempo y dinero equivalente para los ensayos con molienda gruesa

Corriente asignada (Amp)	Tiempo de vaciado (h)	Potencia de vaciado (kWatt)	Dinero de vaciado (Bs)
80	14,0179	19.925,6647	740,298
80	6,2211	8.905,3585	330,861
100	9,3362	14.886,3844	553,074
100	5,3045	8.891,0349	330,329
120	4,4609	8.505,7420	316,014
120	2,7895	5.297,7323	196,827
140	5,5785	11.850,9709	440,299
140	2,9094	6.342,7431	235,652
160	2,0516	4.974,7657	184,827
160	2,4949	6.087,0446	226,152

En la tabla 4.25 se puede apreciar que el porcentaje de masa retenido en los tamices de malla 7, 10 y 16 aumenta un poco cuando se modifica el flujo de alimentación al motor y en el tamiz de malla 20 y la bandeja disminuyen. Mientras que en los ensayos con molienda fina (tabla A.39) los resultados obtenidos poseen más o menos el mismo comportamiento en todas las corridas, por lo que se puede decir que en este caso el amperaje suministrado no afecta en gran manera la distribución granulométrica obtenida.

En cuanto a los resultados obtenidos en comparación con los estándares de la planta se observan desviaciones tanto en los ensayos de molienda gruesa como en los de molienda fina. En el caso de la molienda fina se observa un pequeño incremento en los tamices de abertura mayor, esto se debe a que las mallas ya estaban algo desgastadas para ese entonces, ya que inicialmente eran de 2,5 mm de abertura en sus diámetros y para ese momento fueron aproximadamente de 2,70 mm en el área de impacto y 2,65 mm en el de desalojo. En cuanto a la molienda fina el problema se presentó en la cantidad de masa retenida en la bandeja, explicación que se dio en detalle en el desarrollo del segundo objetivo.

Tabla 4.25 Porcentaje de masa retenido en cada tamiz para las muestras de molienda gruesa con maíz

Corriente asignada (Amp)	% Masa retenido en cada tamiz				
	Malla 7	Malla 10	Malla 16	Malla 20	Bandeja
80	3,865	7,702	20,615	18,64	49,173
80	4,074	9,254	20,461	18,93	47,278
100	4,508	8,036	20,363	20,76	46,333
100	4,298	8,035	21,796	21,57	44,301
120	5,110	8,767	22,106	19,59	44,427
120	5,101	9,404	23,731	19,35	42,413
140	6,121	10,050	23,377	17,50	42,948
140	5,109	9,314	23,499	17,75	44,324
160	6,439	12,913	24,257	15,93	40,457
160	6,220	10,739	25,444	17,75	39,851
180	7,515	11,699	24,152	17,20	39,433
180	6,536	10,402	24,108	17,77	41,183

Para el diámetro medio obtenido se puede apreciar en las tablas 4.26 y A.40 que este aumenta a medida que se suministra corriente al motor, y que comparando estos resultados con los parámetros estándares se tiene, que para la molienda fina fueron aceptables, y se acercan más al valor estándar a medida que la carga es mayor, mientras que en cuanto a la molienda gruesa hubo una gran desviación, pero esto se

debe al alto porcentaje de retención que se presentó en la bandeja durante el análisis por tamizado, que implicó el predominio de las partículas de menor tamaño.

Posteriormente para verificar si en el molino la velocidad tangencial se reducía cuando el flujo de alimentación aumentaba, se midieron las revoluciones por minuto (rpm), ya que la velocidad tangencial es el múltiplo entre el radio de giro y la velocidad angular, y como el radio era constante para que el resultado variara tenían que variar las rpm.

Las revoluciones por minuto no variaron considerablemente con las variaciones del flujo de alimentación, como se puede apreciar en la tabla 3.16, al contrario se mantuvieron prácticamente constantes, las pequeñas variaciones existentes en esta se puede deber a apreciación en la lectura del valor suministrado por el instrumento de medición, ya que esta se basa en la observación.

