

REPÚBLICA DE CUBA.
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS.
FACULTAD DE INGENIERÍA



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Estudio de la eficiencia energética de equipos altos consumidores de energía eléctrica en el proceso tecnológico de la Empresa “Piensos Cienfuegos”.

Autor: Yoisdell Castillo Álvarez

Tutores: Dr. José P. Monteagudo Yanes. CEEMA.

MSc. Gustavo Crespo Sánchez. CEEMA.

Consultores: MSc. Arellys Machado Rodríguez

Ing. Ariel Gil Lozano.

Empresa Piensos Cienfuegos.

**Cienfuegos 2015.
"Año 57 de la Revolución"**

**DECLARACIÓN DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS**



Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico
Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.
Nombre y Apellidos. Firma.

Firma del Tutor

Sistema de Documentación y Proyecto.
Nombre y Apellido. Firma.

Pensamiento



“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: La voluntad”

Albert Einstein.

Dedicatoria



A mí mamá y a mi padrastro por su apoyo incondicional y por haberme guiado desde temprana edad por los duros caminos de la vida, formando mi persona, hasta llegar ser quien soy hoy, su incansable tarea de sembrar en mí el amor por el estudio y mi deseo de crecer.

A ustedes se los dedico.

Agradecimientos



A mi mamá y padrastro por poder contar con su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, y a la vida por permitirme disfrutarlos aún, y principalmente porque lo que soy se lo debo a ustedes.

A mi familia en general, he aprendido de cada uno lo mejor y tomarlo como patrones en mi vida.

A mis amistades que han sido testigos de los buenos y malos momentos que tenido lugar a lo largo de estos últimos cinco años.

A todos los profesores, en especial a Dr. María Lourdes Bravo y el Dr. José P. Monteagudo Yanes. Que han contribuido a mi formación como profesional y me han brindado sus conocimientos y sabiduría. Por su exigencia tan alta y el rigor en cada tarea encomendada.

A mis tutores por haber confiado en mí y su apoyo incansable para que esta tarea llegara a su fin satisfactoriamente.

A los compañeros de la industria donde fue realizado este trabajo por su incondicional atención, educación y apoyo.

A todos muchas gracias

Resumen



Resumen.

El presente trabajo desarrolla un estudio sobre el comportamiento energético de las fábricas de pienso nacional e internacional. Se aprecia que en la actualidad el menor valor del indicador de desempeño energético (IDEn) es de 12 kWh/t para empresas con un promedio de (19 000 t/año) y el mayor de 21 kWh/t para empresas con una producción en el orden de (6 000 t/año).

Se realiza la caracterización energética de la fábrica y se determina que los equipos altos consumidores son los molinos, las prensas, la mezcladora y los equipos de elevación y transporte. Fue desarrollada la metodología para la evaluación energética de los molinos, elevadores de cangilones y tornillo sinfín.

La evaluación energética de los molinos, muestra que el máximo rendimiento lo alcanza el molino III con un 31%, siendo inferior en los molinos II y IV con un 18% cada uno. Los elevadores de cangilones presentan un mejor comportamiento en el rendimiento energético con un 78% y los tornillos sin fin alcanzan un 29% de eficiencia energética.

El autor considera que una elevación de la capacidad de producción debe mejorar el rendimiento general de la fábrica.

Palabras claves

Eficiencia; Elevadores de cangilones; Molinos de cereales; Transportadores sin fin

