

2014

Trabajo de Diploma.

Racionalización energética de los procesos molienda y mezclado de la fábrica de piensos de Cienfuegos.

Autor: *Miguel Alejandro Moro Pulido.*
Tutores: *Dr. C. Juan José Cabello Eras.*
M. Sc. Ingeniero Gustavo Crespo Sánchez.
M. Sc. Arelis Machado Reyes.
M. Sc. Jesús González Crespo.



Junio 2014
“Año 56 de la Revolución”

Pensamiento



“Todos somos muy ignorantes, lo que ocurre es que no ignoramos las mismas cosas.”

Albert Einstein

Dedicatoria



DEDICATORIA

A mis padres Ivette y Roberto, por su apoyo incondicional y por su aliento permanente para continuar esforzándome.

A mis abuelos, por sus siempre oportunos consejos por ser una fuerte inspiración de mi vocación.

A mi familia y una amiga muy especial, por su cariño y amor a todo prueba.

Agradecimientos



AGRADECIMIENTOS

Si nuestros esfuerzos prosperan, asegurémonos de dar gracias a Dios por su bondad, ayuda y protección no necesitamos más cosas por las que dar gracias, sencillamente, tenemos que dar gracias más veces. Señor te doy gracias por darme entendimiento en mis estudios.

Dad Gracias al Señor, porque él es bueno; porque para siempre es su misericordia. 1Crónicas 16:34.

A mis padres por ser mi fortaleza en la vida y apoyarme siempre en todo.

A toda mi familia que de una forma u otra contribuyeron a mi formación como Ingeniero.

Mis agradecimientos a mis tutores, quienes durante todo el desarrollo de este trabajo fueron siempre guía, soporte, disposición y motivación.

A todos mis profesores y compañeros de aula, que durante toda la carrera pusieron todo su voluntad y dedicación, gracias por sus enseñanzas y compañía.

Resumen



RESUMEN

La gestión energética en la producción de piensos balanceados como herramienta para garantizar la calidad de los productos y servicios; reducir costos de producción y elevar su competitividad, tiene una importancia significativa para la Fábrica de piensos Cienfuegos. Por lo tanto es imprescindible que esta trabaje de manera eficiente, lo que significa que cuente con sistemas y procesos que le permitan mejorar su desempeño energético y que tengan menor consumo de materias primas y menores gastos energéticos. Este trabajo de diploma dirigió su investigación a los procesos de molinación y dosificación y mezcla. La molinación es el primer proceso que sufren las materias primas en la elaboración para conseguir la granulometría adecuada. El mezclado por su parte combina ingredientes con características únicas en una ración formulada que aporte los requerimientos nutricionales al producto. En ambos se elaboró la línea base de energía vs producción; se estratificaron los consumos de energía eléctrica por equipos y se estimaron las pérdidas de energía en los electromecanismos y motores, lo que permitió identificarlos como los mayores consumidores y determinar las producciones críticas en ellos. Finalmente se recomendó la implementación de acciones o buenas prácticas de consumo, operación y mantenimiento para la elevación de la eficiencia energética en estos dos procesos.

Indice

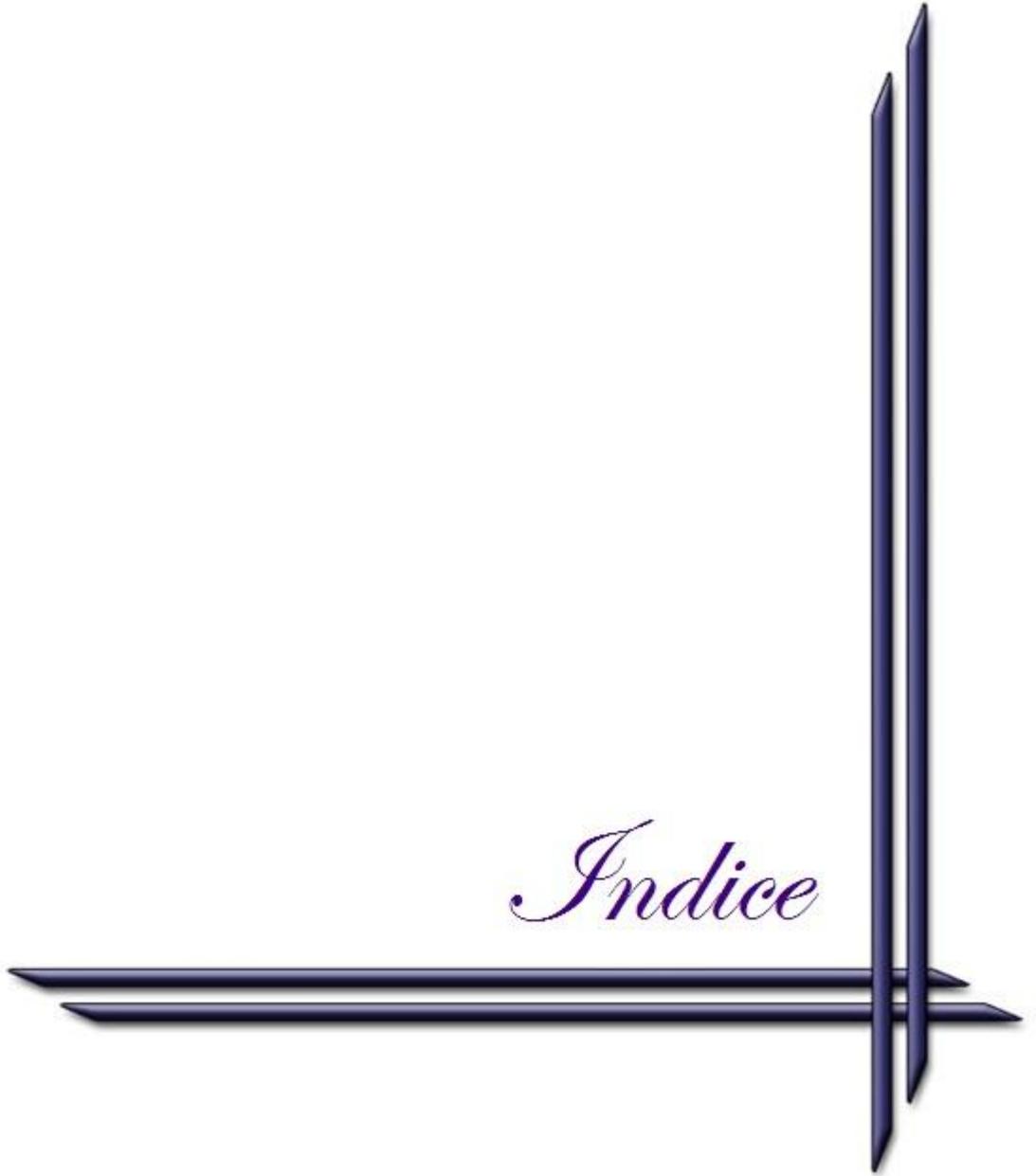


TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 1. Fundamentación teórica.....	9
1. Generalidades sobre la producción de piensos balanceados.....	9
1.1. Producción de piensos en Cuba.....	9
1.2. Descripción de la Empresa Productora de Piensos Cienfuegos y proceso productivo.	12
1.2.1. Diagrama de flujo productivo.....	13
1.2.2. Recepción de Materias Primas.....	14
1.2.3. Molienda.....	16
1.2.4. Dosificación y Mezclado.....	17
1.2.5. Prensado	18
1.2.6. Ventas	19
1.3. Balance de consumo de portadores energéticos.....	19
CAPÍTULO 2. Materiales y Métodos de la investigación.....	26
2. Procesos molinación y dosificación y mezcla en la producción de piensos balanceados.....	26
2.1. Proceso de molinación.	26
2.1.1. Generalidades	27
2.1.2. Área de molinos en la Fábrica de piensos Cienfuegos	31
2.2. Proceso de mezclado	33
2.2.1. Generalidades	35
2.2.2. Área de mezclado en la Fábrica de piensos Cienfuegos.....	37

2.3.	Sistemas de mediciones.....	40
2.3.1.	Programa de supervisar y manejar la fábrica.....	40
CAPÍTULO 3. Discusión de los resultados.....		44
3.1.	Análisis energético de los procesos de molinación y dosificación y mezcla.	44
3.1.1.	Elaboración de la línea base de Energía vs. Producción para la Fábrica de Piensos Cienfuegos.....	44
3.1.2	Elaboración de la línea base del Indicador de desempeño energético (IDEn) vs. Producción.....	46
3.2.	Elaboración de la línea base de Energía vs. Producción para los procesos de molinación y dosificación y mezclado.	47
3.2.1.	Elaboración de la línea base de Energía vs. Producción para el proceso de molinación.....	47
3.2.2.	Elaboración de la línea base de Energía vs. Producción para el proceso de dosificación y mezclado.....	48
3.2.3.	Elaboración de la línea base de Energía vs. Producción para los procesos de molinación y dosificación y mezclado con los datos filtrados.....	48
3.3.	Peso de los procesos de molinación y mezcla en el consumo total diario de la Fábrica de piensos Cienfuegos.....	51
3.3.1.	Estratificación de los consumos de energía eléctrica en los procesos de molinación y dosificación y mezcla.	54
3.4.	Estimación de las pérdidas de energía en los electromecanismos y motores de ambos procesos.	55
3.4.1.	Estimación de las pérdidas de energía en los electromecanismos.	55
3.4.2.	Estimación de las pérdidas de energía en los motores eléctricos.....	57
3.5.	Potencialidades de ahorro en ambos procesos.....	60
3.5.1.	Potencialidades de ahorro en motores eléctricos.	60
3.5.1.1.	Por concepto de factor de potencia:	60

3.5.1.2. Oportunidades de ahorro en motores eléctricos:	60
Conclusiones Parciales	62
Conclusiones Generales.....	64
Recomendaciones.....	66
Bibliografía	¡Error! Marcador no definido.
Anexos	¡Error! Marcador no definido.



Introducción

INTRODUCCIÓN

La producción de piensos balanceados tiene una importancia significativa en la producción de alimentos para el pueblo. Por lo tanto es imprescindible que esta se realice de manera eficiente, lo que significa que se establezcan sistemas y procesos para mejorar el desempeño energético a través de una gestión sistemática de la energía y que permitan menor consumo de materias primas y menor gasto energético.

La gestión energética es uno de los cinco campos principales dignos del desarrollo y la promoción que ofrecen las Normas Internacionales, como herramienta para garantizar la calidad de los productos y servicios; reducir costos de producción y elevar su competitividad.

La administración de la energía persigue lograr un uso más eficiente de la energía sin reducir los niveles de producción o mermar la calidad del producto o servicio, ni afectar la seguridad o los estándares ambientales.

La elevación de la eficiencia energética puede alcanzarse por dos vías fundamentales: Mejorar la gestión energética y desarrollar buenas prácticas de consumo, operación y mantenimiento y con la remodelación o construcción de nuevas de las instalaciones con tecnologías y equipos de alta eficiencia.

La Empresa Piensos Cienfuegos es una de las mayores y más modernas productoras del país. Sus producciones satisfacen la demanda de todas las provincias centrales, parte del oriente y del occidente, produciendo aproximadamente 40 surtidos y 40 t/horas de capacidad, en aproximadamente 12.5 horas diarias dedicando el resto del tiempo al acondicionamiento de las materias primas.

El desarrollo actual y prospectivo de la industria y el sector de los servicios requieren de acciones encaminadas a reducir costos, proteger el medio ambiente,

y aumentar la competitividad de las empresas, ante una economía cada vez más abierta y globalizada.

La Eficiencia Energética, entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía, es uno de los problemas esenciales que afectan la competitividad de las empresas y Piensos Cienfuegos no constituye una excepción. Eficiencia Energética implica lograr los requisitos establecidos por el cliente con el menor gasto energético posible y la menor contaminación ambiental por este concepto.

En el desempeño diario de la Empresa se utilizan cinco portadores energéticos fundamentales: Energía eléctrica, Diesel, Gasolina, Lubricantes y Gas licuado. La energía eléctrica es la de mayor significación, con un índice de consumo de 12.776 Kwh/t de pienso producida que incluye penalizaciones considerables por bajo factor de potencia.

El proceso de fabricación de piensos balanceados consta de varias etapas:

- ✓ Recepción y almacenamiento de las materias primas.
- ✓ Molinación.
- ✓ Dosificación.
- ✓ Mezcla.
- ✓ Prensado.
- ✓ Venta.

En Cuba se elaboran los piensos balanceados de la forma tradicional (molienda, mezclado y prensado), pero la tendencia mundial es a la utilización de nuevas tecnologías (extrusión, expansión, maduración, doble granulación, etc.)

La alimentación de los molinos se realiza desde las celdas de almacenamiento a través de equipos de transportación.

La molinación es el primer procesamiento que sufren las materias primas en la elaboración del pienso, consiguiendo la granulometría adecuada de las partículas en tamaño y forma según la presentación del pienso: harina o gránulo.

Existen materias primas (fosfato, carbonato, etc.) que por su presentación y para evitar pérdidas energéticas no es deseable que pasen por el molino. Para ello se instala una criba bypass.

Para modificar según se desee la granulometría de cada materia prima, es recomendable el sistema de premolienda, frente al de premezcla ya que posibilita utilizar el tamiz más adecuado, en correspondencia con la materia prima de que se trate, mientras que en premezcla todas las materias primas están obligadas a pasar por el mismo tipo de tamiz.

Las granulometrías diferentes no favorecen la mezcla del producto. Esto siempre debe tenerse en cuenta, especialmente cuando la presentación del pienso sea en harinas.

El tamaño de las partículas dependerá del tipo de molino (martillos, rodillos), del diámetro de orificio de la parrilla o de las revoluciones del motor así como de otros factores como: estado de las placas de choque, superficie perforada y disposición de los orificios de la parrilla, número y estado de los martillos, cantidad de aire de la aspiración, etc.

Una vez que los ingredientes han sido molidos y pesados, el siguiente paso es mezclarlos adecuadamente para que el alimento quede perfectamente homogéneo. Las cantidades de ingredientes que se van a mezclar dependen del tipo de dieta que se esté realizando, la cual previamente debe haber sido balanceada de acuerdo a la composición de las materias primas.

Aunque las mezclas que se realizan en las distintas plantas de alimentos son diferentes tanto en ingredientes como en cantidad, el orden de mezclado es prácticamente el mismo en todos los casos (maíz, soya, carbonato, fosfato y microcomponentes).

La mezcladora es el lugar adecuado para la incorporación de grasas, vitaminas, aminoácidos, etc.

La calidad de la mezcla depende de varios factores: Del tiempo de mezcla; de la granulometría; de la densidad y forma de las partículas y de otros factores, pues la adición de líquidos provoca adherencias provocando la disminución de la eficiencia de la mezcladora. Provocan adherencias además las partículas cargadas electrostáticamente.

Existen diversos tipos de mezcladoras pero las más usadas son la vertical y la horizontal.

PROBLEMA CIENTÍFICO

En la Empresa Productora de Piensos de Cienfuegos, no cuenta con un indicador de eficiencia para los procesos de molinación y mezclado, pues no hay conocimiento de la energía que consumen en ellos según la materia prima que se muele o mezcla.

HIPÓTESIS

Conociendo el consumo de energía eléctrica en los procesos molienda y mezclado de la fábrica de pienso de Cienfuegos, se puede establecer un indicador de eficiencia energética que permite racionalizar y operar eficientemente dichos procesos.

OBJETIVO GENERAL

Crear un indicador de eficiencia energética para los procesos de molienda y mezclado en la fábrica de piensos Cienfuegos, que permita lograr el uso eficiente de la energía eléctrica en ellos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar la producción de piensos balanceados y los equipos que intervienen en los procesos molienda y mezclado, en la fábrica de piensos Cienfuegos.

2. Estratificar los consumos de energía en las áreas de molienda y mezclado para determinar los mayores consumidores de energía y determinar potencialidades de ahorro.
3. Realizar mediciones de campo del consumo y producción de estos procesos que coadyuven a la implantación de un indicador para medir la eficiencia energética en ellos.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

Para lograr los objetivos planteados para la investigación el trabajo se encuentra estructurado en tres capítulos, conclusiones generales y recomendaciones.

En el **Capítulo I** se realiza un estudio documental sobre las generalidades de la producción de piensos balanceados y las particularidades de la producción de los mismos en Cuba y en Cienfuegos, caracterizando la fábrica de piensos de Cienfuegos y explicando su proceso productivo así como su balance de portadores energéticos.

En el **Capítulo II** se explican los materiales y métodos de la investigación, explicando las características principales de los procesos de molinación y dosificación y mezclado y analizando las particularidades de los mismos en la fábrica de piensos de Cienfuegos. Se explica además el sistema de supervisión WINCC y control de SIEMENS ponderando sus prestaciones para con el monitoreo de las condiciones de producción y la posibilidad de operar y controlar cada elemento en el proceso en tiempo real.

En el **Capítulo III** se realiza la discusión de los resultados de la investigación a partir de los análisis, gráficos y cálculos realizados para los procesos de molinación y dosificación y mezcla, en la fábrica de piensos Cienfuegos, demostrándose que son los de mayor consumo energético en el proceso de fabricación de piensos balanceados. Se analizan además las pérdidas de energía en ellos como resultados de las condiciones de trabajo de los electromecanismos

y de la influencia del sobredimensionamientos de los motores utilizados en ambos procesos y se recomienda la implementación de acciones o buenas prácticas para mejorar la eficiencia de los procesos de molienda y dosificación y mezcla en la producción de piensos.

Conclusiones generales y Recomendaciones: Se enumeran las conclusiones indispensables obtenidas en la investigación y se sugieren las acciones a realizar en el futuro, para darle continuidad a la misma.

Anexos: Donde se recoge el material, que sirve de complemento al texto de la investigación.



Capítulo I

CAPÍTULO 1. Fundamentación teórica.

1. Generalidades sobre la producción de piensos balanceados.

El pienso balanceado es aquel producto resultante de la mezcla homogénea de diferentes componentes que se utilizan en la nutrición animal y que por su balance nutricional es capaz de asegurar el mantenimiento de la vida, la reproducción animal, la salud y la producción de los animales que lo consumen.

Existen diferentes tipos de piensos balanceados de acuerdo a los animales que lo consumen. Para cada tipo de alimento hay numerosas composiciones de mezcla, a menudo dependiendo de tradiciones y de materias primas disponibles en un área o país determinado.

Diferentes causas influyeron en el incremento de la producción de piensos balanceados en el mundo. El crecimiento de la población es una de las causas, pero principalmente el mayor ingreso per cápita en potencias como China e India. Allí, el alza en el poder adquisitivo tuvo consecuencias en los hábitos alimenticios: de una dieta basada en el arroz se pasó a una mucho más rica en proteínas. Es decir, el consumo de carne experimentó un impulso, que repercutió a nivel mundial.

A esta situación se le suma la necesidad de producir mayor cantidad de kilos de carne en espacio limitado y con una alta relación de conversión del alimento. En este contexto, el mercado de alimentos balanceados derivados de granos como la soja se ha visto favorecido.

1.1. Producción de piensos en Cuba.

En Cuba la industria del pienso pertenece al Grupo Industrial de Alimentos y Silos subordinado al Ministerio de la Agricultura. Este grupo está formado por cinco grandes Empresas:

- Empresa productora de piensos Occidente.
- Empresa productora de piensos Centro.
- Empresa productora de piensos Oriente.
- Empresa circuladora de materias primas y premezclas.
- Empresa de silos y molinos.

A su vez las Empresas productoras de Piensos están integradas por varias unidades básicas de producción como se muestra a continuación:

Empresa productora de piensos Occidente.	Fábrica de piensos Herradura
	Fábrica de piensos Consolación
	Fábrica de piensos Jaruco
	Fábrica de piensos Tropicales
	Fábrica de piensos H-5
	Fábrica de piensos Artemisa
Empresa productora de piensos centro.	Fábrica de piensos Cienfuegos
	Fábrica de Piensos Villa clara
	Fábrica de piensos Camagüey
Empresa productora de piensos Oriente.	Fábrica de piensos Holguín
	Fábrica de piensos Granma
	Fábrica de piensos Santiago
	Fábrica de piensos Baire

La producción de piensos en el país durante los últimos años se muestra en la figura 1.1.