Con todo esto se puede considerar que la velocidad tangencial no varía según la carga suministrada en el molino, como se observa en la tabla 4.27 esta vario muy poco, tanto para los ensayos con molienda gruesa, como para los hechos con molienda fina, ya que el motor lo que hace es incrementar la demanda de energía para mantener las revoluciones constantes.

Tabla 4.26 Diámetro medio de las partículas por masa y desviación estándar logarítmica normal de la muestra para las muestras de molienda gruesa

Corriente asignada (Amp)	d_{gw} (μm)	S_{gw}
80	524,35	2,9569
80	549,90	2,9803
100	555,54	2,9537
100	577,45	2,9320
120	585,90	2,9806
120	614,05	2,9755
140	617,90	3,0284
140	593,23	3,0035
160	665,84	3,0556
160	662,10	3,0020
180	678,44	3,0405
180	643,83	3,0217

Tabla 4.27 Velocidad tangencial para las corridas con maíz y sorgo, con un montaje de martillos para molienda fina

Corriente asignada (Amp)	Velocidad tangencial (m/min)	
	Maíz	Sorgo
80	1.009,89	1.013,29
80	1.021,22	1.015,56
100	1.016,12	1.016,69
100	1.014,99	1.016,12
120	1.015,56	1.016,12
120	1.011,59	1.013,86
140	1.014,99	1.014,42
140	1.014,99	1.014,42
160	1.014,99	1.015,56
160	1.014,42	1.014,99
180	1.013,86	1.011,02
180	1.012,72	1.011,59

También se calculó la velocidad tangencial en el molino cuando a éste no se le alimentaba material, para estudiar si de esta manera existían variaciones, y como se puede apreciar en la tabla 4.28 se mantuvo en el mismo rango que en el caso anterior, concluyéndose también que la presencia o ausencia de material en el molino tampoco afecta la velocidad tangencial obtenida.

Tabla 4.28 Revoluciones por minuto y velocidad tangencial en el molino sin material en el, con un montaje de martillos para molienda fina

Velocidad angular (rpm)	Velocidad tangencial (m/min)
1.796	999,29
1.797	999,85
1.796	999,29

Cuando se cambió la posición de los martillos en el molino el radio de giro varió, ocasionando que la velocidad tangencial cambiara con respecto a los resultados obtenidos anteriormente, pero comparándola con los obtenidos en cada corrida para este montaje se puede decir que se mantuvo prácticamente constante. Esto se puede apreciar mejor en la tabla 4.29.

Tabla 4.29 Velocidad tangencial para las corridas con maíz y sorgo, con un montaje de martillos para molienda gruesa

Corriente asignada (Amp)	Velocidad tangencial (m/min)	
	Maíz	Sorgo
80	992,62	1.013,86
80	1.003,19	1.015,56
100	997,63	1.016,69
100	997,07	1.016,12
120	998,18	1.016,12
120	993,17	1.014,42
140	997,07	1.014,42
140	997,63	1.014,99
160	997,07	1.015,56
160	996,51	1.014,99
180	995,96	1.011,59
180	995,40	1.011,59

En este caso también se calculó la velocidad tangencial en el molino cuando a éste no se le alimentaba material, para también estudiar si de esta manera existían variaciones, y como en el caso anterior, se puede apreciar en la tabla 4.30 que se mantuvo en el mismo rango obtenido que cuando se le suministro material a este.

Por último se calculó el volumen de aire requerido en las ventanillas del molino para que pueda existir presión negativa en el.

Si el molino no posee un sistema de succión de aire se recomienda no abrir las ventanillas de las puertas, estas deben permanecer firmemente cerradas. Pero si se añade un sistema que ayude a aspirar el aire como un ciclón o un filtro de mangas, para eliminar el exceso de polvo y mantener una presión negativa, entonces si se podrán abrir las compuertas de las puertas laterales, siempre y cuando dicho equipo se encuentre lo más cerca posible de la descarga del molino y teniendo mucha precaución puesto que se debe asegurar que el flujo de aire que entra por las ventanillas sea el correcto.