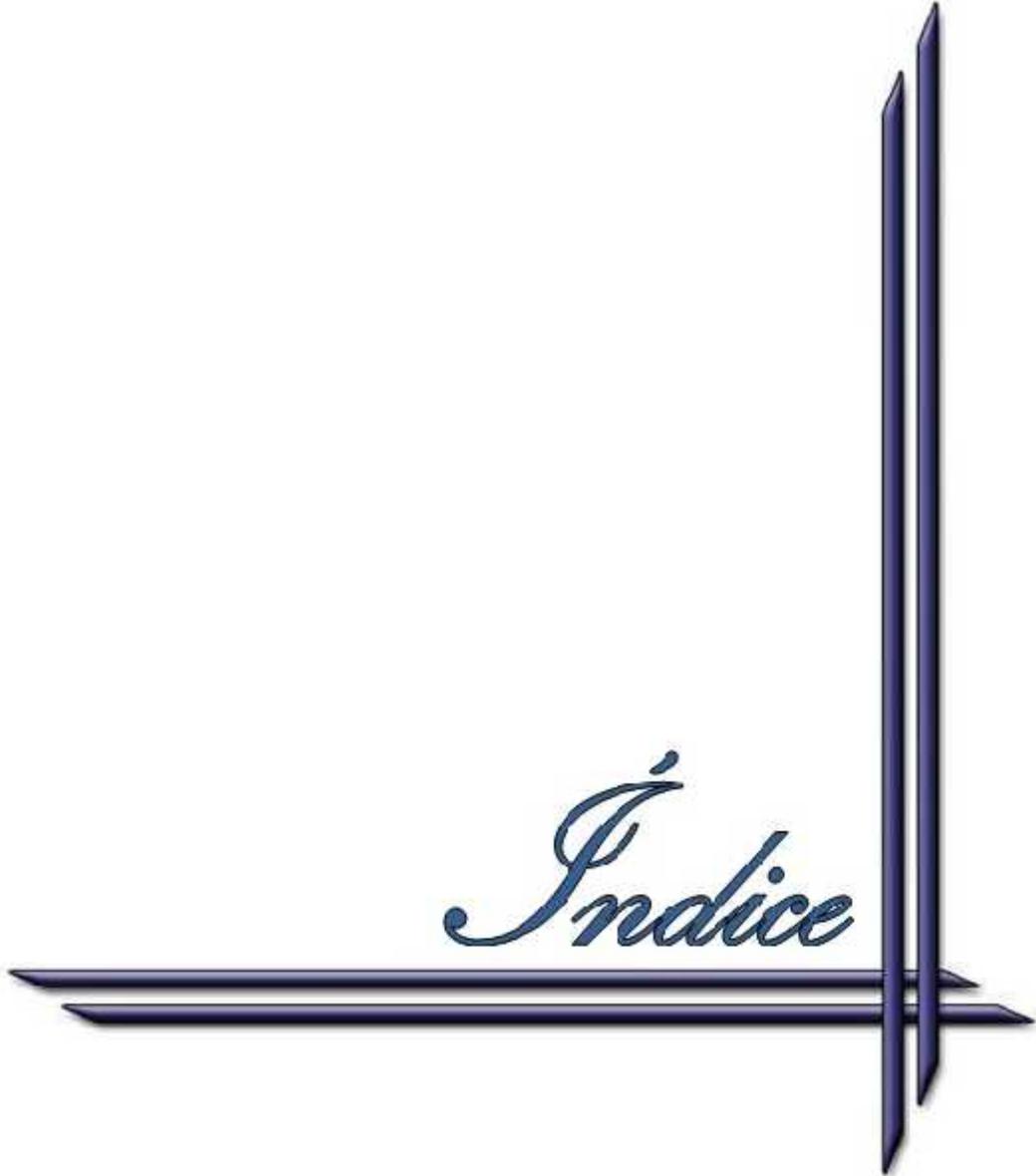
Summary

This paper develops a study on the energy performance of the factories of national and international think. It shows that at present the lower value of the energy performance indicator (IDEn) is 12 kWh / t for companies with an average of (19 000 t / year) and over 21 kWh / t for companies with production the order of (6000 t / year). Energy factory characterization is done and it is determined that consumers are high teams mills, presses, the mixer and lifting equipment and transport. It was developed a methodology for evaluating energy mills, bucket elevators and screw. The energy assessment of the mills, shows that the maximum yield at the mill III reaches 31%, lower than in the mills II and IV with 18% each. Bucket elevators have a better performance in energy efficiency with 78% and the worms reach 29% energy efficiency. The author believes that a rise in production capacity should improve the overall performance of the factory.

Keywords

Efficiency; Bucket elevators; Grain mills; Endless conveyors

Indice



Índice

Pág.