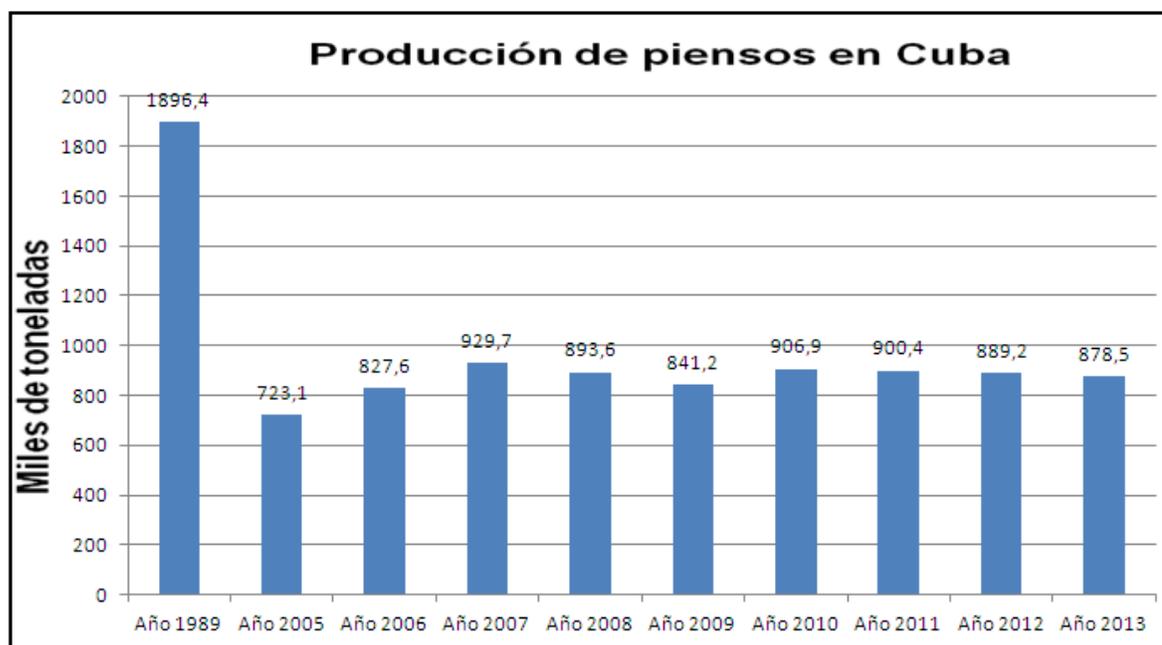


Figura 1.1. Producción de Piensos en Cuba.

Fuente: Elaboración propia.

La producción de Alimento Balanceado para Animales en Cuba se distribuye en tres grandes sectores (Tabla 1.1): la principal va dirigida para aves que representa el 59.05 %, porcinos el 33.59 % y vacuno el 4.05%. La restante se distribuye entre alimento para peces, para equinos y para conejos con un 3.29 %.

Tabla 1.1. Producción por específicos en el 2012.

Específico	Plan (t)	Real (t)	%
Avícola	541276.7	525087.3	97.0
Porcino	329757.6	298750.5	90.6
Vacuno	60798.2	36060.8	59.3
Otros	26177.4	29318.2	112.0
Total	958009.9	889216.8	92.8

Fuente: Evaluación de producción más limpia en la Empresa productora de piensos Cienfuegos. Tesis de Arelys Machado Reyes en opción al nivel académico de Master en Ciencias en Producción más limpia. Año 2012.

En Cuba en la mayoría de las fábricas de piensos se utilizan tecnologías muy atrasadas, compuestas solamente por equipos para la molienda, dosificación y mezcla.

Existen en el país dos fábricas (Cienfuegos y piensos tropicales) que están más modernizadas y con un considerable nivel de automatización, que realizan la tradicional elaboración de piensos (molienda, dosificación, mezclado y granulación).

En todas las fábricas se realiza adición de aceite vegetal en la mezcladora. Con su respectivo sistema de dosificación.

Son tres los productos básicos que definen en Cuba la composición de los alimentos balanceados para animales. Ellos son: maíz, soya y trigo. En conjunto estas tres materias primas representan más del 80% de la composición total de los piensos, y en consecuencia, su comportamiento explica la dinámica de la industria de alimentos balanceados para animales.

1.2. Descripción de la Empresa Productora de Piensos Cienfuegos y proceso productivo.

La Empresa Productora de Piensos Cienfuegos perteneciente al Ministerio de la Agricultura fue creada el 4 de Enero de 1982. Cuenta en la actualidad con cuatro inmuebles: La fábrica de Piensos; edificio socio administrativo, cocina comedor y casa de visitas, ubicados en la Zona industrial No. 2 de O'bourke en Cienfuegos. Limita al este y al sur con la Empresa de Cereales Cienfuegos, al norte con el vial principal de la zona industrial y con una parcela cubierta de marabú y al oeste con el vial de entrada al puerto Pesquero y una parcela ociosa. Aledaño a la instalación se localizan una serie de industrias entre las que se destacan: El Puerto Cienfuegos, La Terminal de Embarque de Azúcar a Granel, La Empresa de Cereales Cienfuegos y el Combinado Pesquero.



Figura 1.2 Vista de la Empresa Productora de Piensos Cienfuegos.

1.2.1. Diagrama de flujo productivo.

El proceso tecnológico de la Empresa productora de piensos Cienfuegos está dividido en varias etapas: Recepción y almacenamiento de materias primas, molienda, dosificación, mezcla, a partir de aquí este se divide en dos, en el caso que se vayan a fabricar piensos pelletizados el producto va a la etapa de prensado y continúa hasta el proceso de venta, sino va directamente al proceso de ventas.

La figura 1.3 muestra una vista y descripción de las diferentes áreas de producción de la fábrica de pienso de Cienfuegos.

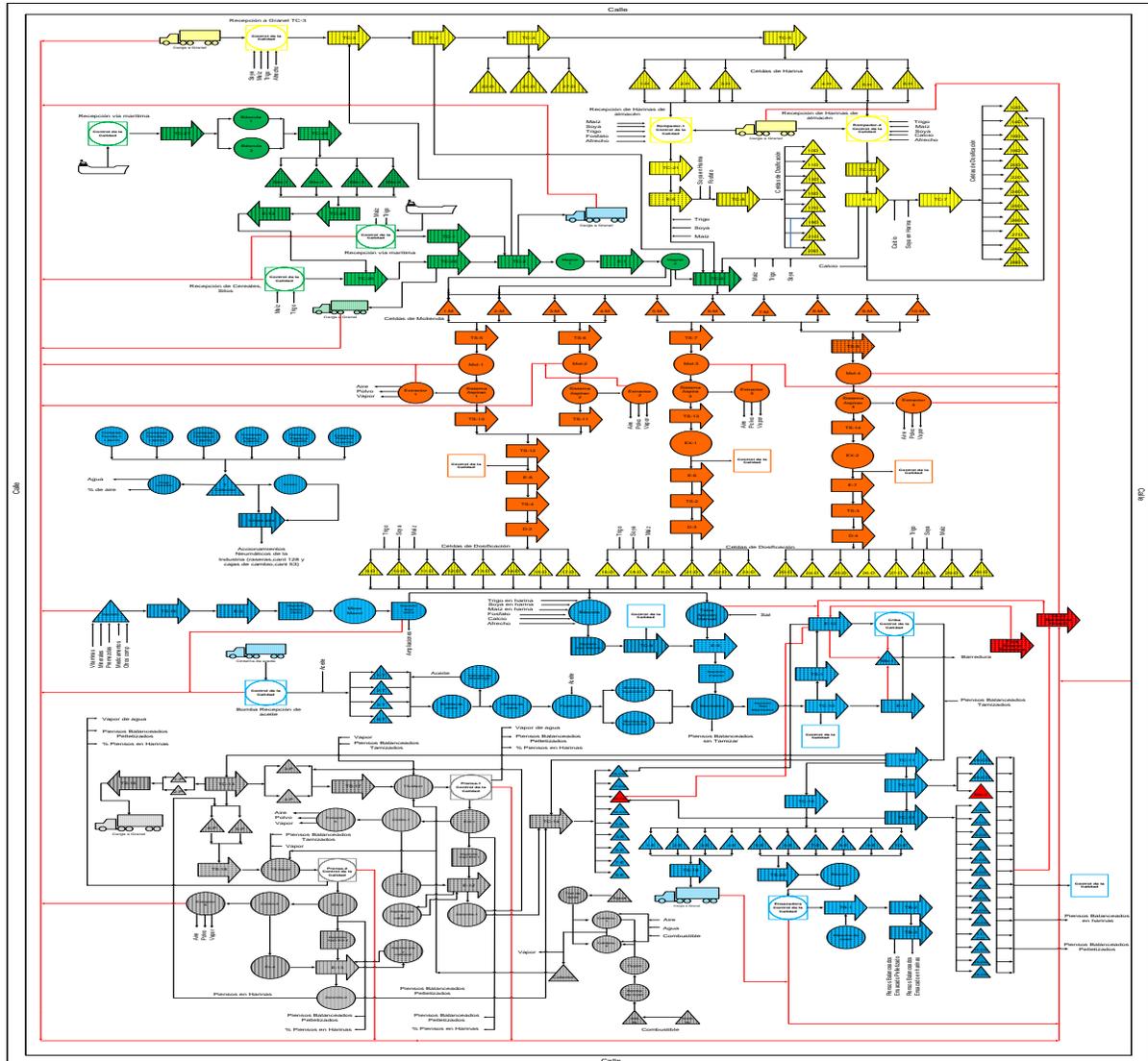


Figura 1.3 Diagrama de las áreas de producción de la fábrica.

1.2.2. Recepción de Materias Primas.

Llegada a la fábrica de las diferentes materias primas.

Cereales: La recepción de los cereales puede realizarse desde los Silos del Combinado de Cereales y desde la batería de silos a través del sistema de transportación mecanizada; por vía automotor a través de una tolva receptora TR-3 o por las tolvas receptoras 1 y 2.

La figura 1.4 muestra la recepción de cereales desde los Silos del Combinado de Cereales y desde la batería de silos.

La figura 1.5 muestra la recepción de los cereales por vía automotor a través de una tolva receptora TR-3.

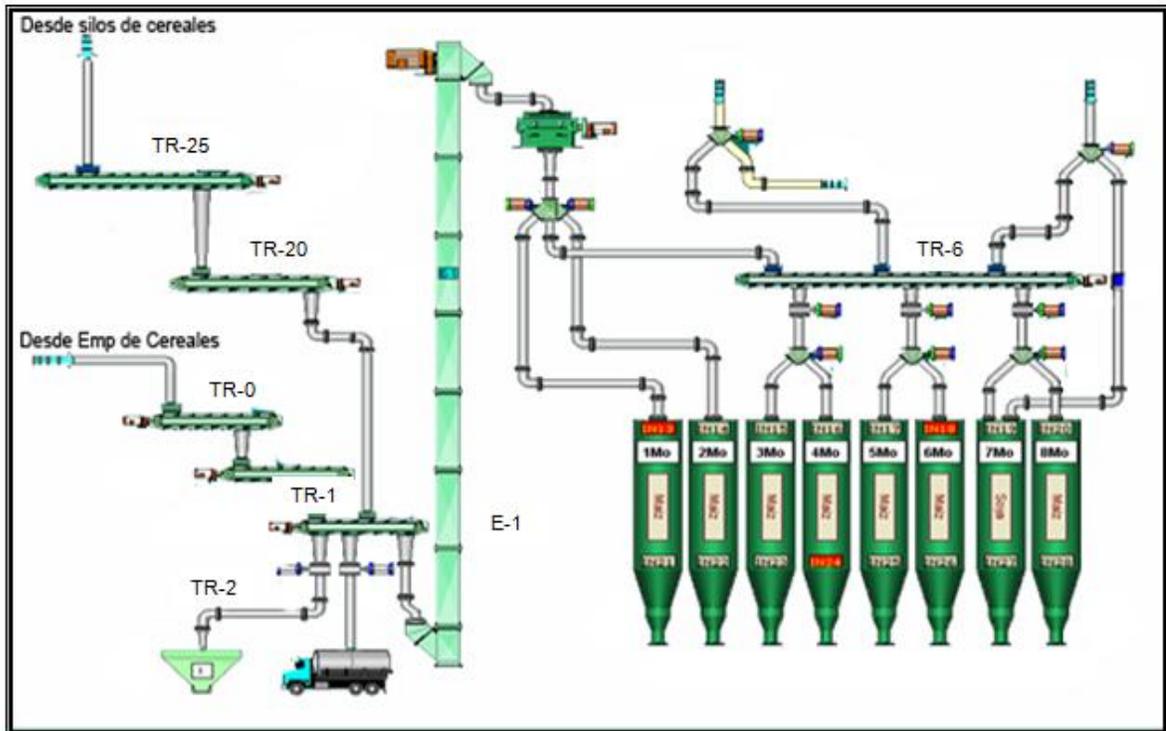


Figura 1.4 Recepción de cereales desde silos del combinado de cereales.

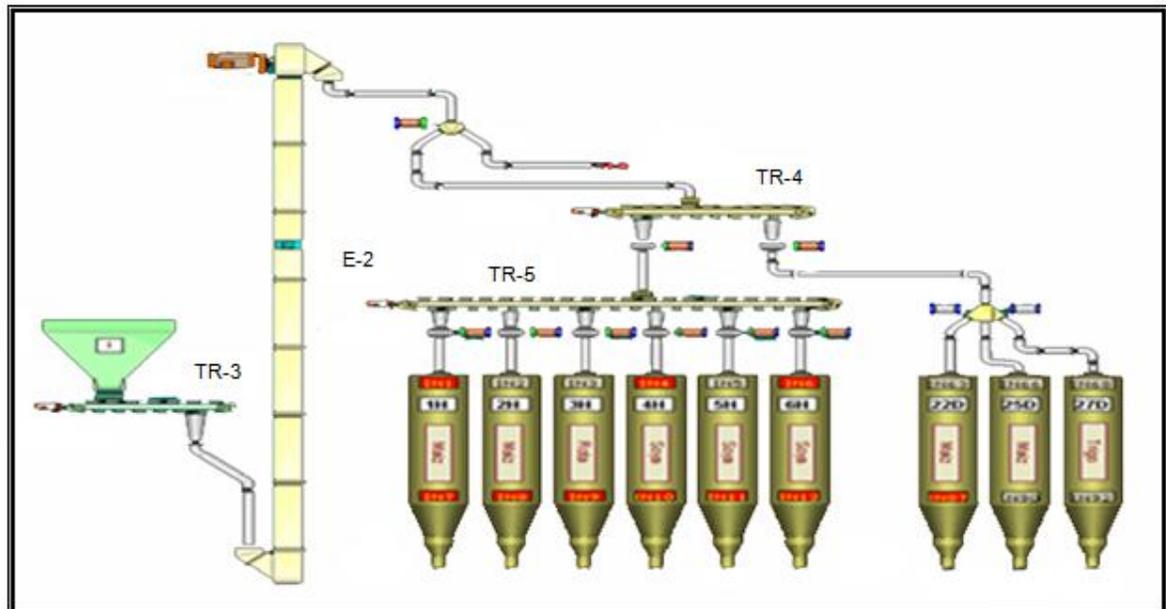


Figura 1.5 Recepción de materias primas desde tolva receptora TR-3.

La figura 1.6 muestra la recepción de los cereales por las tolvas receptoras 1 y 2

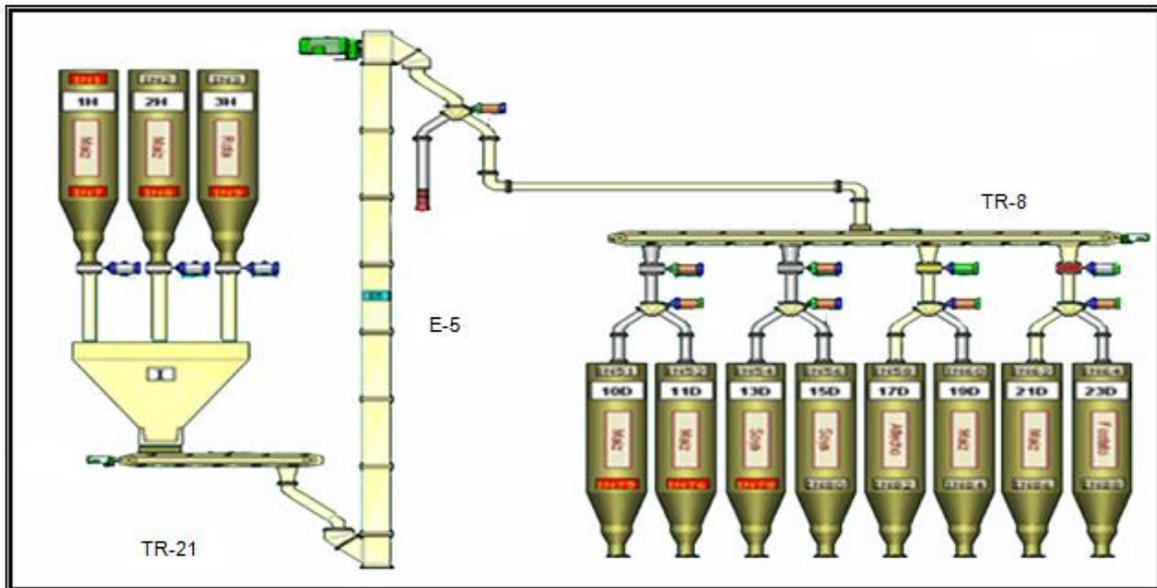


Figura 1.6 Recepción de materias primas por los rompedores 1 y 2.

Aceite: Se recibe por vía automotor y se deposita en cuatro tanques de almacenamiento.

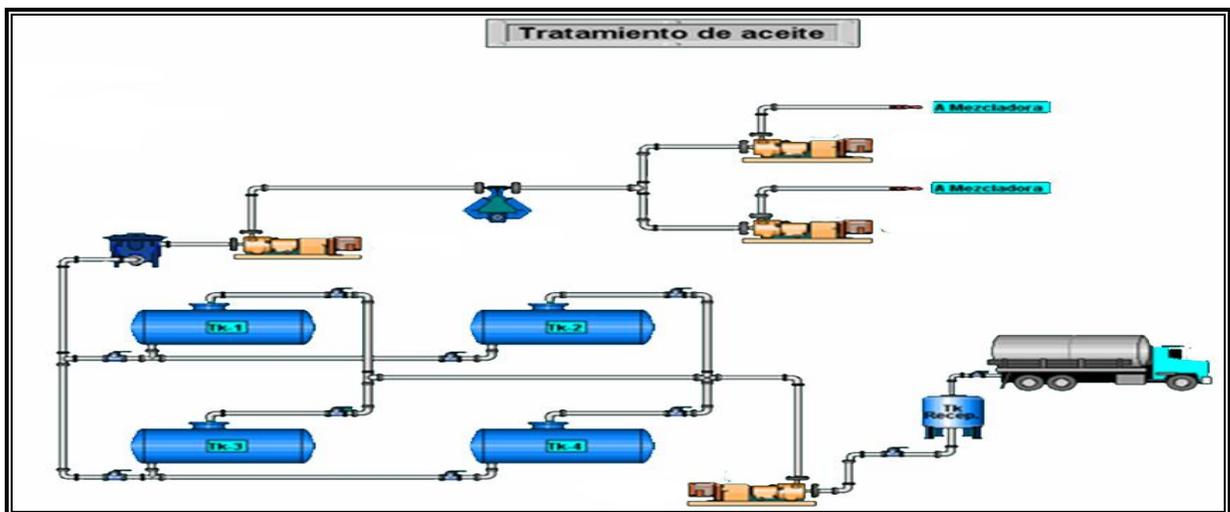


Figura 1.7 Recepción de aceite.

1.2.3. Molienda.

La molienda se realiza con cuatro molinos, y el resultado de esta molienda se envía a los tanques de dosificación.

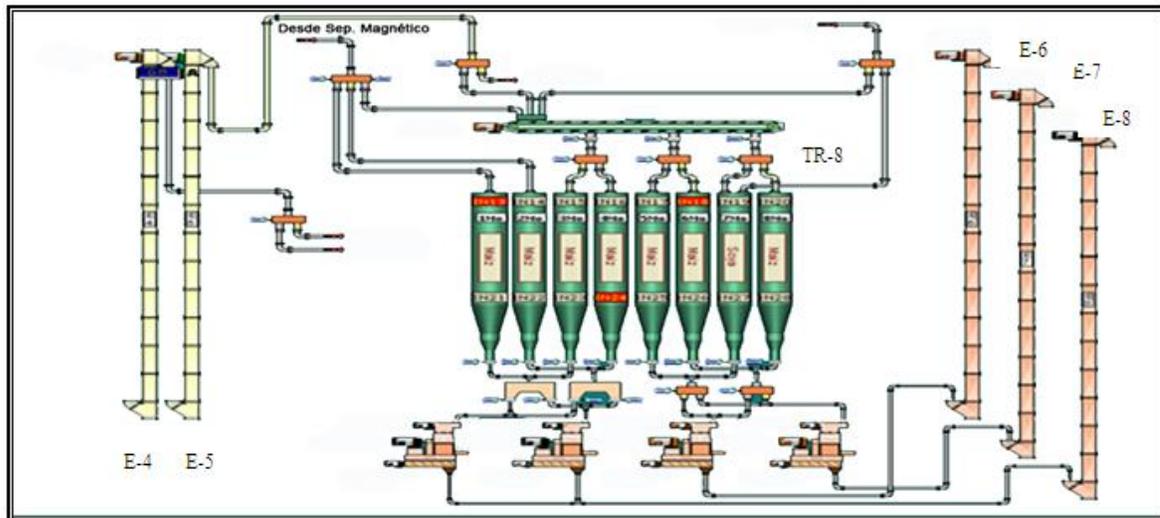


Figura 1.8 Proceso de molienda.

1.2.4. Dosificación y Mezclado

En el proceso de Dosificación y mezclado se lleva a cabo el pesado de forma automática de los diferentes componentes que intervienen en la fórmula de pienso que se va a fabricar. En esta etapa se mezclan uniformemente los productos que componen el pienso así como las premezclas y medicamentos en un tiempo determinado, luego ya el pienso está listo para ir al proceso de prensado, a carga a granel, a ensaque o a las celdas de melazado. La figura 1.9 muestra el proceso.