Tabla 4.30 Revoluciones por minuto y velocidad tangencial en el molino sin material en el, con un montaje de martillos para molienda gruesa

Velocidad angular (rpm)	Velocidad tangencial (m/min)
1.798	1.000,40
1.797	999,85
1.796	999,29

Como en el sistema de molienda de la planta la ubicación del filtro de mangas con respecto al molino no es la más favorable para una buena succión, las ventanillas permanecen cerradas, pero para comprobar que sucedía, durante los ensayos realizados se abrieron, observándose grandes cantidades de producto expulsado, por la ausencia de una presión negativa o de succión.

Un sistema de aspiración de aire a parte de ayudar al proceso de molienda ayuda a disipar el calor producido y generar la presión negativa necesaria. Un molino de martillo, sin un sistema de aspiración requiere hasta un 30% más de la energía necesaria para la reducción de tamaño.

Sin embargo a pesar de que no se pudo obtener experimentalmente el volumen de aire necesario para generar la presión negativa, se calculó el valor teórico a partir de la ecuación 2.1, cuyo resultado se muestra en la sección 3.4 de este proyecto.

Con base de todos los resultados obtenidos, se puede concluir que en términos generales es conveniente mantener una intensidad de corriente alta en el motor del molino, determinando que el flujo de alimentación más adecuado se obtiene cuando la carga suministrada a al motor está entre 160 y 180 Amp.

4.5 PROPUESTA PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MOLIENDA

El rediseño en los procesos industriales ha sido una eficaz estrategia para los ingenieros a través de la historia, ya que implementando nuevas ideas han podido lograr cambios en la estructura de un sistema, proceso, proyecto, etc. Todas las industrias procesadoras de alimentos balanceados tienen una estructura diseñada que da como resultado su división en varios sistemas de producción y de este diseño depende la cantidad, funcionamiento y distribución de equipos implantados, tomando en cuenta que mientras menos equipos se utilicen para cada sistema mejor será el funcionamiento del proceso siempre y cuando efectúen las mismas funciones; cumpliendo así con los requerimientos de la compañía en cuanto a cantidad de producción y eficiencia.

Actualmente el sistema de obtención de productos triturados posee una gran cantidad de equipos que hacen del traslado de la materia prima un largo recorrido, tardándose ésta mucho tiempo para llegar al proceso de quebrantamiento. Puesto que los cereales salen de los tanques de almacenamiento bajan casi hasta el piso para luego ser elevados hasta el pulmón alimentador, bajar al imán y luego al molino, después pasan por 3 transportadores consecutivos antes de ser elevados para su posterior almacenamiento.

En las figuras 4.8 y B.22 se pueden apreciar el gran número de equipos que conforman el sistema y aunque actualmente se encuentre funcionando, existen deficiencias en el proceso motivado por diversos factores, como lo son el pausado recorrido del producto en tratamiento, el poco espacio disponible en el sistema dificultando el paso entre ellos, la inadecuada aspiración por parte del filtro de mangas,

la ubicación actual del molino, entre otros. Las figuras B23., B.24 y B.25 muestran las vistas frontal lateral y aérea de la propuesta realizada del sistema actual, donde se aprecian todos los equipos desde distintos ángulos y la figura B.26 muestra una imagen en perspectiva de este sistema propuesto en 3D.

En las propuestas es importante la reubicación del molino con respecto al filtro de mangas, ya que para que pueda haber succión por las ventanillas laterales del molino, el equipo de aspiración tiene que estar lo más cerca posible a la descarga del triturador, y así poder succionar las partículas livianas mientras caen del molino, antes de que se compacten en el fondo de la tolva junto con las más grandes dificultando la succión, ya que resulta más fácil succionar las partículas cuando van cayendo que cuando están compactadas junto con otras más pesadas.