<i>Introducción</i>	<i>1</i>
Capítulo I. Estado actual y tendencias en desarrollo de los equipos tecnológicos para la producción de pienso animal.	4
Características tecnológicas del ciclo productivo de la producción de pienso animal.	6
2.2.6 1.1.1 Recepción de materias primas.	6
2.2.7 1.1.2 Cereales	6
2.2.8 1.1.3 Molienda.	6
2.2.9 1.1.4 Dosificación y mezclado	7
2.2.10 1.1.5 Prensado	7
2.2.11 1.1.6 Ventas	7
1.2 Características del diseño de una fábrica de pienso y buenas prácticas en su operación.	8
2.2.12 1.2.1 Las buenas prácticas en las fábricas de pienso.	10
2.2.13 1.2.2 Recepcion, almacenamiento y transporte.	11
2.2.14 1.2.3 Capacitación del personal	11
2.2.15 1.2.4 Saneamiento y control de plagas	12
2.2.16 1.2.5 Funcionamiento y mantenimiento del equipo	12
2.2.17 1.2.6 Controles de fabricación	12
2.2.18 1.2.7 Mantenimiento	13
2.2.19 1.2.8 Iluminación	13
1.3 Evolución y tendencias en el desarrollo tecnológico de equipos para la producción de pienso animal.	14
2.2.20 1.3.1 Tecnologías de ahorro energético aplicables a las fábricas de piensos compuestos.	15
2.2.21 1.3.2 Dosificación	15
2.2.22 1.3.4 Mezclar	16
2.2.23 1.3.5 Acondicionar	16
2.2.24 1.3.6 Expandir	17
2.2.25 1.3.7 Extrusionar	18
2.2.26 1.3.8 Expander de corona.	19
1.4 Estado actual y tendencias en la gestión energética de las fábricas de pienso animal.	
Indicadores energéticos utilizados.	22
2.2.27 1.4.1 Consumo energético	24

2.2.28	1.4.2 Consumo energético (eléctrico y térmico) del proceso de fabricación	25
2.2.29	1.4.3.- Eficiencia energética en molinos martillos	27
2.2.30	1.4.4 Factores del proceso productivo que influyen en el consumo energético de la fábrica.	29
2.2.31	1.4.5 Indicadores energéticos	30

Capítulo II. Caracterización energética del proceso tecnológico de la fábrica de pienso. 33

2.2.32	2.1.1 Consumo de portadores energéticos.	34
2.2.33	2.1.2 Diagrama energético productivo	35
2.2.34	2.1.3 Consumo energético por áreas	37
2.2.35	2.1.4 Consumo energético por equipos en cada una de las áreas.	38

2.2 Fundamentación técnica de la determinación de la eficiencia energética de los equipos

	productivos. Propuesta metodológica de ecuaciones por tipo de máquina.	41
2.2.36	2.2.1 Molino de martillos	42
2.2.37	2.2.2 Molino de martillos en la molienda de maíz.	42
2.2.38	2.2.3 Leyes de la desintegración	43
2.2.39	2.2.4 Ley de Bond e Índice de trabajo (W_i).	45
2.2.40	2.2.7 Potencia del motores	47
2.2.41	2.2.8 Eficiencia de motores	50
2.2.42		51
2.2.43	2.2.6 Elevadores de cangilones	51
2.2.44		56
2.2.45	2.2.7 Transportador de tornillo sin fin.	56
2.2.7	Cálculo de los parámetros de trabajo del tornillo sin fin.	59

Capítulo III. Determinación del rendimiento energético de equipos altos consumidores de energía eléctrica en el proceso productivo de la fábrica de pienso. 65

3.1 Metodología para la evaluación energética del proceso tecnológico de la fábrica. 65

2.2.8	3.1.1 Cálculo de la potencia del motor del molino IV.	67
2.2.9	3.1.2 Cálculo del índice de trabajo de Bond.	68
2.2.10	3.1.3 Cálculo de la potencia consumida en la molienda.	68
2.2.11	3.2 Cálculo del molino III.	69
2.2.12	3.2.1 Cálculo de la potencia del motor III.	69
2.2.13	3.2.2 Cálculo de la potencia consumida en la molienda.	71
2.2.14	3.3 El cálculo del molino II.	71
2.2.15	3.3.1 Cálculo de la potencia del motor.	72

2.2.16	3.3.2 Cálculo del índice de trabajo de Bond.	72
2.2.17	3.3.3 Cálculo de la potencia consumida en la molienda.	73
2.2.18	3.4 Cálculo del rendimiento de los molinos a capacidades de fábrica.	74
3.5 Determinación de la eficiencia en el tornillo Sin Fin.		76
3.5.1	Flujo del material transportado.	76
3.5.3	Cálculo de la potencia del motor	78
3.5.4	La eficiencia en la transmisión	78
3.5.5	La eficiencia en el tornillo η_{Eft} .	79
3.6 Cálculo de elevador de cangilones		79
3.6.1	Cantidad de material transportado en el cangilón.	79
3.6.2	Cálculo del flujo del material transportado.	80
3.6.3	Fuerza para el accionamiento.	80
3.6.4	Potencia para el accionamiento necesaria del motor P_a .	81
3.6.5	Potencia en el motor eléctrico.	81
3.6.6	La eficiencia en la transmisión.	82
3.6.7	La eficiencia de elevador	82
Recomendaciones		85
Bibliografía		86
Anexos		88