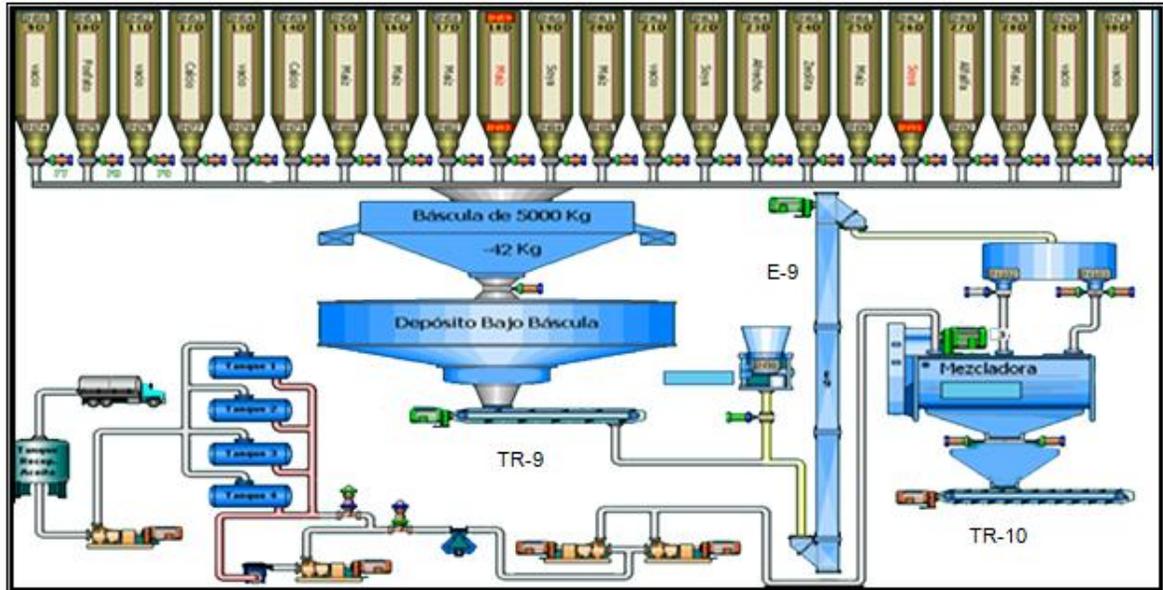


Figura 1.9 Proceso de dosificación y mezclado.

1.2.5. Prensado

En esta etapa del proceso (figura 1.10) se convierte el pienso de una harina en pellets, mediante la mezcla de vapor y pienso.

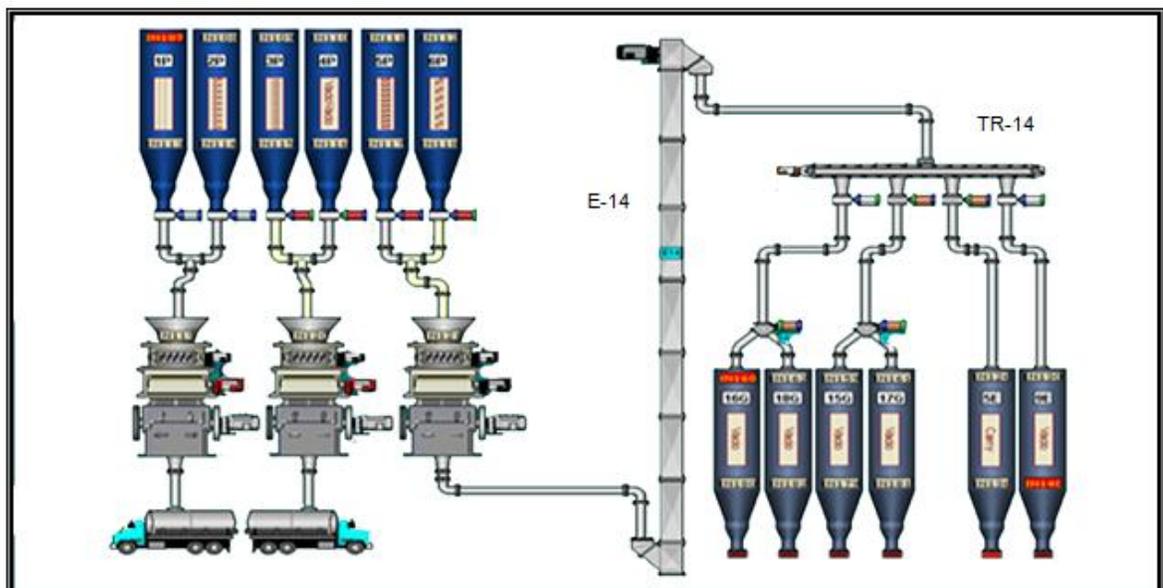


Figura 1.10 Proceso de prensado.

1.2.6. Ventas

Se realizan en sacos o a granel. Los clientes son los encargados del proceso de trasportación desde la fábrica hasta el lugar de destino. La figura 1.11 muestra el proceso de comercialización.

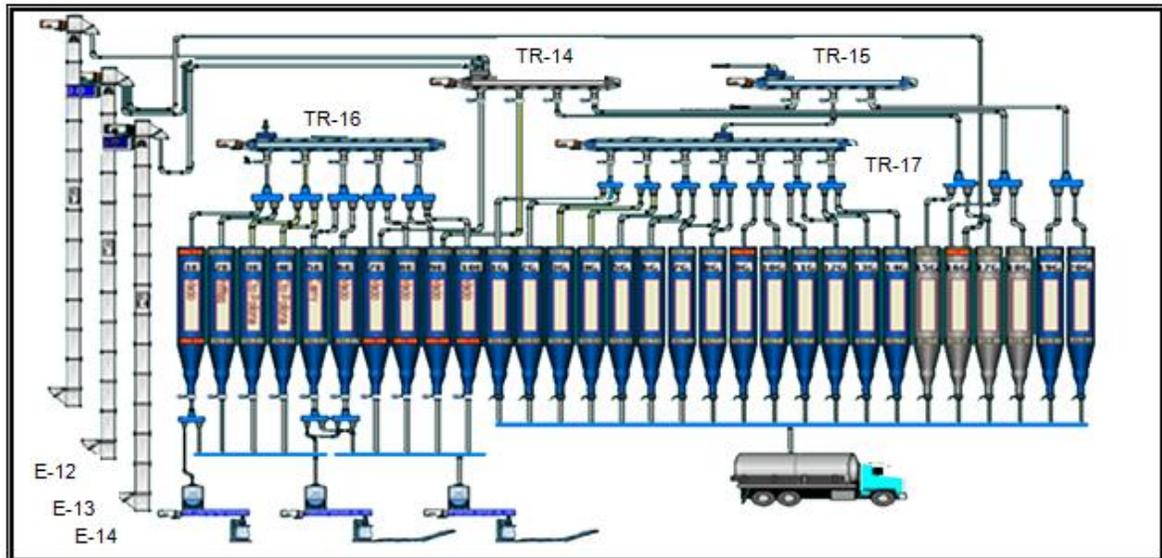


Figura 1.11 Proceso de comercialización.

1.3. Balance de consumo de portadores energéticos

En el desempeño diario de la Empresa productora de piensos Cienfuegos se utilizan cinco portadores energéticos fundamentales: Energía eléctrica, diesel, gasolina, Lubricantes y gas licuado. En las tablas 1.2 y 1.3 se muestran los consumos y los valores obtenidos en el año 2013

Tabla 1.2. Consumo de portadores energéticos por meses en el 2013.

Meses	Electricidad Mwh	Diesel (T)	Gasolina (T)	Gas licuado (T)	Lubricantes (T)
Enero	126,3	27,1	0,5	0,4	0,6
Febrero	150,1	33,0	1,7	0,1	0,5
Marzo	114,2	28,6	1,4	0,2	0,7
Abril	122,1	25,0	1,3	0,5	0,7
Mayo	140,2	27,8	1,2	0,5	0,9
Junio	133,0	27,9	1,6	0,6	0,7
Julio	145,9	26,1	1,4	0,3	0,5
Agosto	148,5	28,1	1,3	0,4	1,2
Septiembre	162,3	32,2	1,3	0,6	1,4
Octubre	144,8	26,9	1,1	0,8	0,8
Noviembre	132,9	34,6	1,0	0,3	1,1
Diciembre	141,9	34,8	1,4	0,5	1,2
TOTAL	1662.2	352.1	15.2	5.2	10.3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.3. Valor de los portadores energéticos por mes en el 2013.

Meses	Electricidad (MP)	Diesel (MP)	Gasolina (MP)	Gas licuado (MP)	Lubricantes (MP)	Total (MP)
Enero	36,6	31,5	0,7	0,5	1,7	71,0
Febrero	44,5	38,1	2,1	0,1	1,3	86,0
Marzo	32,4	33,0	1,8	0,3	1,8	69,2
Abril	36,0	28,7	1,6	0,7	1,9	68,9
Mayo	38,5	32,0	1,6	0,6	2,5	75,1
Junio	36,6	32,3	2,0	0,8	1,4	73,1
Julio	42,1	30,2	1,9	0,4	1,1	75,7
Agosto	43,8	32,5	1,7	0,5	1,9	80,5
Septiembre	46,7	36,9	1,6	0,7	2,7	88,6
Octubre	41,6	30,8	1,4	1,0	1,5	76,3
Noviembre	38,9	39,6	1,3	0,5	1,9	82,2
Diciembre	40,9	40,3	1,7	0,8	2,2	85,8
TOTAL	478,5	405,9	19,4	6,9	21,8	932,5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 1,4 se muestra la estructura de consumo de los portadores energéticos de la Empresa en toneladas de combustible convencional (TCC).

Tabla 1.4. Estructura de consumo de portadores energéticos en el 2013.

Portador	U/M	Consumo	Factor de Conversión	TCC	%
Electricidad	Mw/h	1662,2	0,37392	621,53	50,3875
Diesel	T	352,1	1,0588	372,80	30,22322
Gasolina	T	15,2	11,078	168,39	13,65104
Gas Licuado	T	5,2	11,631	60,48	4,903218
Lubricantes	T	10,3	1	10,30	0,835022
Total	T			1233,50	

Fuente: Elaboración propia.

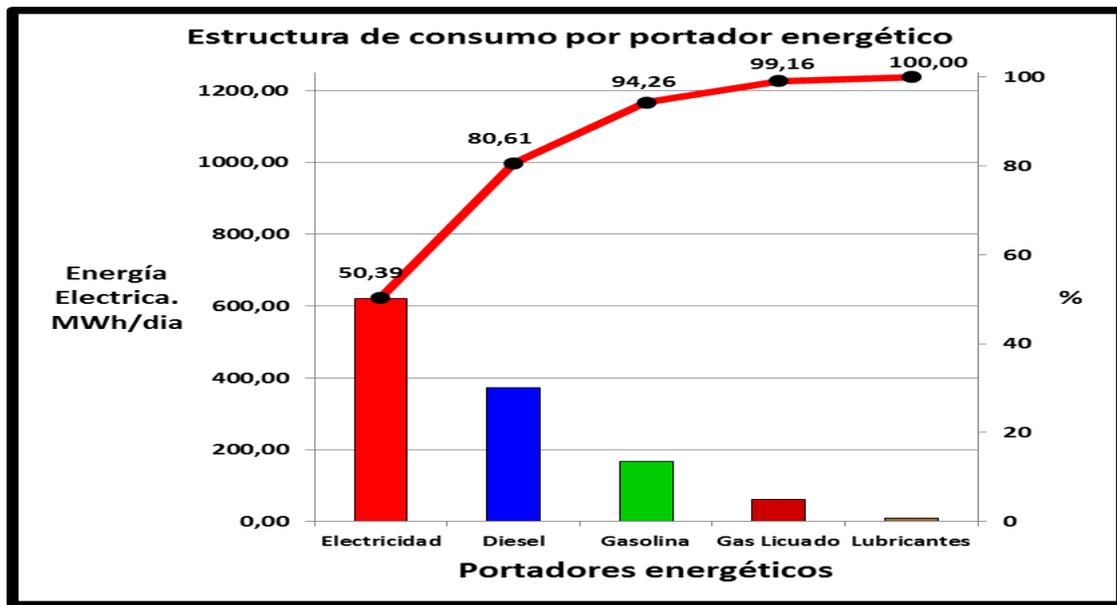


Figura 1.12. Consumo de portadores energéticos.

Fuente: Elaboración propia.

El portador energético sobre el cual debe concentrarse las acciones del trabajo, en correspondencia con los objetivos propuestos, es la energía eléctrica, que representa el 50,39 % del consumo total de energía de la fábrica. Ese portador energético deberá ser estratificado, para igualmente poder identificar los procesos de mayor peso en el consumo de dicho portador.

El consumo de energía eléctrica de la fábrica se mide de forma global al existir un solo metro contador que registra el consumo para todas las áreas. En la figura 1.13 podemos apreciar el consumo por meses del año 2013.

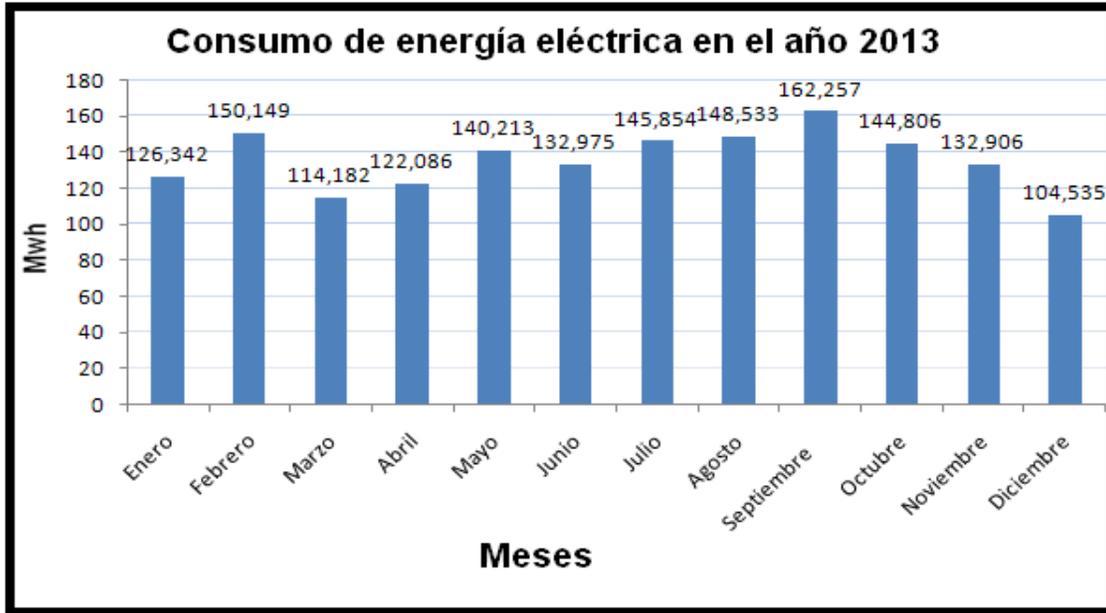


Figura 1.13. Consumo de energía eléctrica por meses 2013.

Fuente: Elaboración propia.

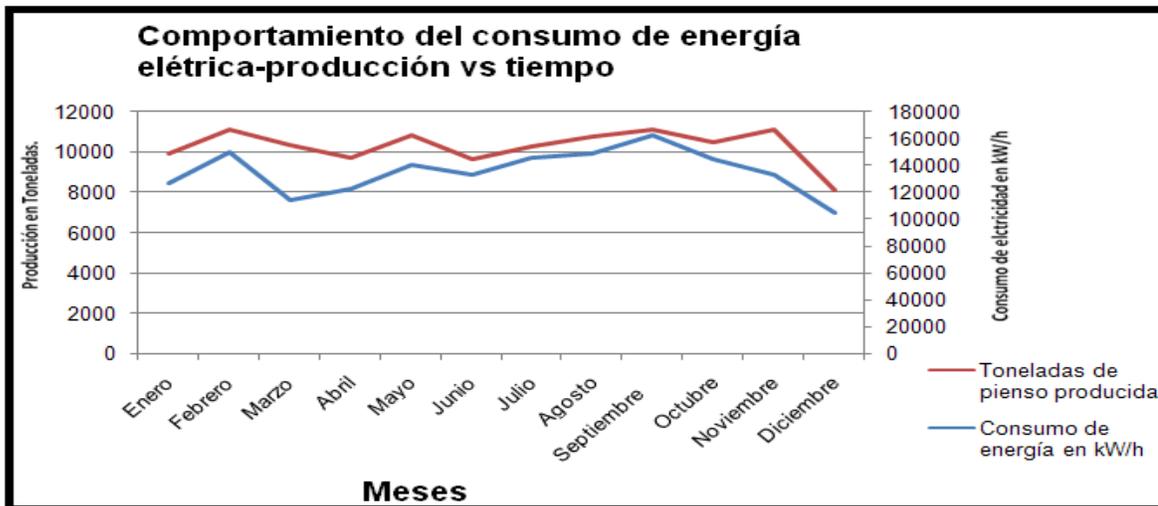


Figura 1.14. Comportamiento del consumo de energía eléctrica y la producción por meses.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 1.15 muestra los valores de consumo de energía eléctrica para las principales áreas del proceso de fabricación de piensos, lo cual permite identificar los procesos de molienda y dosificación y mezcla, como los mayores consumidores.

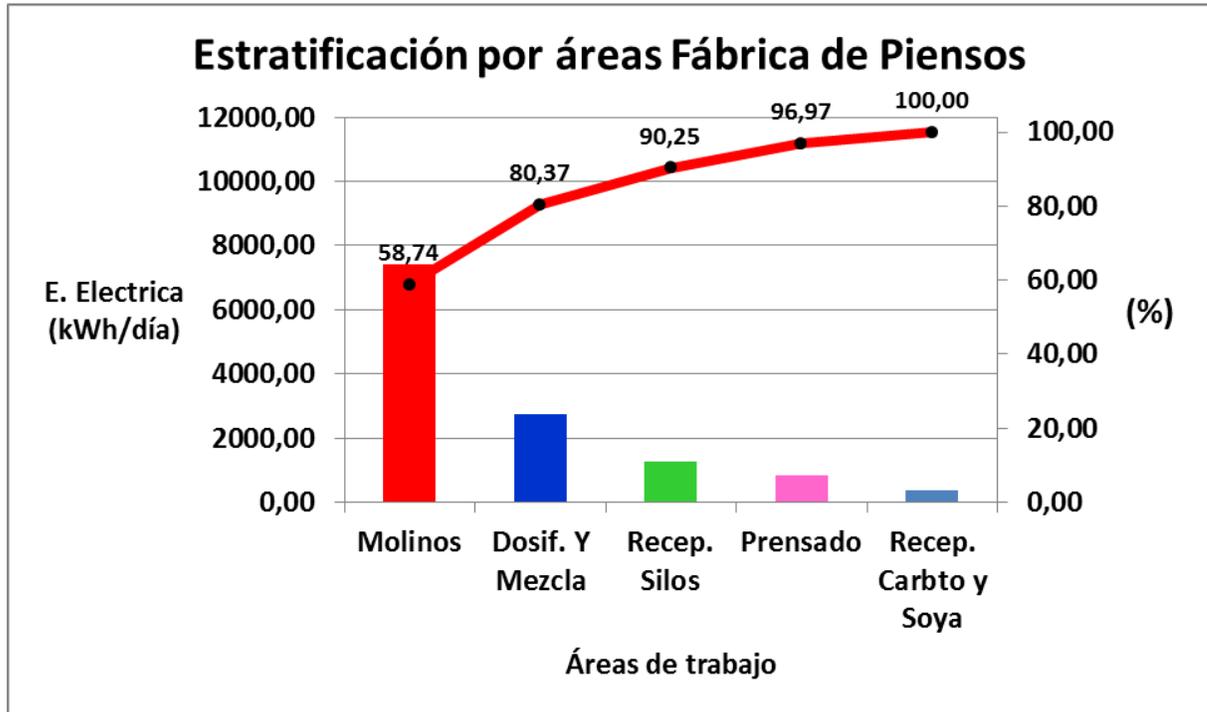


Figura 1.15. Estructura de consumo de electricidad por áreas. Año 2013.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la identificación de los procesos mayores consumidores, este trabajo se enfoca en estos los equipos que los componen.

Conclusiones parciales.

1. La necesidad aumentar la producción de carnes en espacios limitados debido fundamentalmente al crecimiento de la población constituye la causa principal del aumento en las producciones de piensos balanceados en el mundo.
2. En Cuba la mayoría de las fábricas de piensos utilizan tecnologías muy atrasadas. La Fábrica de piensos de Cienfuegos es una de las dos que en el país, se consideran modernas y con mayor nivel de automatización.
3. Los procesos de molienda y dosificación y mezcla, constituyen los mayores consumidores de energía eléctrica en el proceso de fabricación de piensos en la Fábrica de Cienfuegos.



Capítulo II

CAPÍTULO 2. Materiales y Métodos de la investigación.