La figura 4.9 muestra como el sistema de aspiración va succionando las partículas. Aunque en ese caso sea a través de un ciclón, lo que se pretende mostrar es la succión de las partículas, bien sea con un ciclón o un filtro de mangas, ya que ambos son equipos para la misma finalidad.

En el sistema actual el filtro está muy alejado de la descarga del molino, dificultando la succión, puesto que las partículas caen del molino a la tolva, luego pasan al transportador 7A y perpendicular a este se conecta por medio de un ducto el transportador del filtro de mangas. Esta gran separación entre los equipos no permite que el filtro succione cuando las partículas estén cayendo, si no que más bien favorece la compactación de toda la muestra. Todo esto trae como consecuencia productos fuera de especificación sobre todo para la molienda gruesa, que como ya se comprobó en el desarrollo del segundo objetivo, se obtuvieron altos porcentajes de retención en la bandeja, cuando se determinó la distribución granulométrica de los productos molidos. En la figura 4.10 se puede apreciar muy bien la ubicación actual del filtro con respecto al molino.

Es por todo esto que en la reubicación se propone en ambos casos que el filtro de mangas se instale directo a la tolva de almacenamiento, lo que implica mover el filtro hasta donde está el molino junto con su transportador, y girar 90° el molino con el fin de que su eje quede paralelo al transportador del filtro, para facilitar la succión, obtener una mejor distribución granulométrica, la presión negativa en las ventanillas del molino y que la descarga del material sea más rápida.

Otro de los factores importantes a considerar en la reubicación es la altura de los tanques y la altura de la alimentación al molino que extrañamente es por encima de los tanques. Esta diferencia se debe a que los tanques ya existían cuando se instaló el sistema de molienda actual, y un molino siempre debe ser colocado a cierta altura del piso, lo que no permite una caída libre desde los tanques al molino.

Anteriormente la planta poseía un molino instalado en el sótano, pero cuando la producción aumentó, fue sustituido por el sistema de molienda actual con una mayor capacidad de producción. Este en un principio estaba formado por 2 molinos, y debido a la disponibilidad de espacios no pudo colocarse en el sótano, por lo que se dispuso el espacio donde está actualmente. Posteriormente uno de los molinos fue eliminado por la

baja producción que poseía, pero en el sistema quedaron muchos de los equipos que trasladaban el material hasta este, esta es la razón por la que se encuentran algunos equipos ociosos en el sistema actual.

Como uno de los equipos que se propuso eliminar fue el pulmón donde se almacena temporalmente el grano, era necesario colocar otro equipo que lo sustituyera, que fue una pequeña tolva encima del retenedor de metales, era necesario que este sustituto estuviera por debajo de donde se encuentra el pulmón para facilitar la conexión entre los tanques y este.

En la primera propuesta la opción fue subir el tanque 133 que como se dijo anteriormente este tanque es independiente a los demás, permitiendo que se pueda mover, esto se hizo con la finalidad de que este quedara por encima de la alimentación al molino y se pueda conectar como se aprecia en la figura 4.11. Y en vista de que los tanques 101 y 102 no pudieron moverse se conectaron a la tolva por medio de un transportador inclinado, esto también se puede ver en la figura 4.11, pero en la B.30 se aprecia más de cerca.

En la segunda propuesta la opción para que los tanques no quedaran tan debajo de la nueva tolva, fue que el molino se bajara un poco, ya que se ganó mucho espacio al eliminar los equipos que se encontraban debajo de él. Como se puede apreciar en la figura 4.12 los tanques seguían quedando debajo del molino pero a una altura menor a la inicial, o sea a la del sistema actual, por lo que fue necesario conectar 2 transportadores inclinados hacia las tolvas.