Introducción

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio del siglo XIX hasta principios del siglo XX la humanidad creció a un ritmo anual del 4-5 %. A partir de este período el ritmo de crecimiento de la población mundial se disparó y alcanza valores en el entorno de 15 - 20 % anual. Este ritmo de crecimiento obliga a la búsqueda de alternativas para obtener más producciones de alimento en menos tiempo y con mucha más calidad.

En todos los sectores de producción de alimento se han mostrado diversos avances tecnológicos, pero es el sector de la producción de pienso para animales unas de las mejores alternativas para satisfacer las necesidades alimenticias de proteína animal de los seres humanos.

Estas empresas han tenido un limitado desarrollo tecnológico en los países en vías de desarrollo y la utilización de la energía en ellas aún no alcanza los valores esperados.

En países desarrollados el índice de energético de producción de una tonelada de pienso está en el entorno de 10 kWh/t, muchas empresas en nuestro continente trabajan con valores entre 15-20 kWh/t.

Cuba realiza esfuerzos para mejorar las tecnologías productivas y el rendimiento energético del proceso tecnológico de las empresas productoras de pienso. Es en este contexto que se desarrolla el presente trabajo de diploma cuya finalidad está dirigida a mejorar el rendimiento energético de los equipos altos consumidores de energía eléctrica de la empresa Pienso Cienfuegos.

Problema científico: La empresa “Pienso Cienfuegos” no dispone de las vías para conocer la eficiencia energética de equipos altos consumidores de energía eléctrica.

Hipótesis: Un estudio del consumo energético y la determinación de la eficiencia energética de equipos altos consumidores de energía eléctrica deben propiciar una mejor utilización de los portadores energéticos.

Objetivo General

Cuantificar la eficiencia energética de los equipos altos consumidores de energía eléctrica en el proceso tecnológico de la empresa “Pienso Cienfuegos”

Objetivos específicos:

1. Sintetizar las últimas tendencias en el mejor uso de la energía en las fábricas de pienso para alimento animal.
2. Realizar la caracterización energética productiva de la empresa en estudio.
3. Elaborar la fundamentación teórica para la evaluación energética de los equipos altos consumidores
4. Determinar la eficiencia energética de equipos de consumo significativo de energía.

Capitulo I



CAPÍTULO I. ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS EN DESARROLLO DE LOS EQUIPOS TECNOLÓGICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PIENSO ANIMAL.

La humanidad creció anualmente a un ritmo del 4-5 % en el período del inicio del siglo XIX hasta principios del siglo XX. A partir de entonces, el ritmo de crecimiento de la población mundial se disparó y se sitúa en el entorno al 15-20 % anual. (Alberich, 2010). Este impresionante ritmo de crecimiento obliga a la búsqueda de alternativas para obtener más producciones de alimento en menos tiempo y con mucha más calidad.

En todos los sectores de producción de alimento se han mostrado diversos avances tecnológicos. El sector de producción de pienso para animales se muestra como unas de las mejores alternativas para satisfacer las necesidades alimenticias de proteína animal de los seres humanos que habitan en el planeta.

El hombre se ha visto en la necesidad de desarrollar diferentes tipos de pienso con una mayor calidad nutricional, de diferentes componentes y materias primas, lo que permite concentrar una cantidad importante de diferentes tipos de animales en menor espacio y poder obtener así una mayor producción de carne.

Las fábricas de pienso han desarrollados impresionantes avances tecnológicos para mejorar la calidad del pienso animal. El proceso tecnológico en las empresas productoras de piensos está dividido en 4 etapas: Recepción y almacenamiento de materias primas; molienda; dosificación y mezcla. A partir de esta última el proceso 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. Si no va directamente al proceso de ventas. La figura 1 muestra el proceso tecnológico productivo.