2. Procesos molinación y dosificación y mezcla en la producción de piensos balanceados.

En los últimos años, se ha desarrollado de forma considerable la tecnología de fabricación de piensos balanceados. Este desarrollo vino marcado por las exigencias sobre la calidad física, la mejora nutritiva, la higiene microbiológica así como la flexibilización en la incorporación de nuevas y variadas materias primas. Particularmente se destaca el aumento en la incorporación de líquidos, especialmente grasas y melazas. En piensos de avicultura y porcino cada vez se trabaja con niveles energéticos más elevados, por lo que las grasas tienen un gran interés económico, pues su incorporación en porcentajes altos permite importantes ahorros.

La fabricación de piensos balanceados en Cuba a diferencia de la utilización de nuevas tecnologías (extrusión, expansión, maduración, doble granulación, etc.) como tendencia mundial se realiza de forma tradicional caracterizada por los procesos molienda, mezclado y prensado

Los procesos de Molienda y dosificación y mezcla constituyen los de mayor consumo energético.

2.1. Proceso de molinación.

La molinación es el primer procedimiento que sufren las materias primas (maíz, trigo y soya) para la elaboración de los piensos. En esta etapa se pretende conseguir la granulometría adecuada de las partículas en tamaño y forma según la presentación del pienso: Harina o pellet.

2.1.1. Generalidades

Actualmente existen diferentes tipos de molinos para lograr la disminución del tamaño de las partículas del producto:

- Molinos de anillo
- Molinos de rodillo
- Molinos de taza
- Molino de martillos

En la fabricación de los piensos compuestos se emplea habitualmente (más del 95%), el molino de martillos, y en algunas ocasiones el molino de rodillos.

Molino de rodillos: Se emplean para hacer copos, escamas o simplemente aplastar o desgarrar los granos. La actuación de este molino se fundamenta en la acción de dos cilindros que rotan en sentido contrario a la misma velocidad, dejando entre ellos el grano. Las superficies de los cilindros pueden ser irregularmente granuladas o con perfiles de sierra y en algunos casos uno puede tenerla lisa y el otro arrugada. Son frecuentes los molinos que tienen más de un par de rodillos.

Normalmente este tipo de molino se emplea en procesos en los que el grano es tratado previamente con vapor con el objetivo de obtener copos o escamas (Figura 2.1).



Figura 2.1. Molino de rodillos

Fuente: Catálogo Rosal Instalaciones Industriales S.A.

Molino de martillo: Es el más extendido en Europa y ha pasado por un periodo de desarrollo de cien años, habiendo experimentado mejoras esenciales en la última parte de este periodo. En la actualidad existe gran variedad de diseños de este tipo de molino en dependencia de:

- Orientación del eje principal. (horizontales y verticales).
- Velocidad de giro: 3000 rpm. ,1500 rpm. o variable
- Alimentación del producto: única y centrada o múltiple y repartida.
- Evacuación del molino: Inferior o lateral.
- Sistema de evacuación. Por depresión de aire o mecánica.

El más utilizado es el molino de martillos horizontal de 3000 rpm (Figura 2.2), pero la tendencia es hacia la instalación de molinos de martillos verticales de velocidad variable con alimentación repartida en varios puntos.



Figura 2.2. Molino de martillos.

Fuente: Catálogo Rosal Instalaciones Industriales SA.

La finalidad del molino de martillos es pulverizar y desintegrar la materia prima introducida en él, por medio de impactos y fricciones (fuerzas de rozamiento) entre partículas del material el cual que debe ser del tipo no abrasivo con durezas de 1.5 o menos. El eje del rotor puede ser vertical u horizontal,

predominando este último. Los martillos están acoplados al eje; y todo el conjunto se aloja en una carcasa, la misma que posee placas de molienda.

El espacio existente entre los martillos y las placas, es importante en la determinación de la finura del producto molido. Otro factor preponderante es la velocidad del rotor, velocidad de alimentación, número de martillos y diámetro de agujeros en la criba.

La alta velocidad de los martillos produce energía cinética que se disipa en el material causándole desintegración.

La Tabla 2.1 resume las ventajas y desventajas de los molinos de martillo.

Tabla 2.1. Ventajas y Desventajas del Molino de Martillos.

Ventajas	Desventajas
Simplicidad, durabilidad y versatilidad.	Inhabilidad para producir un molino uniforme
Manipula cualquier tipo de granos.	Requerimientos de alta potencia.
Bajo costo de mantenimientos.	Menor eficiencia en la utilización de energía.
Conserva la eficiencia original a través de varios períodos de tiempo.	
Puede moler granos con alto porcentaje de humedad.	Elevación de temperatura.
Mayor homogeneidad en la molienda.	Mayor pérdida de humedad.
Puede moler ingredientes mezclados.	Mayor costo de mantenimiento

Fuente: Catálogo Rosal Instalaciones Industriales SA.

El molino que se encuentra en la planta de balanceado está constituido por los elementos siguientes:

1. Tolva de alimentación.
2. Carcasa.
3. Eje.
4. Chumaceras.

5. Rotor.
6. Martillos.
7. Cribas.
8. Tolva de descarga.

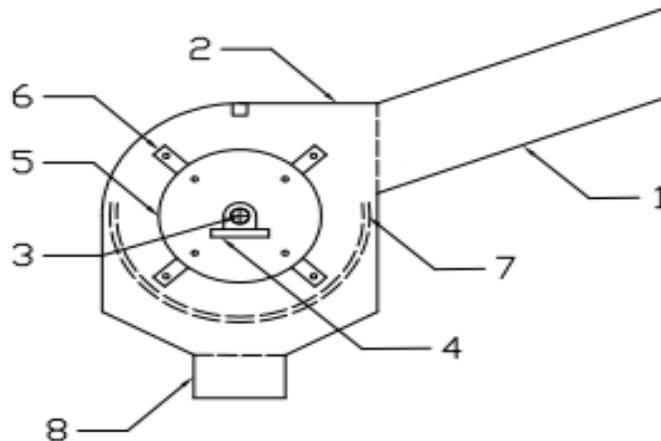


Figura 2.3. Molino de martillos.

Fuente: Catálogo Rosal Instalaciones Industriales SA.

Consta de una tolva alimentación con mecanismo de regulación de martillos fijos u oscilantes montados en un eje de rotación, de una criba y de un sistema de descarga por gravedad. En el eje se alojan cuatro rotores redondos en los cuales se encuentran treinta y seis martillos distribuidos equitativamente en las esquinas de cada rotor. En la carcasa se encuentra colocadas platinas de impacto para facilitar el mejoramiento de trituración.

Durante su funcionamiento, el material que entra en el molino es golpeado por un conjunto de martillos girando a baja velocidad. De esta manera, se produce una primera rotura por impacto. Estos martillos lanzan el material contra el interior del molino, donde se encuentran una serie de placas de impacto, donde el material se rompe por segunda vez por impacto. Este proceso se repite mientras el material se mantiene en el interior del molino.

Cuando es necesario, se equipa al molino con una serie de parrillas o cribas que determinarán el tamaño máximo de la partícula una vez molida. En el paso a través de las parrillas se produce una última rotura por cizalladura.

2.1.2. Área de molinos en la Fábrica de piensos Cienfuegos

En el área de molienda se dispone de cuatro molinos (1, 2, 3, 4) el molino 1 esta deshabilitado por rotura, el molino 2 y 4 debido a la conformación de la alimentación desde las celdas está moliendo maíz, el molino 3 está destinado a moler soya, se utilizan diferentes tipos de tamices desde 2 hasta 5 mm para asegurar las diferentes granulometrías especificadas por piensos, generalmente se fija según el tamiz que se esté utilizando el tipo de materia prima que se va a molinar, en el molino 3 con un tamiz de 5 mm, en los molinos 2 y 4 con tamices variables el 2 es de 3 mm y el 4 de 5 mm dado esto todos los molinos no hacen las mismas ton/h, el molino 3 y 4 utilizan cada uno una exclusiva para la descarga del producto el 1 y 2 vierten el producto directamente a un transportador sin fin, el resultado de esta molienda se envía a las celdas de dosificación.

A los molinos se les controla la molienda horaria de 25 T/h, con vista a lograr que el consumo de energía eléctrica sea lo más estable posible, para lograrlo se le regula la entrada del producto al molino colocando un variador de velocidad al alimentador de cada molino. Para garantizar el buen estado técnico de los martillos el molino gira ocho horas en un sentido y ocho horas en otro sentido. Generalmente se fija según el tamiz que se esté utilizando el tipo de materia prima que se va a molinar, en el molino 3 con un tamiz de 5 mm, en los molinos 2 y 4 con tamices variables el 2 es de 3 mm y el 4 de 5 mm.

Para evitar la emisión de polvo y contribuir a garantizar una eficiencia adecuada, los molinos tienen acoplado un sistema de aspiración de polvo por mangas.

La tabla 2.2 resume las características de los equipos que conforman el área de molienda de la fábrica de Cienfuegos.

Tabla 2.2. Equipos que integran el área de molienda.

Equipos	Capacidad (t/h)	Potencia (kW)	Velocidad (rpm)	Voltaje (V)	I nominal (A)
Molino 1	25	132	985	440	232
Molino 2	25	132	985	440	232
Molino 3	25	132	985	440	232
Molino 4	25	132	985	440	232
Elevador E6	30	11	1750	440	19,4
Elevador E7	30	11	1745	440	22,5
Elevador E8	60	15	1750	440	25
Extractor del molino 1		7,5	1750	440	15
Extractor del molino 2		7,5	1750	440	15
Extractor del molino 3		7,5	1750	440	15
Extractor del molino 4		7,5	1750	440	15
TS-5 del molino 1. (2*2,2)	25	4,4	1430	440	4,9
TS-6 del molino 2. (2*2,2)	25	4,4	1430	440	4,9
TS-7 del molino 3. (2*2,2)	25	4,4	1430	440	4,9
TS-9 del molino 4. (2*2,2)	25	4,4	1430	440	4,9
TS-14 que extrae del molino y tira a una exclusiva	25	2,2	1750	440	9,3
TS-3 que extrae del molino y tira a una exclusiva	25	2,2	1750	440	9,3
TS-10 (Molino 1- Elevador E8)	50	3	1750	440	9,3
TS-11 (Molino 1- Elevador E8)	25	2,2	1750	440	5,8
TS-12 (hélice invertida) Molinos 1 y 2 - Elevador E8	25	2,2	1750	440	3,4
TS-13 (Molino 3 - Elevador E6)	30	2,2	1750	440	5,8
TS-13(Molino 4 - Elevador E7)	30	2,2	1750	440	3,4
TS-2 (Elevador E6 - Distribuidor).	25	2,2	1750	440	3,4
Exclusa del molino 3 (al Elevador E6)	30	0,37	1750	440	0,34
Exclusa del molino 4 (al Elevador E7)	30	0,37	1750	440	0,34
Yakov Distribuidor D2 a las celdas de dosificación)	30	0,2	1750	440	0,18
Yakov Distribuidores D3, (a las celdas de dosificación)	30	0,2	1750	440	0,18
Yakov Distribuidores D4 (tiran a las celdas de dosificación)	30	0,2	1750	440	0,18
TS-1 (Elevador E8 - Distribuidor Yakov 1)	25	2,2	1750	440	5,8
TS-2 (Elevador E18 - Distribuidor Yakov 2)	25	2,2	1750	440	5,8
TS-3 (Elevador E7 - Distribuidor Yakov 3)	25	2,2	1750	440	5,8

Fuente: Elaboración propia

La figura 2.4 muestra el diagrama del proceso de molienda.

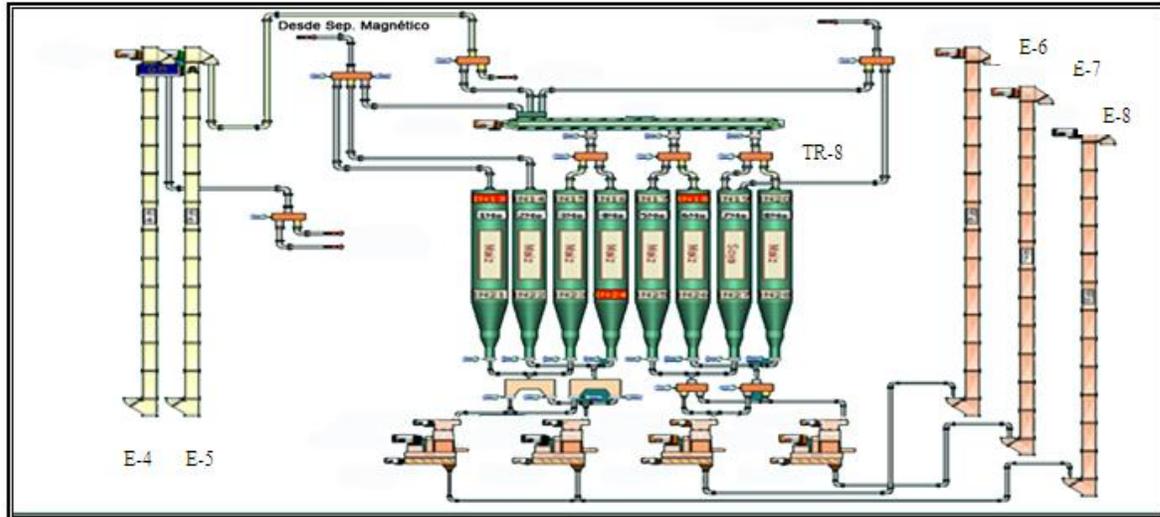


Figura 2.4. Proceso de molienda.

Dispone de ocho celdas con una capacidad de almacenaje de 67.125 toneladas métricas cada una, para un total 537 toneladas métricas. En estas se almacenan las materias primas en granos para posteriormente ser molidas, estas son: trigo, maíz y soya.

2.2. Proceso de mezclado

Dentro de los distintos procesos que intervienen en la producción de los alimentos balanceados para animales, sin duda el mezclado constituye uno de los más relevantes. Combinar ingredientes con características únicas en una ración formulada que pueda aportar todos los requerimientos nutricionales a un animal, crea un valor agregado que no existe en los ingredientes de manera individual.

Conocer los fundamentos del proceso de mezclado y los tipos básicos de mezcladoras permite a un productor optimizar la fabricación y la formulación de la dieta animal.

Como punto de partida debemos considerar que el mezclado representa una de las etapas dentro del proceso integral de mezclado y racionamiento.

Una vez que los ingredientes han sido molidos y pesados, el siguiente paso es mezclarlos adecuadamente para que el alimento quede perfectamente homogéneo. Las cantidades de ingredientes que se van a mezclar dependen del tipo de dieta que se esté realizando, la cual previamente debe haber sido balanceada de acuerdo a la composición de las materias primas.

Aunque las mezclas que se realizan en las distintas plantas de alimentos son diferentes tanto en ingredientes como en cantidad, el orden de mezclado es prácticamente el mismo en todos los casos (Maíz, soya, carbonato, fosfato y microcomponentes).

La mezcladora es el lugar adecuado para la incorporación de grasas, vitaminas, aminoácidos, etc. En la calidad de la mezcla influyen una serie de factores tales como:

1. Tiempo de mezcla: éste es de aproximadamente 4 minutos pero dependerá del tipo de mezcladora y de los ingredientes a mezclar. Es recomendable hacer ensayos (microtrazadores o algún parámetro químico) para ver el tiempo óptimo de mezcla en cada caso.
2. Granulometría: las partículas muy gruesas o extremadamente finas desfavorecen la mezcla.
3. Densidad y forma de las partículas: las más pesadas tenderán a ir al fondo y las más redondas fluirán mejor.
4. Otros factores: la adición de líquidos provoca adherencias y disminuye por este motivo la eficiencia de la mezcladora. Así mismo provocan adherencias las partículas cargadas electrostáticamente.

2.2.1. Generalidades

Los dos tipos de mezcladores más comunes son: los verticales y los horizontales, aunque también hay de tambor giratorio y otros sistemas implementados.

Las mezcladoras verticales incluyen uno o dos tornillos helicoidales verticales giratorios situados en un recipiente cilíndrico cónico, que pueden ser estacionarios o rotatorios, los cuales mueven hacia arriba los ingredientes realizando el proceso de mezclado.

El tornillo puede estar fijo en el centro del depósito o puede girar y hacer órbitas alrededor del eje central, pasando cerca a las paredes del tanque. Es más lenta que la mezcladora horizontal y requiere una distancia vertical considerable.

Se utiliza para realización de una premezcla en el balanceado y consta de los siguientes elementos: Carcasa cilíndrica con cono en su base colocada en forma vertical el tiempo de mezclado esta entre 15-30 min y Tornillo helicoidal encargado de mezclar los productos.

La Figura 2.5 muestra una mezcla vertical.

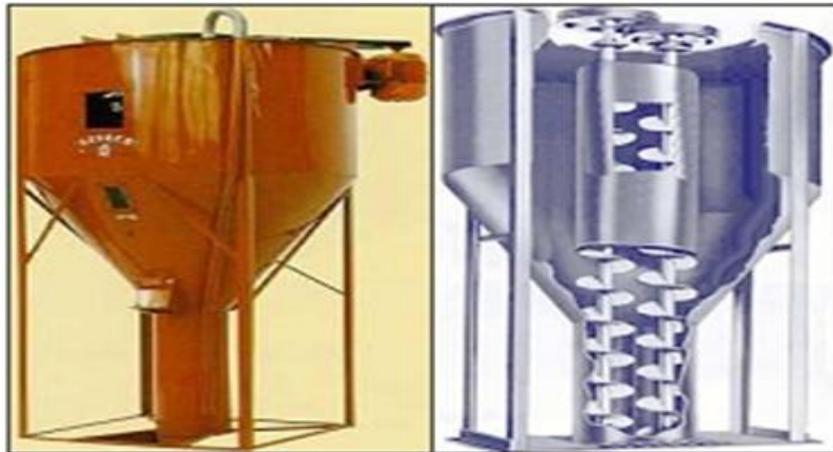


Figura 2.5. Mezcladores Verticales

Fuente: Catálogo Rosal Instalaciones Industriales SA.

La Tabla 2.3 compara las ventajas y desventajas de las mezcladoras verticales.

Ventajas	Desventajas
Baja inversión inicial	Mayor tiempo de mezclado.
Bajo costo de mantenimiento.	Inclusión limitada de líquidos.
Menor requerimiento de espacio	Mayor requerimiento de limpieza.

Fuente: Catálogo Rosal Instalaciones Industriales SA.

Las mezcladoras horizontales son las más utilizadas en la fábrica de piensos, y constan de una carcasa de forma cilíndrica, un eje rotor acoplado a un motor que lleva incorporado una doble hélice con aspas, listones o paletas. Recientemente, se ha incrementado también el uso de las mezcladoras de tambor rotatorio, especialmente para la producción de alimentos especializados. La mezcladora horizontal de doble listón es la mezcladora más utilizada actualmente en la industria de alimentos balanceados y la que ofrece el menor tiempo de mezclado, son especialmente útiles con ingredientes secos y de fácil movilidad. Su funcionamiento se basa en dos espirales de listones internos y dos espirales de listones externos en el lado opuesto de los internos, los cuales permiten transportar los ingredientes de un extremo a otro mientras lo revuelven.

Por su parte, las mezcladoras horizontales de paletas son útiles cuando se trata de mezclar ingredientes que requieren añadir una mayor proporción de líquidos o que son más difíciles de revolver. Este tipo de mezcladoras se pueden encontrar con distintas configuraciones, la más común incluye dos juegos de paletas, interno y externo, que mueven los ingredientes en direcciones opuestas realizando el proceso de mezclado. El uso de las mezcladoras de paletas se ha incrementado derivado de las mejoras realizadas a su eficiencia de mezclado.

Este tipo de mezcladora posee una buena homogeneidad en un corto espacio de tiempo, aproximadamente de 4 a 5 min.

La descarga generalmente es inferior y este caso hacía una transportadora por cadena, por lo que el tiempo de descarga es muy corto y el vaciado es completo, además, requieren de menor tiempo de mezclado (3-5 min) que las de tipo vertical y aceptan del 10 al 15% de líquidos. Las desventajas de este tipo de mezcladoras es su alto costo, requieren de mayor mantenimiento y espacio y no se pueden mezclar pequeñas cantidades de producto.

La Tabla 2.4 compara las ventajas y desventajas de las mezcladoras verticales.

Ventajas	Desventajas
Menor tiempo de mezclado.	Alto costo de fabricación.
Alta inclusión de líquidos.	Mayor espacio físico.
Buen vaciado.	Altos HP.

Fuente: Catálogo Rosal Instalaciones Industriales SA.

La Figura 2.6 muestra una mezcla vertical.



Figura 2.6. Mezcladora Horizontal.

Fuente: Catálogo Rosal Instalaciones Industriales SA.

2.2.2. Área de mezclado en la Fábrica de piensos Cienfuegos

En esta etapa se mezclan uniformemente los productos que componen el pienso así como las premezclas y medicamentos en un tiempo determinado.

Utilizando las materias primas almacenadas en las 22 celdas de dosificación y la báscula de 5000 Kg se procede a confeccionar los diferentes tipos de piensos, trabajo que se realiza de forma automática, y una vez que el operador introduce en la computadora la receta del tipo de pienso a realizar da el comando de arranque, las raseras oscilantes comienzan a dosificar los componentes.