Es importante resaltar que las propuestas realizadas fueron preliminares, es decir, esquemas representativos y se recomienda un posterior rediseño en detalle de las propuestas hechas para finiquitar la mejor opción, tomando en cuenta todos los factores de diseño, y el que económicamente se ajuste mejor a las necesidades y disposición de la planta.

También se recomienda que luego de que se lleve a cabo la reubicación en el sistema se hagan nuevamente ensayos en el molino, para verificar si existen cambios en la granulometría obtenida, la cantidad de energía consumida, la velocidad de carga y descarga en el molino, además si se pudo alcanzar la presión negativa en las ventanillas del molino y estudiar cual carga de la más indicada.

CONCLUSIONES

1. Un juego de martillos permite moler más de 40.000.000 kg durante un período aproximado de 2 años.
2. El uso de mallas con abertura de 3 y 4 mm, incrementa el porcentaje de retención en los tamices de malla 7 y 10 para la molienda fina.
3. En el análisis de las muestras de molienda gruesa, se obtuvieron altos porcentajes de retención en la bandeja, debido a que los martillos estaban colocados en posición para molienda fina, además de no haber una buena ubicación del sistema de succión de polvo, que permitiera retirar el exceso de polvo.
4. La eficiencia del motor, aumenta a medida que se disminuye la intensidad de corriente suministrada a éste, independientemente del tipo de material a moler.
5. El flujo de alimentación adecuado se obtiene cuando el amperaje suministrado al motor se encuentra entre 160 y 180 Amp.
6. Para la reubicación de los equipos que conforman el sistema de molienda actual en ambas propuestas, se eliminó el elevador de cangilones M50, los pulmones alimentadores, los transportadores 7A y 7B, y la tolva. Se cambió la posición del filtro de mangas respecto al molino, y se agregó una pequeña tolva de almacenamiento temporal encima del retenedor de metales.