Después de terminada una templa la misma es evacuada hacia el depósito pulmón con la ayuda del transportador de cadena TR – 9 y el elevador de canjilones E – 9, en este trayecto si la receta exige la adición de medicamentos, entonces estos son adicionados de forma manual con la ayuda de la tolva de medicamentos. Una vez que toda la templa se encuentre en el depósito pulmón, se abren las raseras que están debajo del mismo y se deja pasar el producto a la mezcladora durante un tiempo de cuatro minutos y se le adiciona aceite si lo lleva dicha receta, con la ayuda de las bombas destinadas para este efecto. Transcurrido el tiempo de mezcla el pienso se lleva a la criba con la intervención del transportador de cadena TR – 10 y el elevador de canjilones E – 10 o E – 11 y después de pasar por la criba, con las ayuda de los transportadores de cadena TR – 11, TR – 13, TR – 14, TR – 15, TR – 16 y TR – 17 el pienso listo para ir al proceso de prensado, a carga a granel, a ensaque o a las celdas de melazado. Todo el proceso de mezclado se muestra en la figura 2.7.

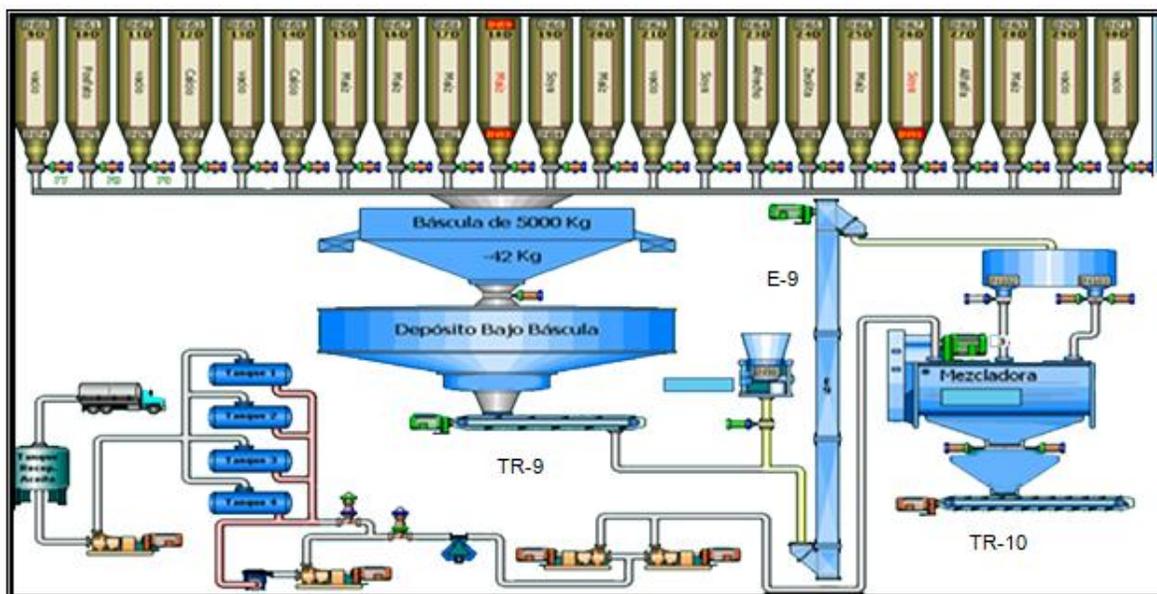


Figura 2.7. Proceso de dosificación y mezclado.

La tabla 2.5 resume las características de los equipos que conforman el área de dosificación y mezcla de la fábrica de Cienfuegos.

Tabla 2.5. Equipos que integran el área de Dosificación y mezcla.

Equipos	Capacidad (t/h)	Potencia (kW)	Velocidad (rpm)	Voltaje (V)	I nominal (A)
Mezcladora	60	75	1775	440	120
Elevador E-11	60	21	1750	440	36
Criba	60	18,5	1750	440	37
Transportador de cadena TC-9	60	11	1750	440	21
Bomba de aceite para piensos avícolas (2*7,4)		7,4		440	
Bomba de llenado de tanques.		7,4		440	
Bomba de impulso para llenado de tanques.		7,4		440	
Transportador de cadena TC-10	60	7	17750	440	18
Transportador de cadena TC-11	60	5,3	1750	440	9,3
Transportador de cadena TC-16	60	2,2	1715	440	4,32
Transportador de cadena	60	3,6	1750	440	7,3

TC-15					
Elevador E-9	60	11	1750	440	25
Transportador de cadena TC-17	60	4	1735	440	9
Elevador E-10	60	21	1750	440	36
Transportador de cadena TC-13	70	2,9	1700	440	5,4

Fuente: Elaboración propia

Para el proceso de dosificación y mezclado se almacenan las materias primas en celdas, la fábrica cuenta con veintidós celdas, donde 12 de ellas tienen una capacidad de almacenaje de 340 toneladas métricas, de ellas 6 con 335 toneladas métricas y 4 con 205 toneladas métricas, para un total de 6910 toneladas métricas. En ellas se almacenan las diferentes materias primas molidas que intervienen en el proceso de dosificación, es decir en el proceso de confección de los piensos, estas son: trigo, maíz, afrecho, soya, calcio, fosfato, harina de pescado, etc.

2.3. Sistemas de mediciones.

2.3.1. Programa de supervisar y manejar la fábrica.

La fábrica de Piensos Balanceados Cienfuegos cuenta con una automatización distribuida SIEMENS con CCMs inteligentes, Master ASI, PLC S7400 y sistema supervisorio WINCC.

WINCC es el sistema de supervisión y control de SIEMENS sobre el que pueden actuar los operadores de la planta. Dispone de pantallas sinópticas en 3D con todo el flujo de producción, controles adecuados para operar cada elemento en el proceso, alarmas y registros de alarma, graficadores de tendencia y tiempo real para todas las señales del proceso que es necesario analizar, en él se puede tomar datos de consumo de cada uno de los motores(A), temperaturas (C°) de la fábrica de piensos.

Con el sistema SCADA SIMATIC WinCC, Siemens se ofrece un sistema innovador, escalable proceso de visualización con numerosas funciones de alto rendimiento para el monitoreo de los procesos automatizados. Ya sea en un sistema de un solo usuario o un sistema multiusuario distribuido con servidores redundantes, el sistema ofrece la funcionalidad completa para todas las industrias y cuenta con la apertura óptima.

Para la confección de los gráficos y tablas que soportan los análisis en la discusión de los resultados se utilizaron las prestaciones del sistema y se tomaron mediciones instantáneas en los molinos y la mezcladora

El sistema SCADA ofrece la máxima funcionalidad y una interfaz de usuario fácil de usar. Con este sistema configurable y escalable, que tiene la ventaja de la apertura absoluta tanto en oficinas como en la planta se logra monitorear en tiempo real las condiciones de producción y se ofrecen numerosas opciones y complementos que permiten además ampliar el ámbito de actuación.

Conclusiones parciales.

1. La fabricación de piensos balanceados en Cuba se realiza de forma tradicional caracterizada por los procesos molienda, mezclado y prensado y se diferencia de la tendencia mundial, que utiliza nuevas tecnologías (extrusión, expansión, maduración, doble granulación, etc.)
2. La molinación es el primer procedimiento que sufren las materias primas para la elaboración de los piensos, mientras que la dosificación y mezclado combinan los ingredientes que aportan a la ración formulada los requerimientos nutricionales que no existe en los ingredientes de manera individual. Ambos constituyen los de mayor consumo energético en el proceso de fabricación de piensos balanceados.
3. El sistema de supervisión WINCC y control de SIEMENS con el que cuenta la fábrica monitorea las condiciones de producción; brinda todos los datos y valores de los parámetros necesarios que permite operar y controlar cada elemento en el proceso en tiempo real y ofrece numerosas opciones y complementos que posibilitan ampliar el ámbito de actuación.



Capítulo III

CAPÍTULO 3. Discusión de los resultados.

3.1. Análisis energético de los procesos de molinación y dosificación y mezcla.

3.1.1. Elaboración de la línea base de Energía vs. Producción para la Fábrica de Piensos Cienfuegos.

Para la confección de línea base de energía contra producción se adecuó la producción del año 2013 y se tomaron los valores diarios de molida y los consumos energéticos, debido a que existieron inconsistencias en la información de los datos energéticos productivo, pues inicialmente en los registros se consideraba como producción la venta de producto y no el producto procesado en el tiempo de control del consumo eléctrico de la fábrica.

La figura 3.1 muestra el procesamiento de esta información.

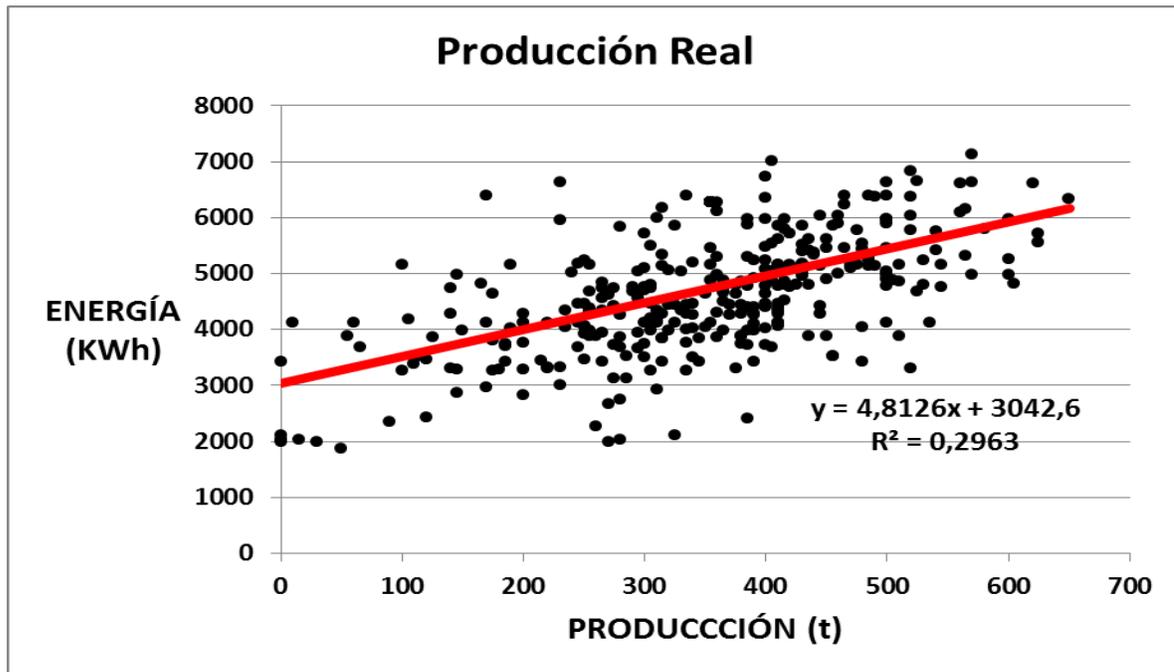


Figura 3.1. Gráfico de energía eléctrica vs. Producción. Año 2013

Fuente: Informe al Consejo de Dirección de la Fábrica del Grupo de Consultores del CEEMA, para la implantación de la norma ISO 50001.

En la figura anterior se aprecia una alta dispersión de valores y un bajo valor del **Coefficiente Cuadrático de Correlación ($R^2=0,29$)**. Esto no permite utilizarla como Línea Base Energética de la organización, por lo que se decidió realizar el filtrado de datos y volver a graficar la Energía vs. Producción, con el objetivo de eliminar de la base de datos aquellos valores que excesivamente dispersos y que consecuentemente, se distanciaban mucho del comportamiento medio.

La figura 3.2 muestra la gráfica con los datos filtrados.

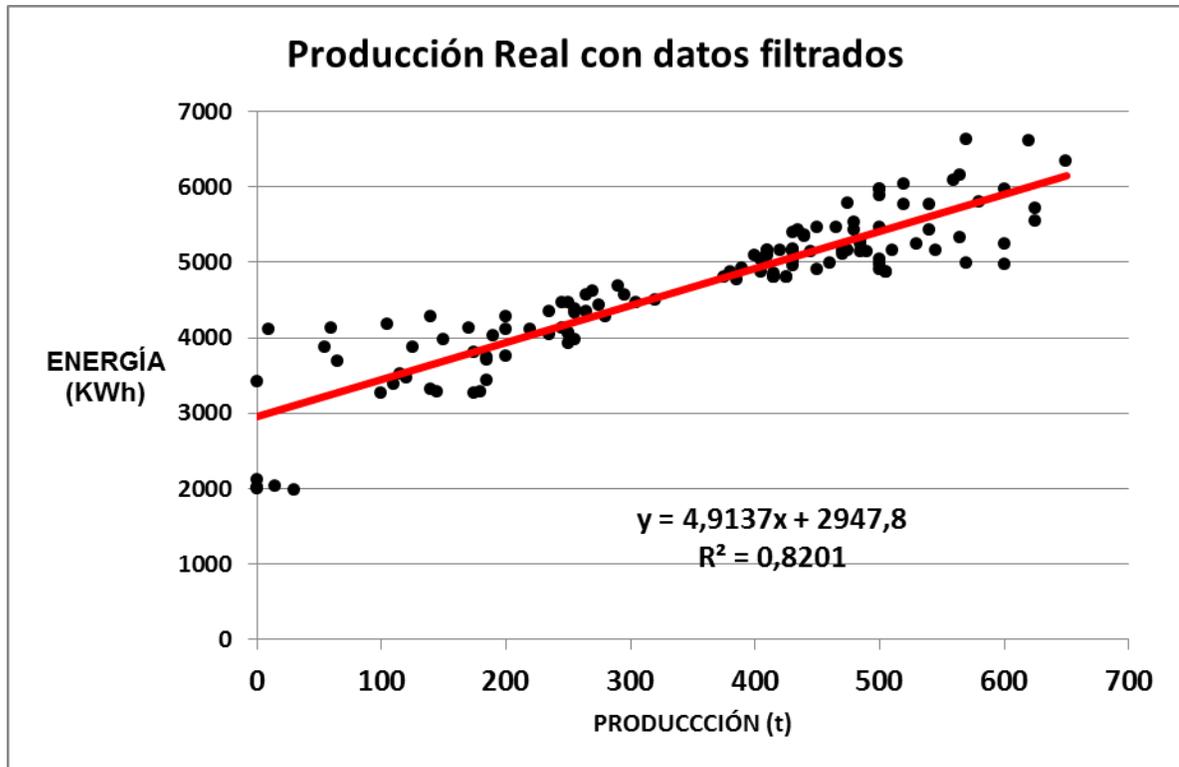


Figura 3.2. Gráfico de energía eléctrica vs. Producción. Año 2013. (Datos filtrados)

Fuente: Informe al Consejo de Dirección de la Fábrica del Grupo de Consultores del CEEMA, para la implantación de la norma ISO 50001.

En la figura 3.2. Se aprecia que existe una menor dispersión y que el valor del Coeficiente Cuadrático de Correlación (R^2) alcanza valores de 0,82, superior a 0,75, valor generalmente considerado como el límite mínimo para estos tipos de correlación. Este se debe tomar por la empresa como su **Línea Base Energética**, hasta tanto no se procese y obtenga un gráfico de mayor Coeficiente Cuadrático de Correlación.

En la figura 3.3 se da el gráfico que también debe ser usado como Línea Base Energética, pero tomando el Indicador de Desempeño Energético (IDEn) vs. Producción Diaria. Este gráfico es un excelente criterio para el control productivo, ya que permite conocer día a día el estado del comportamiento productivo al comparar el Índice de Consumo real con el obtenido de la gráfica para un nivel de producción dado.

Observe que el IDEn en una función del nivel productivo y que a partir de producciones inferiores a valores de 320 a 340 t/día, el consumo de energía por tonelada procesada se incrementa y que este debe ser el valor de producción límite inferior por debajo del cual no se debe iniciar el proceso productivo si se requiere que sea energéticamente eficiente.

3.1.2 Elaboración de la línea base del Indicador de desempeño energético (IDEn) vs. Producción.

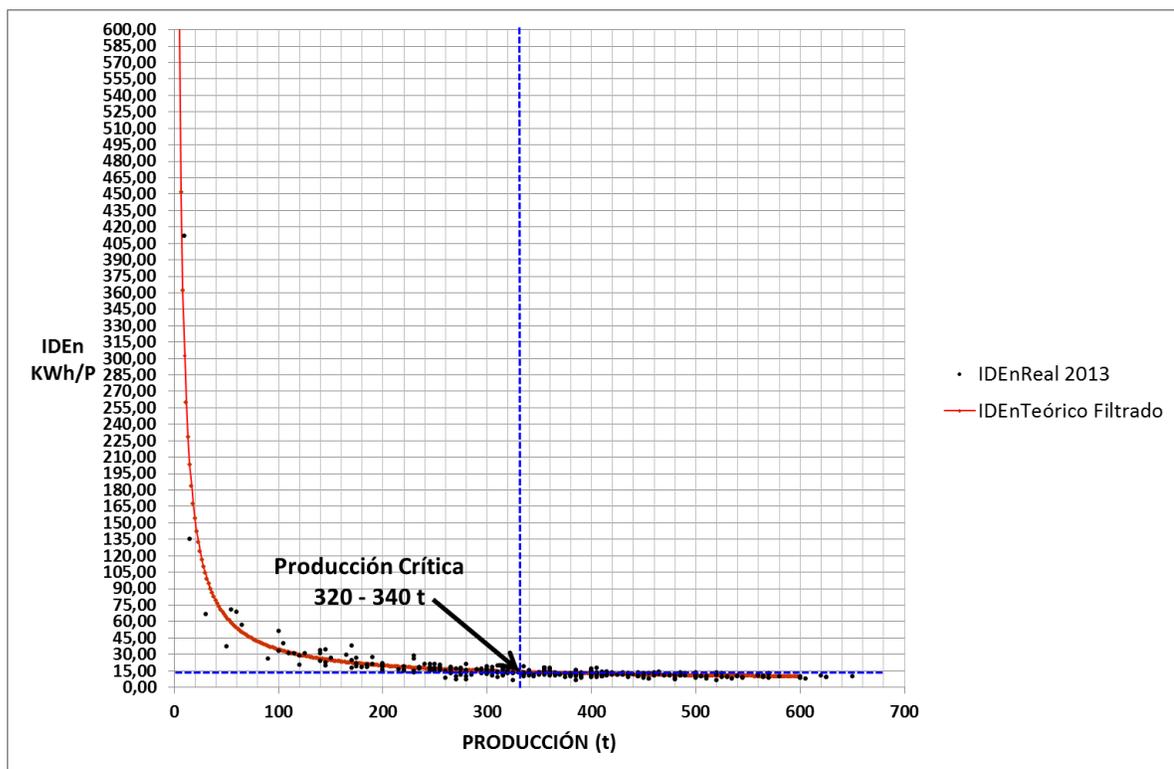


Figura 3.3. Gráfico del Indicador de Desempeño Energético (IDEn) vs. Producción. Año 2013. (Datos filtrados).

Fuente: Informe al Consejo de Dirección de la Fábrica del Grupo de Consultores del CEEMA, para la implantación de la norma ISO 50001.

3.2. Elaboración de la línea base de Energía vs. Producción para los procesos de molinación y dosificación y mezclado.

De manera similar, para la confección de línea base de energía contra producción de los procesos de molinación y dosificación y mezcla, se adecuó la producción de los meses Enero, Febrero, Marzo, Abril y Mayo del año 2014 y se tomaron los valores diarios de molda y los consumos energéticos.

Para lograr obtener los valores de producción y consumo de los procesos de molinación y de dosificación y mezcla, se partió de los registros de consumo y producción de toda la planta, y dichos parámetros se distribuyeron en estos procesos a partir del porciento que significan los consumos de energía eléctrica de ambos procesos con relación al consumo total de la fábrica y considerando que los molinos procesan aproximadamente el 97 % del total de la producción, mientras que la mezcladora, procesa el 100 % de esta.

3.2.1. Elaboración de la línea base de Energía vs. Producción para el proceso de molinación.

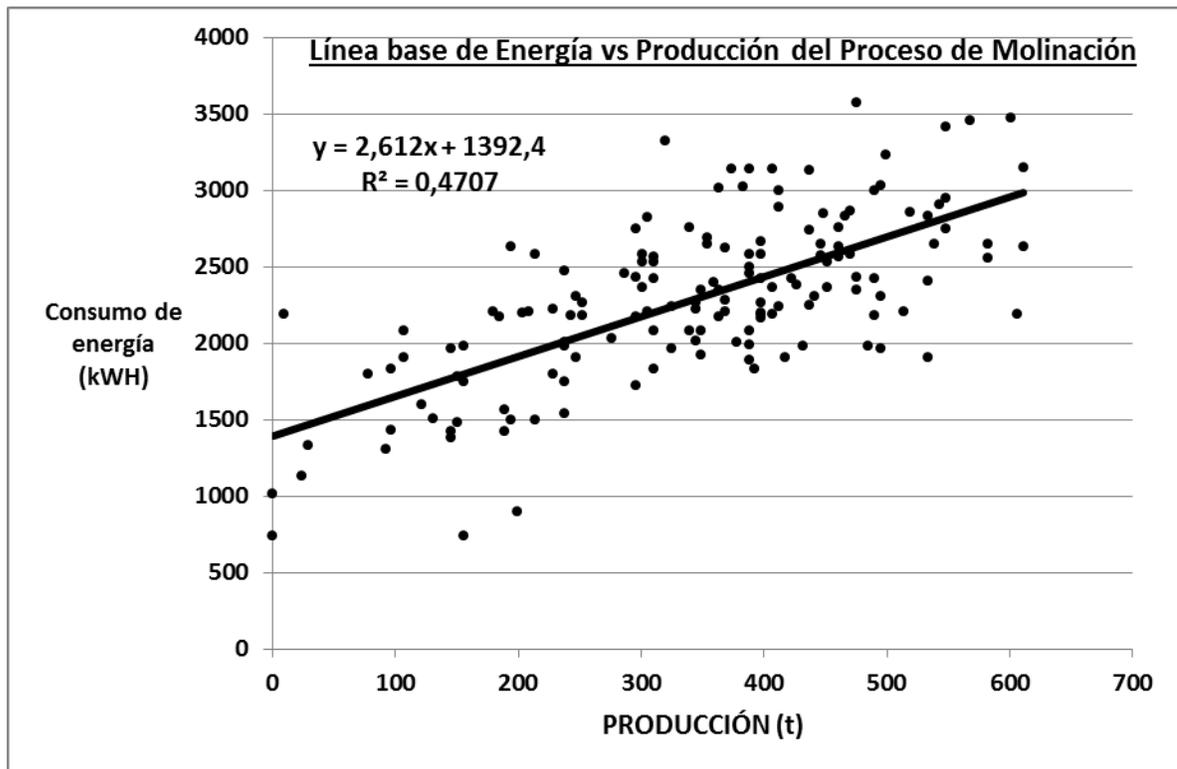


Figura 3.4. Gráfico de energía eléctrica vs producción en el proceso de molinación. Primer Semestre 2014.

3.2.2. Elaboración de la línea base de Energía vs. Producción para el proceso de dosificación y mezclado.

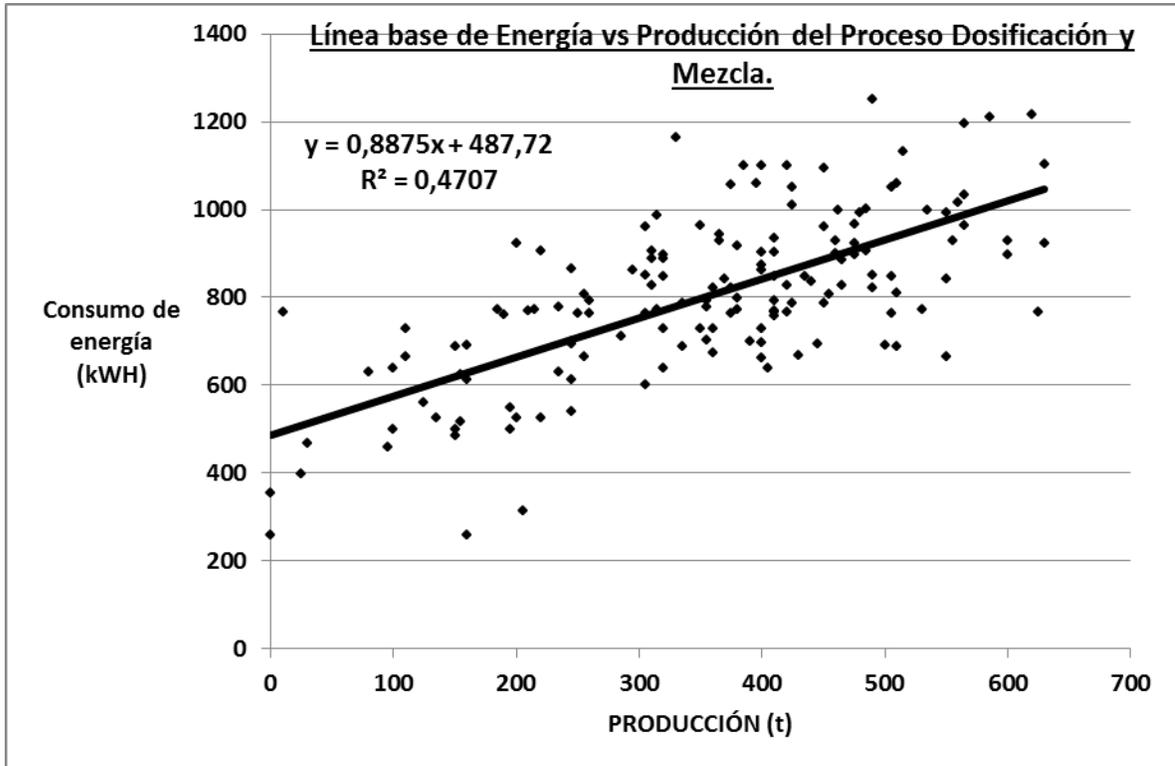


Figura 3.5. Gráfico de energía eléctrica vs producción en el proceso de dosificación y mezcla. Primer Semestre 2014.

En ambas líneas bases se aprecia una alta dispersión de valores y un bajo valor del Coeficiente Cuadrático de Correlación ($R^2 < 0,75$). Esto no hace posible su uso como Líneas Bases Energéticas de estos procesos por la organización, por lo que se decidió realizar el filtrado de datos y obtener la gráfica de energía vs. Producción a partir de ellos, y eliminar de la base de datos aquellos valores considerados atípicos o muy dispersos.

Debe destacarse que después de realizado el filtrado, se mantuvieron el 94% y el 91,4% del total de valores en los procesos de molinación y dosificación y mezcla respectivamente, que pueden considerarse satisfactorios.

3.2.3. Elaboración de la línea base de Energía vs. Producción para los procesos de molinación y dosificación y mezclado con los datos filtrados.

Las figuras 3.6 y 3.7 muestran las líneas bases de energía vs producción para ambos procesos, donde se aprecia que existe una menor dispersión y que el valor

del Coeficiente Cuadrático de Correlación (R^2) alcanza valores de 0,7574, superior a 0,75, valor generalmente considerado como el límite mínimo para estos tipos de correlación. Estas deben ser tomadas por la fábrica como las líneas bases energéticas de estos dos procesos (Anexos IV y V)

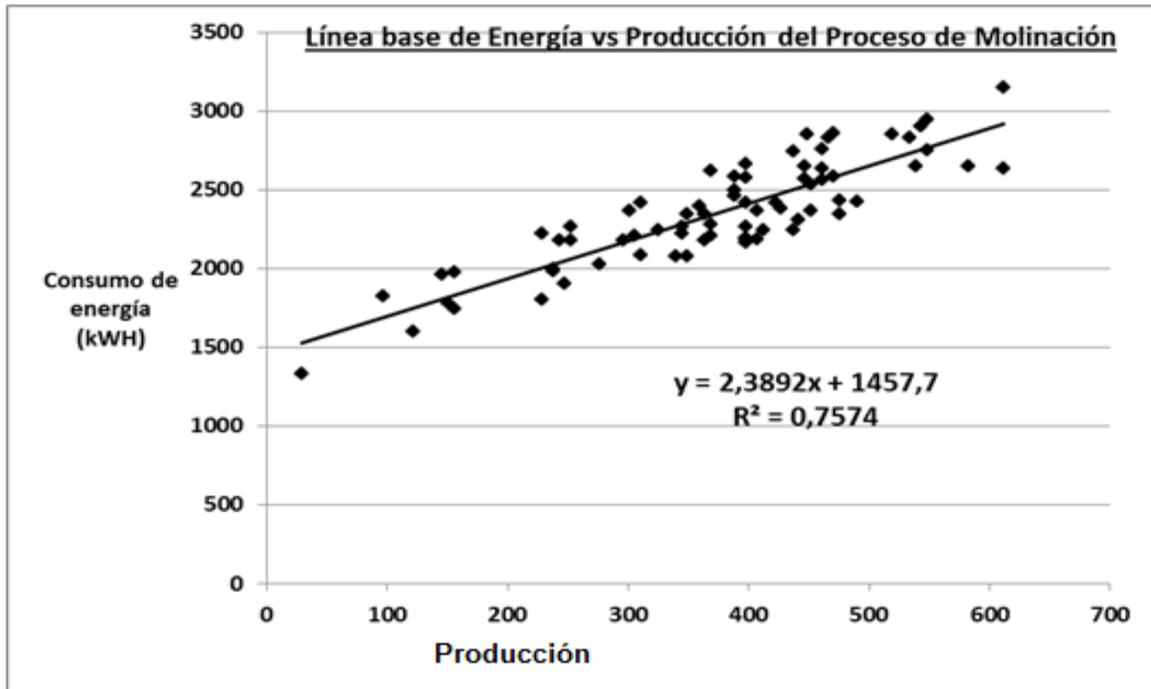


Figura 3.6. Gráfico de energía eléctrica vs producción para el proceso de molinación con datos filtrados. Año 2014

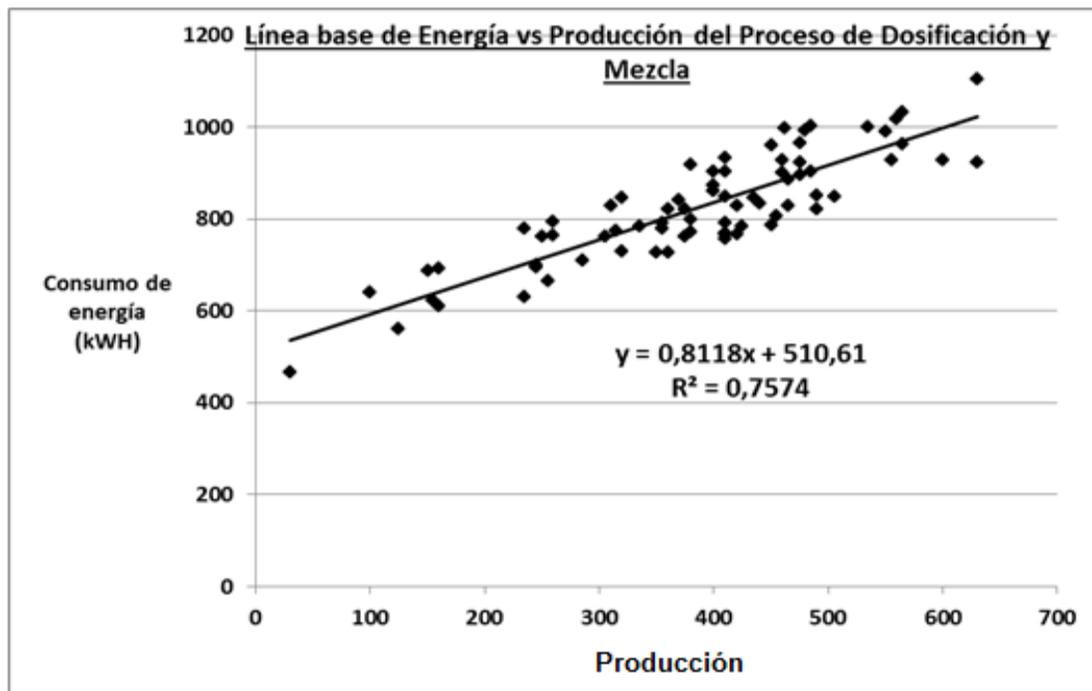


Figura 3.7. Gráfico de energía eléctrica vs producción para el proceso de dosificación y mezcla con datos filtrados. Año 2014

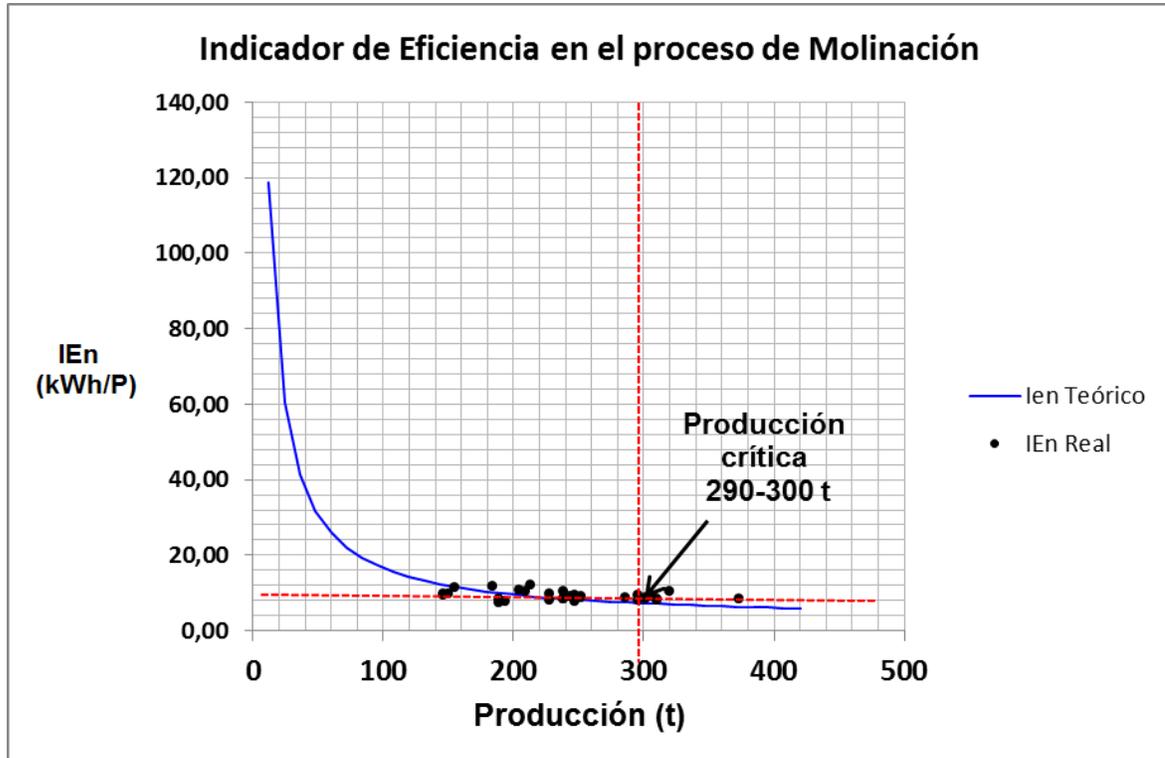


Figura 3.8. Gráfico del indicador de eficiencia energética para el proceso de dosificación y mezcla.

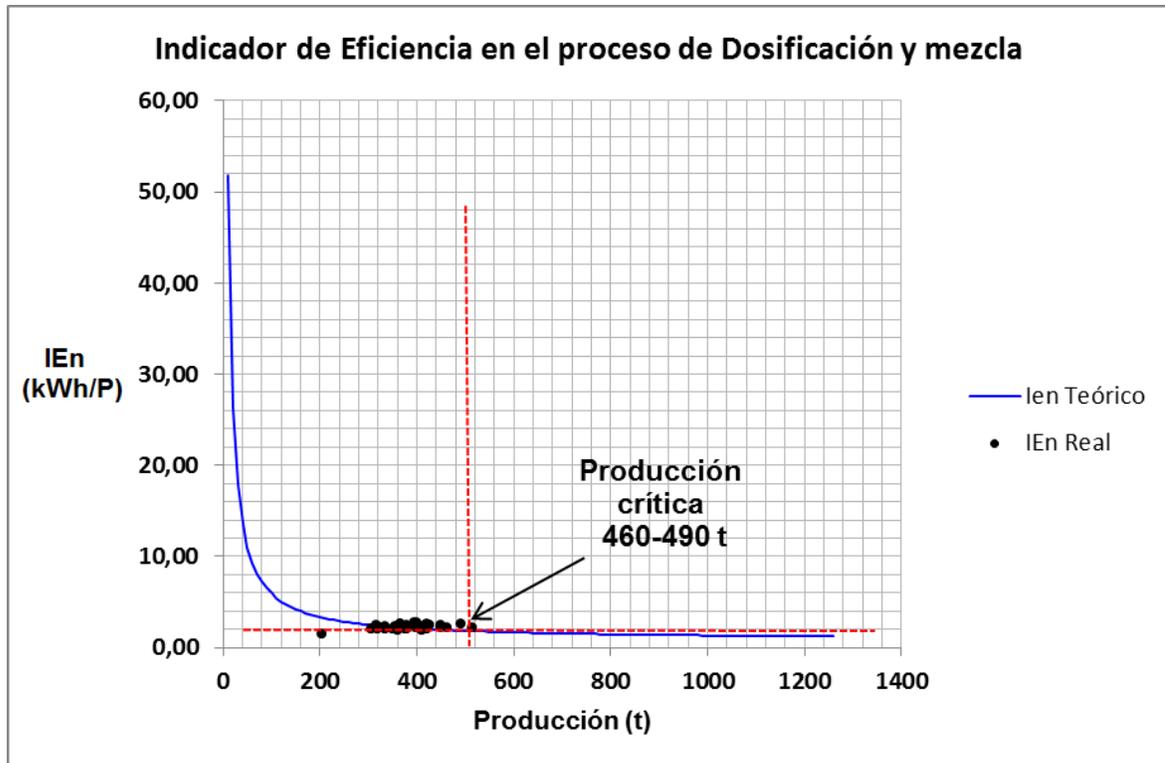


Figura 3.9. Gráfico del indicador de eficiencia energética para el proceso de dosificación y mezcla.

3.3. Peso de los procesos de molinación y mezcla en el consumo total diario de la Fábrica de piensos Cienfuegos.

La Tabla 3.1 muestra el resumen de la energía eléctrica consumida en los principales procesos de la fabricación de piensos balanceados.

Tabla 3.1. Energía consumida en los principales procesos de la producción de piensos balanceados.

Proceso	Potencia Instalada (kW)	Distribución ponderada del consumo de energía		
		Energía consumida kWh/día	% Energía Consumida	% Acumulado
Molinos	492,94	2288,23	56,84	56,84
Dosificación y Mezcla	175,6	801,62	19,91	76,75
Recepción Silos	104	433,82	10,78	87,52
Prensado	356,2	369,04	9,17	96,69
Recepción Carbonato+Soya+	62,86	133,28	3,31	100,00

La figura 3.10 muestra la estratificación del consumo de energía en la fabricación de piensos balanceados. Las figuras 3.11 y 3.12 muestran el peso energético de los procesos de molinación y dosificación y mezcla en la fabricación de los piensos.

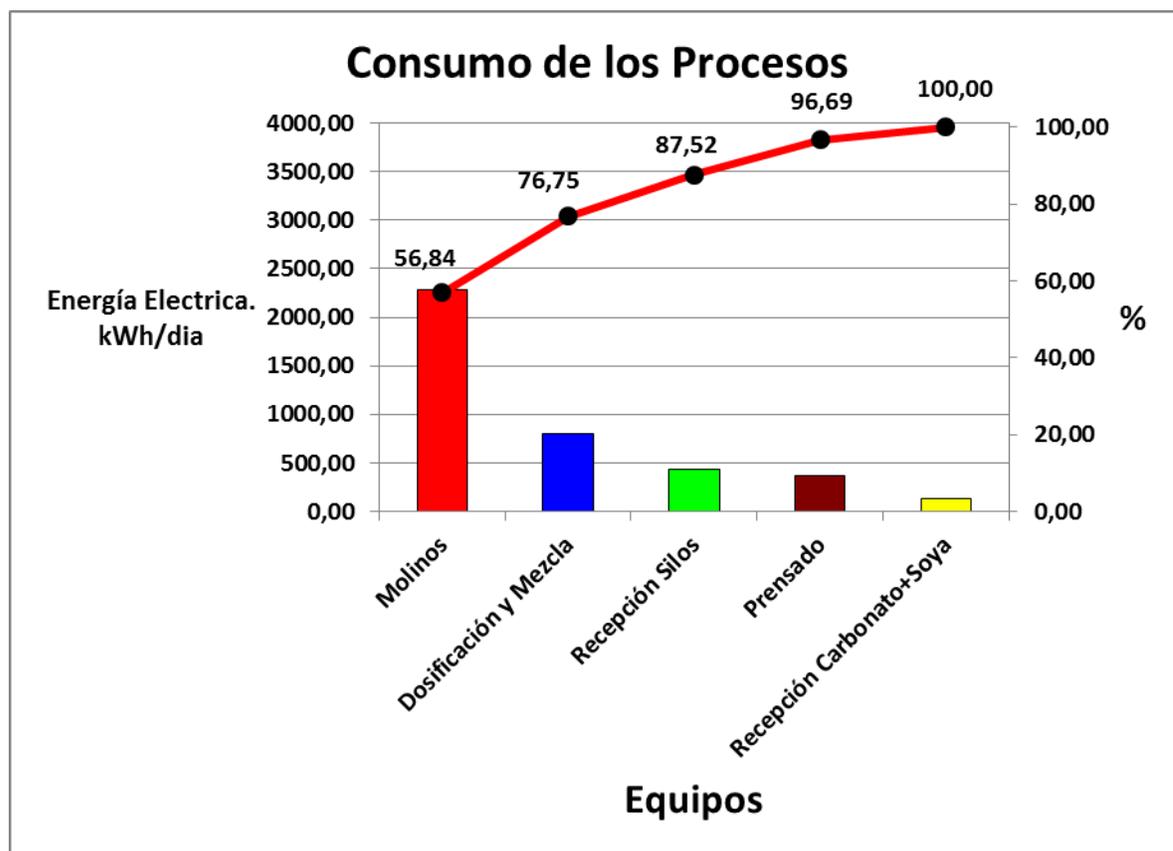


Figura 3.10. Estratificación por procesos de los consumos de energía.