RECOMENDACIONES

1. Tener un seguimiento muy minucioso del sistema actual de retención de metales, para evitar que el imán deje escapar cuerpos hacia el molino, o cambiarlo por uno automatizado con controladores que limpien la superficie del imán automáticamente, cuando el espesor de las piezas retenidas sea suficientemente grueso.
2. Verificar periódicamente el desgaste de las mallas, ya que es un factor determinante en la granulometría obtenida.
3. Realizar un posterior diseño en detalle de las propuestas hechas para finiquitar la mejor opción, tomando en cuenta todos los factores de diseño, y el que económicamente se ajuste mejor a las necesidades y disposición de la planta.
4. Después que el sistema de molienda sea reubicado, recalcular todos los factores tomados en cuenta durante la realización de este proyecto para comprobar si la reubicación mejora las condiciones de operación como se presume.
5. Buscar la posición más adecuada de los martillos respecto a la malla, de manera que se obtengan buenos resultados granulométricos para los 2 tipos de molienda.
6. Tener un control en cada una de las fases del motor, puesto que el controlar una de ellas no garantiza que las demás se mantengan en el mismo rango, por ser un sistema desbalanceado.
7. Llevar registros del desgaste y los cambios en los martillos y mallas, en función de los períodos útiles y la cantidad de producto molido durante ese tiempo.
8. Controlar la intensidad de corriente en el motor según el flujo de alimentación que se desee.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, F y Montilla, F. (2009) “*Informe Inicial de Pasantías Realizado en la Empresa Alimentos Súper S*”, Informe de Pasantías para Optar por el Título de Técnico Superior Universitario en Química Industrial, Instituto Universitario de Tecnología Industrial Rodolfo Loero Arismendi (IUTIRLA): Barcelona, Venezuela.
- Anfaac. (s.f) “*La Industria de la Alimentación Animal*” Disponible en URL: <http://www.anfaac.com/faliment.htm>.
- Anfaac. (s.f) “*Los Alimentos Preparados: Completos y Equilibrado*”. Disponible en URL: <http://www.anfaac.com/faliment.htm>.
- Avendaño, J. (2006). “*Influencia de las Condiciones de Operación del Mezclador de la Prensa Granuladora, en el Grado de Gelatinización de los Almidones*”, Tesis de grado para optar por el título de ingeniero Químico, Universidad de Oriente: Puerto la Cruz, Venezuela.
- Baker, S y Hernan, T. (2002) “*Evaluating particle size*”, Kansas State University, Estados Unidos
- Brito, V. (2009) “*Importancia de la granulometría de los alimentos en el comportamiento productivo del pollo de engorde*” Euro-Nutec Premix Sa de CV
- Calle, G y Henao, E. (s.f) “*Dureza rockwell*”, Disponible en URL: <http://www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZAROCKWELL.pdf>
- Champion. (1998) “*Champoin Hammermill Series Operators and Parts Manual*”, California Pellet Mill Company, Estados Unidos de América
- Cermeño, J. (2005) “*Estadística aplicada y diseño de experimento*”, Segunda edición, Fondo editorial UDO-Anzoátegui, Venezuela
- Geankopolis, C. (1998) “*Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*” Tercera edición, Editorial Continental, S.A. México
- Grupo la Caridad. (s.f) “*Acerca de nuestra empresa*”, Disponible en URL: <http://grupolacaridad.com.ve/acerca.html>
- Inicolsa. (2010) “*Molinos de Martillos*”, Perú. Disponible en URL: <http://taninos.tripod.com/molinosmartillo.htm>.
- López, R. (2010) “*Evaluación del Sistema de Enfriamiento de los Productos Peletizados, de una Empresa Productora de Alimentos para Animales*”, Tesis de grado para optar por el título de ingeniero Químico, Universidad de Oriente, Puerto la Cruz, Venezuela.
- Malavé, D y Fernández, W. (2005) “*Elaboración de harina de batata (Ipomoea batatas) utilizando los procesos de secado, molienda, tamizado y su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales*”, Tesis de grado para optar por el título de ingeniero Químico, Universidad de Oriente, Puerto la Cruz, Venezuela.
- McCabe W, Smith J y Harriott, P. (1991) “*Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*”, Cuarta edición, Editorial Mc Graw-Hill, España

- Monaca. (s.f). "Historia de la empresa", Disponible en URL: <http://www.monaca.com.ve/01b.html>
- Núñez, C. (2008). "En relación a los tamices normalizados", Disponible en URL: cenunez.com.ar
- Pedrique, A. (2009) "Rediseño del Sistema de Obtención de Molienda de la Empresa de Alimentos Supes S Ubicada en Barcelona Estado Anzoátegui", Informe final de pasantías ocupacionales para optar por el título de ingeniero Mecánica, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Bolivariana, El Tigre, Venezuela.
- Perry, R. (1995) "Manual del Ingeniero Químico Tomo II" Sexta edición, Editorial Mc Graw-Hill, Mexico
- Retsch. (s.f) "Tamizado y División de Muestras", Disponible en URL: <http://www.retsch.es/es/productos/tamizado/?gclid=copr7dtg7qmcfwbd5qoduryz2w>
- Shigley, J y Mischke, C. (2002) "Diseño en ingeniería mecánica" Sexta edición, Editorial Mc Graw Hill, Mexico
- Super s. (s.f) "Granulometría de alimento balanceado para parrilleros"
- Taiwan Turnkey Project Association. (s.f). "Planta Procesadora de Alimento Animal", disponible en URL: <http://turnkey.taiwantrade.com.tw/showpage.asp?subid=104&fdname=food+manufacturing&pagename=planta+de+produccion+de+alimento+animal>.
- Tanner, N y Uzwill. (2006) "Size reduction", Swiss Institute of Feed Technology SFT, Suiza
- Torres, Y (2008) "Verificación e Inspección del Cumplimiento de las Normas y Procedimientos de Seguridad en las Instalaciones de Súper C. C.A, Parroquia el Carmen, Municipio Simón Bolívar, Zona Industrial los Montones, Barcelona Estado Anzoátegui", Informe final de pasantías para optar por el título de Técnico Superior Universitario en Higiene y Seguridad Industrial, Instituto Universitario de Tecnología de Administración Industrial (IUTA), Barcelona, Venezuela.
- Véliz, A. (2009) "Informe Final de Pasantías Realizado en la Empresa Alimentos Súper S C.A Barcelona, Anzoátegui", Instituto Universitario de Tecnología Industrial Rodolfo Loero Arismendi (IUTIRLA), Barcelona, Venezuela.
- Videla, A. (s.f). "Manual de motores eléctricos". Disponible en URL: <http://es.scribd.com/doc/2448049/Manual-de-motores-electricos>
- Wikipedia. (2011) "Dureza rockwell", Disponible en URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Rockwell
- Wikipedia. (2011) "Factor de potencia", Disponible en URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_potencia
- Wikipedia. (2009) "Molienda", Disponible en URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/molienda>