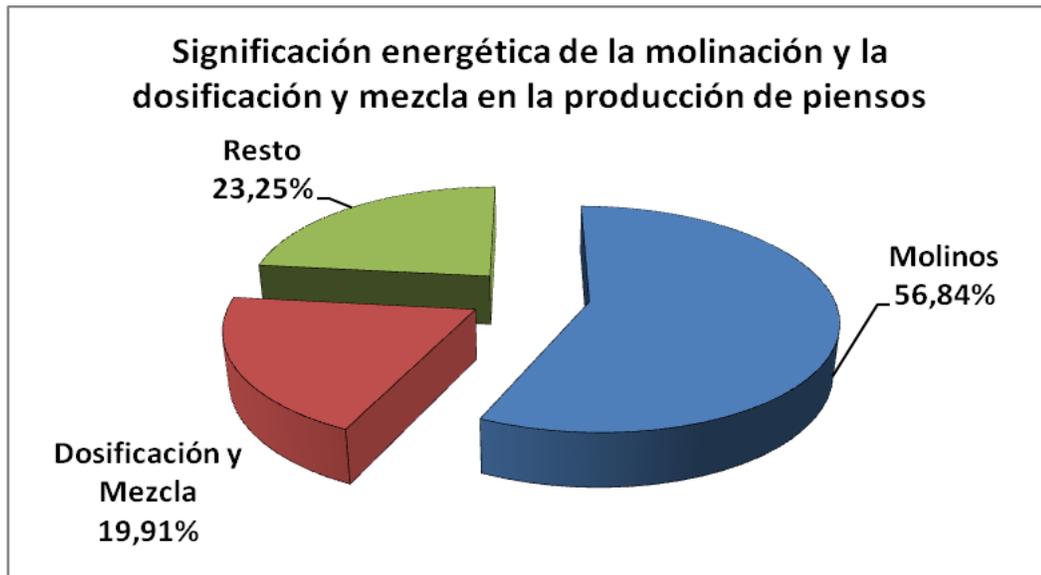


Figura 3.11. Significación de la molinación y la dosificación y mezcla en la producción de piensos.

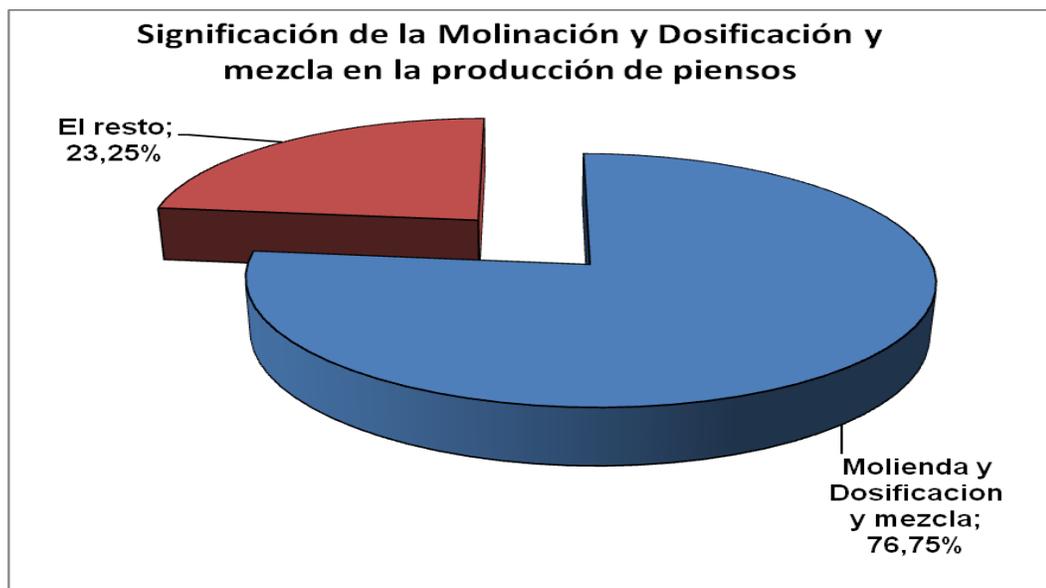
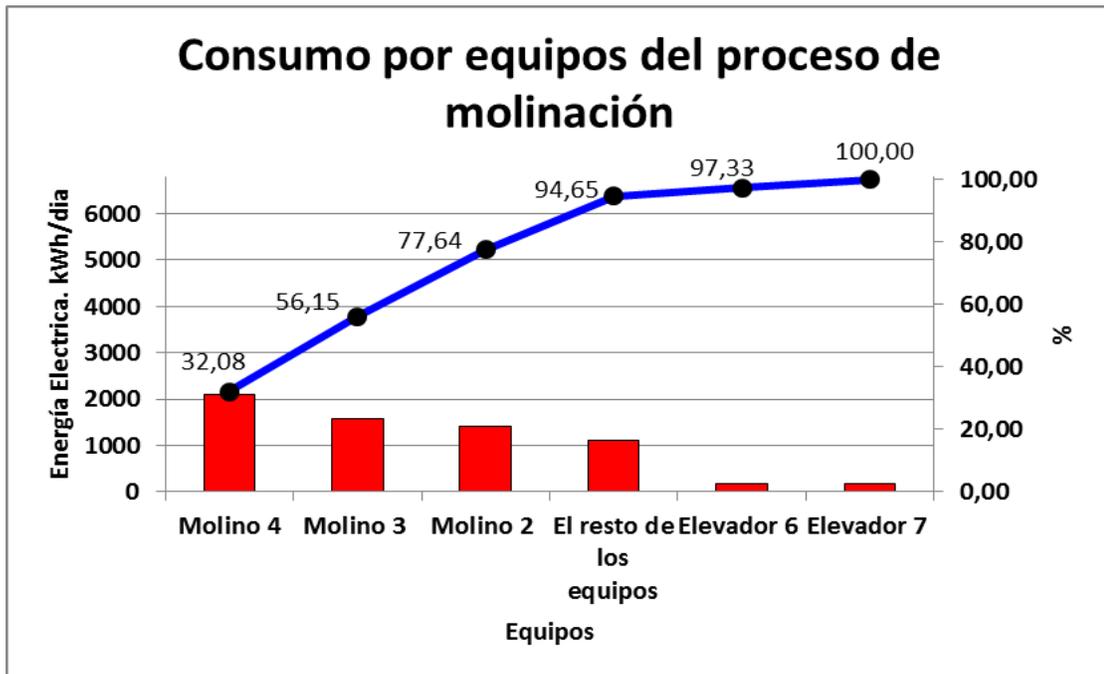


Figura 3.12. Consumo de energía eléctrica en los procesos de fabricación de piensos.

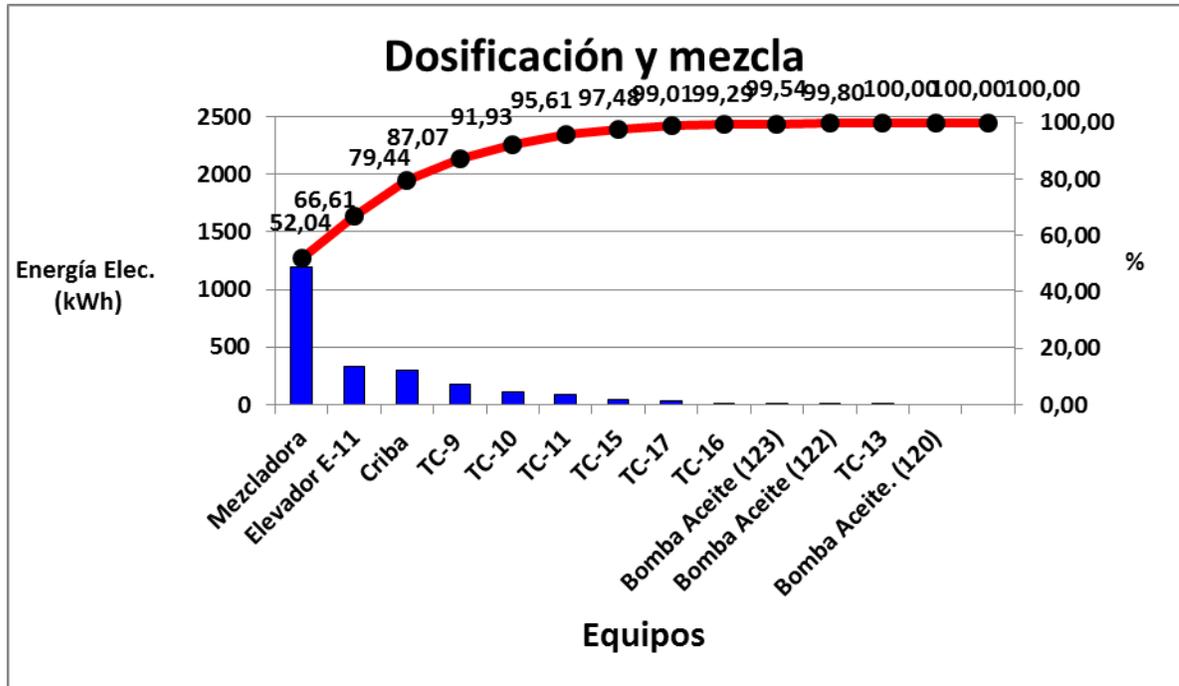
De las figuras y tablas anteriores se puede inferir, que es en estos procesos donde se encuentran las mayores potencialidades de ahorro y uso eficiente de energía.

3.3.1. Estratificación de los consumos de energía eléctrica en los procesos de molinación y dosificación y mezcla.

Las figuras 3.13 y 3.14, muestran la estratificación del consumo de energía eléctrica en estos dos procesos.



Figuras 3.13 Estratificación del consumo de energía eléctrica en el proceso de molinación.



Figuras 3.14 Estratificación del consumo de energía eléctrica en el proceso de Dosificación y Mezcla.

3.4. Estimación de las pérdidas de energía en los electromecanismos y motores de ambos procesos.

3.4.1. Estimación de las pérdidas de energía en los electromecanismos.

Para el cálculo de las pérdidas de energía en los electromecanismos fue necesario determinar la potencia que recibe cada accionamiento, el tipo de transmisión que presenta en cada una de sus etapas para así determinar en función de la eficiencia de cada tipo de transmisión como se ve afectada la potencia de salida del accionamiento, cuya diferencia (pérdidas de potencia) multiplicada por las horas de trabajo permitieron calcular las pérdidas de energía. Las pérdidas en los apoyos no fueron consideradas.

Para el cálculo de las pérdidas se emplearon las siguientes expresiones:

$$Ns = Ne \cdot \eta_{\text{correa}} \cdot \eta_{\text{reductor}} \cdot \eta_{\text{cadena}} \quad (kW) \dots\dots\dots (3.1)$$

y

$$Ns - Ne = \text{Pérdidas de potencia} \dots\dots\dots (3.2)$$

Donde:

Ns: Potencia de salida (potencia entregada por la transmisión).

η: Eficiencia (de acuerdo al tipo de transmisión).

En los casos en que no existe alguna de las etapas de las transmisiones, se consideró como valor de la eficiencia 1.

Para realizar las estimaciones se tomaron para las condiciones óptimas de diseño (Anexo I) los valores máximos de eficiencia de las transmisiones recomendados por la literatura, mientras que para las condiciones reales de funcionamiento se tomaron los valores mínimos teniendo en cuenta las condiciones agresivas de explotación de los equipos (Anexo II). Todos estos cálculos se realizaron en función del tiempo de operación de los accionamientos durante la producción, para determinar las pérdidas totales de energía en el proceso de producción por cada etapa.

La tabla 3.2 muestra el resumen de las pérdidas en los electromecanismos.

Tabla 3.2. Pérdidas en los electromecanismos en los procesos de molinación y dosificación y mezcla por concepto de las condiciones de producción.

Procesos	Electromecanismos		
	Psalida en condiciones óptimas de diseño (kW)	Psalida en condiciones reales (kW)	Pérdidas (kWh)
Molienda	41,83	63,21	21,38
Dosificación y mezcla	255,31	358,41	103,10
Totales	297,14	421,62	124,48

3.4.2. Estimación de las pérdidas de energía en los motores eléctricos.

Para el cálculo de las pérdidas de energía en los motores eléctricos que accionan los electromecanismos, se realizaron los siguientes pasos:

1. Se consideró la potencia de salida de los electromecanismos (Potencia nominal x Eficiencia del Reductor x Eficiencia de la Transmisión), como la potencia demandada por las cargas y por lo tanto, la real de salida de los motores.
2. Con la potencia real de salida y la eficiencia de los motores, se calcularon sus potencias de entrada (Potencia Real de Salida /Eficiencia nominal).
3. Con las potencias de salida real de los motores y asumiendo un factor de potencia de 0,87, se calcularon los valores de las corrientes efectivas o reales.

$$P_{Entrada} = \sqrt{3} V_L I_L \cos\varphi \dots\dots\dots (3.3)$$

$$Eficiencia = \frac{P_{Salida}}{P_{Entrada}} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$Eficiencia = \frac{P_{Salida}}{\sqrt{3} V_L I_L \cos\varphi} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$(I_{Real} = \frac{P_{Salida} \times 1000}{\sqrt{3} V_L \times Eficiencia \times \cos \phi}). \dots\dots\dots (3.6)$$

4. Con los valores de las corrientes reales se calculó el porcentaje de carga a que trabajan.

$$\%C = \frac{CorrienteEfectiva Real}{CorrienteNominal} = \frac{CorrienteRMS}{CorrienteChapa} \dots\dots\dots (3.7)$$

5. Con los porcentos de carga a los que trabajan, se procedió a calcular el sobredimensionamiento.

$$(Sobredimensionamiento = 1 - \%C = 1 - \frac{I_{Real}}{I_{Nominal}}). \dots\dots\dots (3.8)$$

6. Con las potencias reales de entrada calculadas en el paso 2 y con las potencias de salida de los electromecanismos (Paso 1), se calcularon las Eficiencias reales con las que trabajan los motores.

$$Eficiencia_{Real} = \frac{P_{Salida Real}}{P_{Entrada}} \dots\dots\dots (3.9)$$

7. Con las eficiencias reales de los motores y a partir de la ecuación que brinda el Manual de Ahorro de Energía en la Industria, se calcularon las pérdidas de los motores.

$$. Pérdidas = PotenciaChapa \times 0.7457 \times (1 - Eficiencia_{Real}) \dots\dots\dots (3.10)$$

Para el cálculo de las pérdidas, el Manual ofrece la posibilidad de calcular gráficamente los valores de las eficiencias reales, pero en este trabajo dichos cálculos fueron realizados matemáticamente a partir de las ecuaciones que caracterizan los motores eléctricos.

El Anexo III presenta la tabla con los cálculos realizados para cada proceso de la producción de piensos balanceados.

La Tabla 3.3 muestra el resumen de las pérdidas obtenidas en los motores eléctricos como resultado del trabajo de los mismos en condiciones de sobredimensionamiento

Tabla 3.3. Pérdidas en los electromecanismos en los procesos de molinación y dosificación y mezcla por concepto de sobredimensionamiento de los motores.

PROCESOS	Motores eléctricos		
	Psalida en condiciones óptimas de diseño (kW)	Psalida en condiciones reales (kW)	Pérdidas (kWh)
Molienda	574,60	522,10	385,74
Dosificación y mezcla	180,10	164,14	26,59
Totales	754,70	686,24	412,3

La Tabla 3.4 muestra el resumen de las pérdidas totales obtenidas en los electromecanismos y en los motores eléctricos en ambos procesos. Incluye además el importe en moneda libremente convertible de ese total de pérdidas.

Tabla 3.4. Pérdidas totales en electromecanismos en los procesos de molinación y dosificación y Mezcla.

PROCESOS	Pérdidas en Electromecanismos (kWh)	Pérdidas en Motores Eléctricos (kWh)	Pérdidas Totales (kWh)	Valor en CUC
Molienda	21,38	385,74	407,12	109,92
Dosificación y mezcla	103,10	26,59	129,69	35,01
Totales	124,48	412,33	536,81	144,93

Para el costo de energía eléctrica en pérdidas, se utilizó como precio en kWh 0.27 facilitado por la oficina comercial de la empresa eléctrica de Cienfuegos.

3.5. Potencialidades de ahorro en ambos procesos.

A partir de los análisis realizados en este capítulo, se identificaron las potencialidades de ahorro en estos procesos y se realizó una revisión, para recomendar las acciones correctivas en ambos procesos referidas a ejecutar buenas prácticas en la producción de pienso.

3.5.1. Potencialidades de ahorro en motores eléctricos.

3.5.1.1. Por concepto de factor de potencia:

- ✓ Prevenir el bajo factor de potencia mediante la selección y operación correcta de equipos.
- ✓ Corregir el bajo factor de potencia adecuando la capacidad de motores y transformadores a sus cargas reales.
- ✓ Conectar los capacitores cerca de la carga que van a compensar potencia reactiva.
- ✓ Sustitución de motores sobredimensionados.
- ✓ Establecer mantenimientos periódicos a los sistemas de compensación de potencia reactiva.

3.5.1.2. Oportunidades de ahorro en motores eléctricos:

- ✓ Selección apropiada de los motores eléctricos.
- ✓ Lograr los mayores períodos de operación del motor y su carga, a la máxima eficiencia (75 - 95 % de su potencia nominal).
- ✓ Evitar el trabajo en vacío prolongado de motores.
- ✓ Instalación de capacitores en los circuitos con mayor número de motores o en los motores de mayor capacidad.
- ✓ Seleccionar el motor de acuerdo a su régimen de trabajo. (continuo o intermitente).
- ✓ Valorar la sustitución de motores antiguos o de uso intensivo por normalizados de alta eficiencia.

-
- ✓ Revisar la conexión a tierra de los motores para evitar accidentes y fugas.
 - ✓ Verificar la tensión en los alimentadores de los motores.
 - ✓ Balancear la tensión de alimentación en motores trifásicos de corriente alterna (el desequilibrio no debe exceder el 5 %).
 - ✓ Acoplar, siempre que se pueda, directamente el motor a la carga.
 - ✓ Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada.
 - ✓ Mantener en buen estado los medios de transmisión motor - carga, así como los cojinetes del motor.
 - ✓ Controlar la temperatura del aceite de lubricación para disminuir las pérdidas por fricción.
 - ✓ Revisar conexiones del motor periódicamente.
 - ✓ Preferir acoplamiento individual en accionamientos con grupos de motores.

Conclusiones Parciales

1. Los procesos de molinación y dosificación y mezcla son los mayores consumidores de energía eléctrica en la fábrica de piensos Cienfuegos. Ambos representan el 76,75% del total del consumo y consecuentemente tienen las mayores potencialidades para realizar acciones de ahorro y uso eficiente de la energía.
2. Los indicadores de eficiencia energética obtenidos a partir de sus líneas bases de energía vs producción de los procesos de molinación y dosificación y mezcla indican como producciones críticas 290 – 300 t para la molinación y 460 – 490 t para la dosificación y mezcla.
3. Las pérdidas de energía en los electromecanismos que integran los procesos de molinación y mezclado, ascienden a 531,86 kWh y se deben fundamentalmente a las condiciones de producción y a la operación de los motores en condiciones de eficiencias diferentes a las nominales.



Conclusiones

Conclusiones Generales

1. Se realizó un estudio profundo de la producción de piensos balanceados y se caracterizaron los equipos y procesos que intervienen en él, logrando identificar la molinación y la dosificación y mezcla, como los más relevantes.
2. Se logró obtener las líneas base de energía vs producción, para los procesos de molinación y dosificación y mezcla con correlaciones (R^2) superiores a 0,75, que permitieron a su vez obtener las líneas bases del Indicador de desempeño energético (IDEn) vs. producción.
3. Se realizaron mediciones de campo del consumo y producción de estos procesos que permitieron establecer las producciones críticas en los procesos de molinación y dosificación y mezcla, en 290 – 300 t y 460-490 t, con 10 kWh/t y 3 kWh/t respectivamente.

Recomendaciones



Recomendaciones

1. Lograr los mayores períodos de operación del motor y su carga, a la máxima eficiencia (75 - 95 % de su potencia nominal).
2. Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada; reponer guarderas y cumplir en tiempo con los mantenimientos programados.
3. Realizar un estudio de factibilidad económica, para valorar posible instalación de bancos de capacitores, para mejorar el factor de potencia de la fábrica.



Bibliografía

Bibliografía.

- Álvarez , L, & Hernández, E. (2005, marzo). Eficiencia energética en el sector de fabricación de piensos en Cataluña. Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología de la Universidad Politécnica de Catalunya y Escuela Superior de Agricultura de Barcelona.
- Borroto Nordelo, A. (2001). Gestión Energética Empresarial.
- Catalogo KAHL. (s. f.). Fábricas completas de piensos compuestos, plantas y máquinas.
- Correa Soto, Jenny, & Gómez Doria, Rafael L. (2011). Mejora de la eficiencia energética en la empresa Cereales Cienfuegos.
- Costa, A, & Vilaragut, M. (2004, abril). Determinación del comportamiento energético del motor de inducción a partir de sus datos de catálogo y la lectura de las corrientes del estator. III Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos. Cuba.
- De León, C. (2002). *Metodologías para el análisis energético de los motores en servicio y del empleo de accionamientos eficientes* (Doctor en Ciencias). UCLV Santa Clara.
- Douglas, J. G. (2005, Junio). Efficacy of methods for estimating in-service motor efficiency. Recuperado a partir de [http://www.dynamics-research.com/MAS 1000 ITMAS- 1 000.htm](http://www.dynamics-research.com/MAS_1000_ITMAS-1_000.htm)
- Estrada Santos, Luis Valentin. (2010, junio). Propuesta para la mejora de la eficiencia en la central eléctrica Yaguaramas.
- Fábricas completas de piensos compuestos, plantas y máquinas. (2012, junio). Recuperado a partir de [http://WWW .Akahl](http://WWW.Akahl)
- Fernández, Mario. (2010). Auditorias en cuatro fábricas de pienso de Galicia.

- Gómez Sarduy, Julio R, De Armas Teyra, Marcos A, & Percy, R. (s. f.). Estado actual de la técnica para evaluación de la eficiencia operacional de motores asincrónicos. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos. Cuba.
- González Rey, Gonzalo. (s. f.). Fundamentos del cálculo de de transmisiones mecánicas industriales. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría ISPJAE.
- González, Ana Belén. (2010). Auditoria energética en fabrica de pienso de Murcia.
- Instalaciones agroindustriales SA. (2007, Marzo). Catalogo ROSAL.
- Manual de ahorro y eficiencia energética del sector. Fábricas de Piensos. (2010). Proyecto que está financiado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y por la Fundación Biodiversidad España.
- Mejora de la eficiencia energética. (2008, Febrero). *Buenas prácticas*.
- Ministerio de la Agricultura y desarrollo rural. (2010). Buenas prácticas en la fabricación de alimentos para animales en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario.
- Moa Rodríguez, J. L', Goytisol Espinosa, R. A, & Rivera Baez, V. (2007). Determinación Experimental De La Eficiencia En Reductores De Engranajes.
- Molienda en fábricas de piensos. (2011). *Mundo ganadero*, (11).
- Molienda en fabricas de piensos noviembre. (1995).
- Monteagudo, José. (2012). Oportunidades de ahorro en sistemas energéticos.
- Salazar Castro, Jorge Luis. (2008). Montaje Y Puesta En Marcha De Una Planta De Alimento Balanceado Con Capacidad De 3 Tn/ H.
- Sector, & Fábricas De Piensos España. (s. f.). Manual De Ahorro Y Eficiencia Energética.

Soto Berumen, L H, Moya Rodríguez, J. L, & Goytisol Espinosa, R. A. (s. f.). Importancia del correcto diseño de las transmisiones por tornillo sin fin para lograr una adecuada eficiencia. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Autónoma de Zacatecas México.

Vallace. A. (1997, mayo). A laboratory assessment of in-service motor efficiency testing methods. *IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record*, 18-21.

Vilaragut. M, Costa, A, & García, A. (2004, diciembre). Métodos para la determinación de la eficiencia energética en los motores de inducción trifásicos. *Ecosolar*, (10).



Anexos

ANEXOS

Anexo I Datos para la estimación de las pérdidas en los Electromecanismos, en condiciones óptimas.

Molienda

Nombre	Potencia nominal (kW)	Horas promedios de trabajo	Accionamiento	Transmisión	Eficiencia del reductor	Eficiencia de la transmisión	Potencia de salida (kW)	Pérdidas (kW/h)	Pérdidas de Energía (kW/h)
Molinos 1,2,3 y 4	396	10	Motor	-	1	1	396	0	0,00
Elevador E8	15	12	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	13,671	1,329	15,95
Elevador E6	11	12	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	10,0254	0,9746	11,70
Elevador E7	11	12	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	10,0254	0,9746	11,70
Sinfín 1, 2, 3 y 4	2,2	12	Motorreductor	-	0,98	1	2,156	0,044	0,53
Sin fin 4- E8 Molino 1 y 2	3	3	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	2,7342	0,2658	0,80
Sin fin 2- E6 Molino 3	2,2	3	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	2,00508	0,19492	0,58
Sin fin 3- E7 Molino 4	2,2	3	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	2,00508	0,19492	0,58

Dosificación y mezcla

Nombre	Potencia nominal (kW)	Horas promedio de trabajo	Accionamiento	Transmisión	Eficiencia del reductor	Eficiencia de la transmisión	Potencia de salida (kW)	Pérdidas (kW/h)	Pérdidas de Energía (kW/h)
Transportador de cadena TR9	11	16	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	10,0254	0,9746	15,59
Elevador E9	11	16	Motor-reductor	Cadena	0,98	0,93	10,0254	0,9746	15,59
Mezcladora	75	16	Motor-reductor	Cadena	0,98	0,93	68,355	6,645	106,32
Transportador de cadena TR10	7	16	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	6,3798	0,6202	9,92
Elevador E11	21	16	Motor-reductor	Cadena	0,98	0,93	19,1394	1,8606	29,77
Criba	19	16	Motor-reductor	Cadena	0,98	0,93	17,3166	1,6834	26,93
Transportador de cadena TR11	5,3	16	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	4,83042	0,4696	7,51
Transportador de cadena TR15	3,6	16	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	3,28104	0,319	5,10
Transportador de cadena TR7	4	16	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	3,6456	0,3544	5,67
Elevador E10	21	16	Motor-reductor	Cadena	0,98	0,93	19,1394	1,8606	29,77
Transportador de cadena TR16	2,2	16	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	2,00508	0,1949	3,12

Anexo II Datos para la estimación de las pérdidas en los Electromecanismos, en condiciones reales.

Molienda									
Nombre	Potencia nominal (kW)	Horas promedios de trabajo	Accionamiento	Transmisión	Eficiencia del reductor	Eficiencia de la transmisión	Potencia de salida (kW)	Pérdidas de Potencia (kW)	Pérdidas (kW/h)
Molinos 1,2,3 y 4	396	10	Motor	-	1	1	396	0,00	0,00
Elevador E8	15	12	Motorreductor	Cadena	0,96	0,91	13,104	1,90	22,75
Elevador E6	11	12	Motorreductor	Cadena	0,96	0,91	9,6096	1,39	16,68
Elevador E7	11	12	Motorreductor	Cadena	0,96	0,91	9,6096	1,39	16,68
Sin fin 1, 2, 3 y 4	8,8	12	Motorreductor	-	0,96	1	8,448	0,35	4,22
Sin fin 4-E8 Molino 1 y 2	3	3	Motorreductor	Cadena	0,96	0,91	2,6208	0,38	1,14
Sin fin 2-E6 Molino 3	2,2	3	Motorreductor	Cadena	0,98	0,93	2,00508	0,19	0,58
Sin fin 3-E7 Molino 4	2,2	3	Motorreductor	Cadena	0,94	0,88	1,81984	0,38	1,14

Dosificación y mezcla									
Nombre	Potencia nominal (kW)	Horas promedios de trabajo	Accionamiento	Transmisión	Eficiencia del reductor	Eficiencia de la transmisión	Potencia de salida (kW)	Pérdidas de Potencia (kW)	Pérdidas (kW/h)
Transportador de cadena TR9	11	16	Motorreductor	Cadena	0,96	0,91	9,6096	1,39	22,25
Elevador E9	11	16	Motor-reductor	Cadena	0,96	0,91	9,6096	1,39	22,25
Mezcladora	75	16	Motor-reductor	Cadena	0,96	0,91	65,52	9,48	151,68
Transportador de cadena TR10	7	16	Motorreductor	Cadena	0,96	0,91	6,1152	0,88	14,16
Elevador E11	21	16	Motor-reductor	Cadena	0,96	0,91	18,3456	2,65	42,47
Criba	19	16	Motor-reductor	Cadena	0,96	0,91	16,5984	2,40	38,43
Transportador de cadena TR11	5,3	16	Motorreductor	Cadena	0,96	0,91	4,63008	0,67	10,72
Transportador de cadena TR15	3,6	12	Motorreductor	Cadena	0,96	0,91	3,14496	0,46	5,46
Transportador de cadena TR7	4	16	Motorreductor	Cadena	0,96	0,91	3,4944	0,51	8,09
Elevador E10	21	16	Motor-reductor	Cadena	0,96	0,91	18,3456	2,65	42,47
Transportador de cadena TR16	2,2	1,6	Motorreductor	Cadena	0,96	0,91	1,92192	0,28	0,44

Anexo III Datos para la estimación de las pérdidas en los motores eléctricos por trabajar en condiciones de sobredimensionamiento.

Molienda							
Nombre	Potencia nominal (kW)	Inom	Iefect.	Sobredimensionamiento $1-\%C=1-\frac{I_{ef_{Real}}}{I_{Nom}}$	Eficiencia Nominal del Motor	Eficiencia Real del Motor Calculada	Pérdidas (kWh) $P_{érd} = P_{Nom} \times 0.7457 \times (1 - Ef_{Real})$
Molinos 1,2,3 y 4	528	232	100,5	56,68%	0,75	0,68	377,37
Elevador E8	15	25	22,5	10,16%	0,88	0,77	2,59
Elevador E6	11	19,4	16,5	15,10%	0,88	0,77	1,90
Elevador E7	11	22,5	16,5	26,80%	0,88	0,77	1,90
Sinfín 1, 2, 3 y 4	2,2	4,9	3,9	19,74%	0,81	0,78	0,36
Sin fin 4-E8 Molino 1 y 2	3	9,3	4,9	47,53%	0,81	0,71	0,65
Sin fin 2-E6 Molino 3	2,2	5,8	3,7	35,63%	0,81	0,74	0,43
Sin fin 3-E7 Molino 4	2,2	3,4	3,4	0,33%	0,81	0,67	0,54

Dosificación y mezcla							
Nombre	Potencia nominal (kW)	Inom	Iefect.	Sobredimensionamiento $1-\%C = 1 - \frac{I_{ef\ Real}}{I_{Nom}}$	Eficiencia Nominal del Motor	Eficiencia Real del Motor Calculada	Pérdidas (kWh) $P_{érd} = P_{Nom} \times 0,7457 \times (1 - Ef_{Real})$
Transportador de cadena TR9	11	21	17,2	18,18%	0,88	0,80	1,62
Elevador E9	11	25	17,2	31,27%	0,88	0,80	1,62
Mezcladora	75	120	56,7	52,75%	0,88	0,80	11,07
Transportador de cadena TR10	7	18	10,9	39,25%	0,88	0,80	1,03
Elevador E11	21	36	32,8	8,88%	0,88	0,80	3,10
Criba	19	37	29,7	19,79%	0,88	0,80	2,80
Transportador de cadena TR11	5,3	9,3	8,3	10,98%	0,88	0,80	0,78
Transportador de cadena TR15	3,6	7,3	5,6	22,97%	0,88	0,80	0,53
Transportador de cadena TR7	4	9	6,2	30,58%	0,88	0,80	0,59
Elevador E10	21	36	32,8	8,88%	0,88	0,80	3,10
Transportador de cadena TR16	2,2	4,32	3,4	20,45%	0,88	0,80	0,32

Anexo IV Datos para la elaboración de la línea base de IEn vs producción en el proceso de molinación.

Proceso de Molinación							
Meses	DÍA	PRODUCCIÓN	CONSUMO ELÉCTRICO	CONSUMO ESTIMADO $Y=2,612P+1392,4$	Ve	Vne	R ²
Enero	6	150	1780	1785,1142	3186632,71	24	0,99999251
	8	252	2182	2051,1464	4207201,55	16997	0,99597626
	9	238	1984	2013,1418	4052739,91	833	0,99979456
	16	388	2458	2405,856	5788143,09	2754	0,99952451
	21	448	2849	2562,94168	6568670,06	82052	0,98766267
	22	228	1801	1987,8054	3951370,31	35012	0,99121717
	25	306	2208	2190,4966	4798275,35	315	0,99993444
	27	451	2532	2570,5426	6607689,26	1512	1,000
	30	29	1332	1468,4092	2156225,58	18518	0,99148513
Febrero	4	446	2571	2557,8744	6542721,45	169	1,000
	6	344	2224	2291,8422	5252540,67	4582	0,99912836
	7	422	2419	2494,5334	6222696,88	5775	0,999
	8	310	2419	2203,1648	4853935,14	46387	0,99053382
	9	398	2420	2431,1924	5910696,49	120	0,99997973
	10	548	2950	2823,9066	7974448,49	15899	0,998
	14	470	2582	2621,2154	6870770,17	1519	1,000
	16	398	2579	2431,1924	5910696,49	21797	0,99632581
	18	437	2741	2532,538	6413748,72	43383	0,99328132
	19	466	2833	2608,5472	6804518,49	50592	0,993
	20	121	1599	1709,105	2921039,9	12018	0,99590251
	21	611	2633	2988,5932	8931689,32	126568	0,986
	22	461	2633	2595,879	6738587,78	1365	1,000
	26	228	2224	1987,8054	3951370,31	55858	0,98606059
28	475	2430	2633,8836	6937342,82	41605	0,994	
Marzo	4	398	2666	2431,1924	5910696,49	55306	0,99072983
	5	388	2581	2405,856	5788143,09	30712	0,99472199
	7	349	2079	2304,5104	5310768,18	51018	0,99048489
	8	340	2079	2279,174	5194634,12	40214	0,99231795
	10	398	2163	2431,1924	5910696,49	72055	0,988
	11	427	2384	2507,2016	6286059,86	15211	0,998
	12	325	2242	2241,1694	5022840,28	1	0,99999973
	14	146	1965	1772,446	3141564,82	37061	0,9883405
	17	398	2195	2431,1924	5910696,49	55980	0,991
	18	490	2423	2671,8882	7138986,55	61901	0,991
	21	538	2649	2798,5702	7831995,16	22448	0,997
	22	446	2649	2557,8744	6542721,45	8257	0,999
	23	582	2650	2912,584	8483145,56	68715	0,992
	24	388	2496	2405,856	5788143,09	8201	0,99858522
25	519	2854	2747,8974	7550940,12	11244	0,999	
26	359	2400	2329,8468	5428186,11	4891	0,99909971	

Meses	DÍA	PRODUCCIÓN	CONSUMO ELÉCTRICO	CONSUMO ESTIMADO $Y=2,612P+1392,4$	Ve	Vne	R ²
Abril	1	276	2030	2114,4874	4471056,96	7179	0,99839684
	2	369	2281	2355,1832	5546887,91	5505	0,99900858
	5	461	2561	2595,879	6738587,78	1202	1,000
	9	461	2757	2595,879	6738587,78	25876	0,996
	11	364	2347	2342,515	5487376,53	19	0,99999646
	12	349	2347	2304,5104	5310768,18	1799	0,99966139
	13	475	2347	2633,8836	6937342,82	82020	0,988
	14	543	2903	2811,2384	7903061,34	8491	0,999
	19	398	2186	2431,1924	5910696,49	60087	0,990
	20	407	2188	2456,5288	6034533,75	72230	0,988
	21	238	2001	2013,1418	4052739,91	139	0,99996561
	23	247	1902	2038,4782	4155393,37	18508	0,99556583
	24	310	2082	2203,1648	4853935,14	14669	0,99698702
	25	441	2306	2545,2062	6478074,6	57220	0,991
28	470	2863	2621,2154	6870770,17	58475	0,992	
Mayo	2	407	2364	2456,5288	6034533,75	8566	0,999
	3	301	2364	2177,8284	4742936,54	34651	0,99274722
	4	451	2365	2570,5426	6607689,26	42435	0,994
	8	155	1746	1797,7824	3232021,56	2669	0,99917503
	10	97	1827	1645,764	2708539,14	32788	0,9880395
	12	534	2831	2785,902	7761249,95	2001	1,000
	13	412	2242	2469,197	6096933,82	51465	0,992
	15	369	2205	2355,1832	5546887,91	22437	0,99597125
	16	296	2176	2165,1602	4687918,69	114	0,99997569
	17	364	2176	2342,515	5487376,53	27782	0,99496258
	18	243	2178	2025,81	4103906,16	23195	0,99437985
	20	611	3151	2988,5932	8931689,32	26260	0,997
	21	548	2751	2823,9066	7974448,49	5307	0,999
	23	398	2264	2431,1924	5910696,49	27974	0,995
	24	344	2264	2291,8422	5252540,67	779	0,99985177
	25	252	2266	2051,1464	4207201,55	46009	0,98918263
26	369	2622	2355,1832	5546887,91	71207	0,98732546	
28	437	2243	2532,538	6413748,72	83558	0,987	
29	155	1977	1797,7824	3232021,56	32081	0,99017145	

Anexo V Datos para la elaboración de la línea base de IEn vs producción en el proceso de dosificación y mezcla.

Proceso de Dosificación y mezcla.							
Meses	DÍA	PRODUCCIÓN	CONSUMO ELÉCTRICO	CONSUMO ESTIMADO $Y=2,612P+1392,4$	Ve	Vne	R ²
Enero	6	155	624	625,2825	390978,205	3	1,000
	8	260	764	718,47	516199,141	2086	0,996
	9	245	695	705,1575	497247,1	102	1,000
	16	400	861	842,72	710176,998	338	1,000
	21	462	998	897,745	805946,085	10069	0,988
	22	235	631	696,2825	484809,32	4295	0,991
	25	315	774	767,2825	588722,435	39	1,000
	27	465	887	900,4075	810733,666	185	1,000
Febrero	30	30	467	514,345	264550,779	2271	0,991
	4	460	901	895,97	802762,241	21	1,000
	6	355	779	802,7825	644459,742	562	0,999
	7	435	847	873,7825	763495,857	708	0,999
	8	320	847	771,72	595551,758	5693	0,991
	9	410	848	851,595	725214,044	15	1,000
	10	565	1033	989,1575	978432,56	1951	0,998
	14	485	905	918,1575	843013,195	186	1,000
	16	410	903	851,595	725214,044	2675	0,996
	18	450	960	887,095	786937,539	5324	0,993
	19	480	993	913,72	834884,238	6208	0,993
	20	125	560	598,6575	358390,802	1474	0,996
	21	630	922	1046,845	1095884,45	15529	0,986
	22	475	922	909,2825	826794,665	168	1,000
26	235	779	696,2825	484809,32	6855	0,986	
28	490	851	922,595	851181,534	5104	0,994	
Marzo	4	410	934	851,595	725214,044	6787	0,991
	5	400	904	842,72	710176,998	3769	0,995
	7	360	728	807,22	651604,128	6259	0,990
	8	350	728	798,345	637354,739	4933	0,992
	10	410	758	851,595	725214,044	8840	0,988
	11	440	835	878,22	771270,368	1866	0,998
	12	335	785	785,0325	616276,026	0	1,000
	14	150	688	620,845	385448,514	4549	0,988
	17	410	769	851,595	725214,044	6867	0,991
	18	505	849	935,9075	875922,849	7594	0,991
	21	555	928	980,2825	960953,78	2754	0,997
	22	460	928	895,97	802762,241	1014	0,999
	23	600	928	1020,22	1040848,85	8430	0,992
	24	400	874	842,72	710176,998	1007	0,999
	25	535	1000	962,5325	926468,814	1380	0,999
26	370	841	816,095	666011,049	601	0,999	

Meses	DÍA	PRODUCCIÓN	CONSUMO ELÉCTRICO	CONSUMO ESTIMADO $Y=2,612P+1392,4$	Ve	Vne	R ²
Abril	1	285	711	740,6575	548573,532	880	0,998
	2	380	799	824,97	680575,501	675	0,999
	5	475	897	909,2825	826794,665	147	1,000
	9	475	966	909,2825	826794,665	3176	0,996
	11	375	822	820,5325	673273,584	2	1,000
	12	360	822	807,22	651604,128	221	1,000
	13	490	822	922,595	851181,534	10062	0,988
	14	560	1017	984,72	969673,478	1042	0,999
	19	410	766	851,595	725214,044	7371	0,990
	20	420	766	860,47	740408,621	8861	0,988
	21	245	701	705,1575	497247,1	17	1,000
	23	255	666	714,0325	509842,411	2270	0,996
	24	320	729	771,72	595551,758	1799	0,997
	25	455	808	891,5325	794830,199	7020	0,991
28	485	1003	918,1575	843013,195	7176	0,992	
Mayo	2	420	828	860,47	740408,621	1051	0,999
	3	310	828	762,845	581932,494	4253	0,993
	4	465	828	900,4075	810733,666	5206	0,994
	8	160	612	629,72	396547,278	327	0,999
	10	100	640	576,47	332317,661	4024	0,988
	12	550	992	975,845	952273,464	246	1,000
	13	425	785	864,9075	748064,984	6314	0,992
	15	380	773	824,97	680575,501	2752	0,996
	16	305	762	758,4075	575181,936	14	1,000
	17	375	762	820,5325	673273,584	3408	0,995
	18	250	763	709,595	503525,064	2847	0,994
	20	630	1104	1046,845	1095884,45	3222	0,997
	21	565	964	989,1575	978432,56	651	0,999
	23	410	793	851,595	725214,044	3432	0,995
	24	355	793	802,7825	644459,742	95	1,000
	25	260	794	718,47	516199,141	5646	0,989
26	380	918	824,97	680575,501	8738	0,987	
28	450	786	887,095	786937,539	10251	0,987	
29	160	692	629,72	396547,278	3938	0,990	