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Daniela A., Reyes A.	CVLAC: 18.325.402 E MAIL: Daniela.ale87@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

MOLINO DE MARTILLOS

MILIENDA DE GRANOS

MAIZ

SORGO

GRANULOMETRÍA

ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS	INGENIERÍA QUÍMICA

RESUMEN (ABSTRACT):

La planta de alimentos Super S C.A se dedica a la producción y comercio de alimentos para aves, ganados y cerdos. El sistema de molienda de granos es uno de los procesos más importante en la producción de alimentos balanceados para animales puesto que no toda la materia prima necesaria se encuentra a la granulometría deseada. En alimentos Super S éste consta principalmente de un molino de martillos en el que se tritura maíz, soya y sorgo en diferentes tamaños. En la actualidad este sistema presenta fallas en el funcionamiento y operación, con la finalidad de mejorarlo y aumentar el ahorro económico, se planteó en este proyecto la evaluación de dicho sistema. Para ello, se estudió el desgaste de los martillos con el tiempo, y se obtuvo que un juego de martillos puede moler durante 5 meses antes de que estos lleguen a su desgaste máximo, período que pudiera ser mayor, si se ajustan ciertas condiciones operacionales en las que se trabaja. También se determinó la distribución granulométrica de los productos molidos, donde se obtuvieron altos porcentajes de retención en la bandeja para las muestras de molienda gruesa, y en las muestras de molienda fina algunas con porcentajes de retención relativamente altos en los tamices de abertura mayor. Para la selección del flujo de alimentación adecuado se tomaron en cuenta varios factores, y se encontró que el rango de amperaje más adecuado está entre 160-180 Amp, es decir, cuando se le suministran corrientes altas al motor del molino. En la determinación del rendimiento energético se verificó que la eficiencia del motor disminuye a medida que se incrementa la intensidad de corriente al mismo. Por último, se propuso una reubicación de todo el sistema, donde se plantearon 2 opciones con vías de transporte directas hacía la alimentación del molino.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
MORENO LUIS	AS	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:	8.987.972			
	E_MAIL	morenogradoluis@gmail.com			
	E_MAIL				
SILVA HECTOR	JU	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	3.955.146			
	E_MAIL	hectorlsu@yahoo.es			
	E_MAIL				
PARRA FRANK	JU	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	8.265.531			
	E_MAIL	frankparrag@gmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2011	06	09
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE: ESPAÑOL

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1
2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____

TEMPORAL: _____

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

Derechos

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los trabajos son propiedad exclusiva de la Universidad de Oriente, y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento expreso del Consejo de Núcleo respectivo, quien participará al Consejo de Universidades”

AUTOR

DANIELA ALEJANDRA REYES ACEVEDO

TUTOR

Ing. Luis Moreno

JURADO

Ing. Frank Parra

JURADO

Ing. Hector Silva (M.Sc)

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS

Ing. Yraima Salas (M.sc)