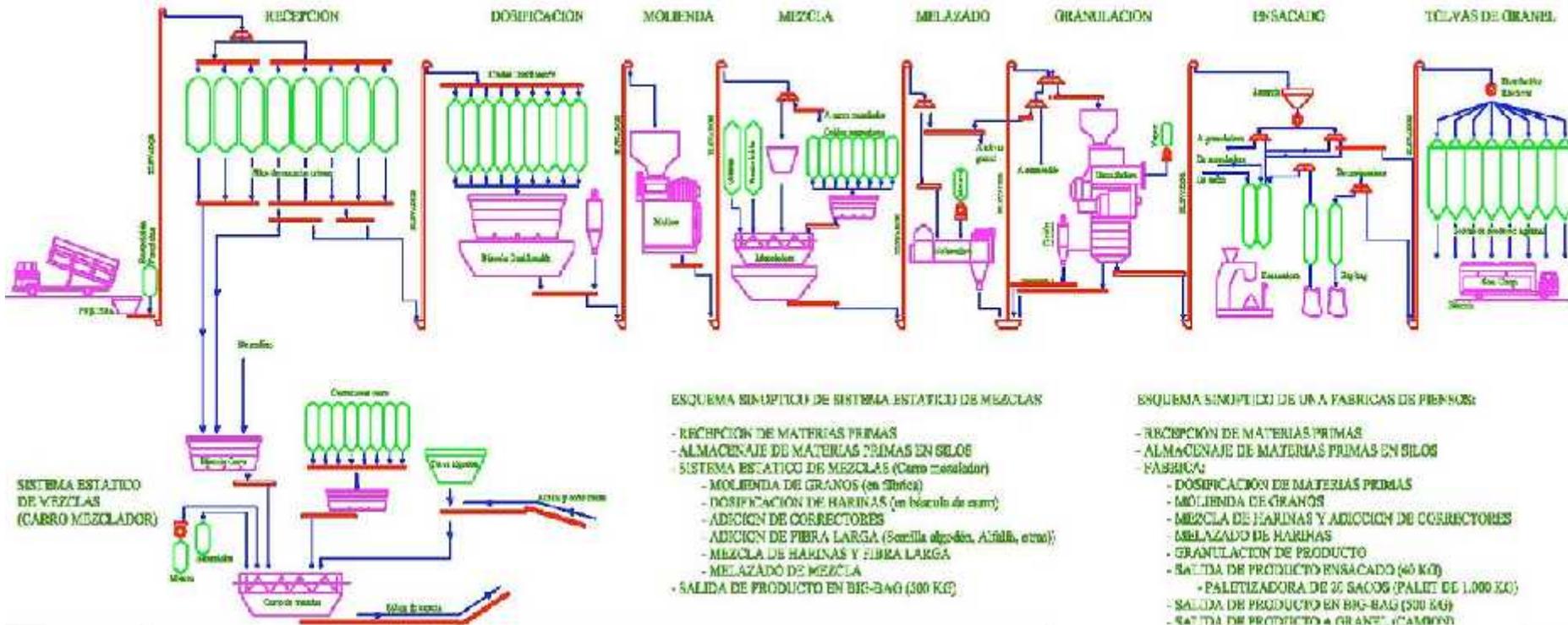


Figura 1. Ciclo tecnológico de producción de pienso para alimento animal. (Betancourt, 2010)

Características tecnológicas del ciclo productivo de la producción de pienso animal.

Las características tecnológicas del ciclo productivo aparecen estudiadas en varios libros clásicos y documentos afines al tema. De ellos, autores como Hospido, Moreira; Feijoo, abordan el proceso tecnológico de manera precisa (Hospido, Moreira, & Feijoo, 2003), Useche trata el sistema de las transmisiones en los equipos de proceso (Useche, 2009) y otros autores aportan elementos del proceso de mucho interés. (Acevedo, 2011); (Redondo, 2011) . Los elementos correspondientes a la caracterización energética de los equipos del proceso dadaa a continuación corresponden a los autores antes citado.

1.1.1 Recepción de materias primas.

La llegada a la fábrica de las diferentes materias (cereales acondicionados) se realiza en camiones, ferrocarriles o barcos. El coste del transporte, es fundamental para la rentabilidad productiva, definiendo en muchas industrias el emplazamiento y el modo de fabricación. La forma de recepción de las materias primas más habituales es a granel para cereales y harinas, pero también se reciben envasadas y en forma líquida como las grasas, melazas, aditivos, aminoácidos, etc. La descarga de las materias primas a granel se realiza sobre una tolva de recepción, normalmente enterrada con un enrejado.,

1.1.2 Cereales

La recepción de los cereales en el interior de la fábrica se realiza desde las baterías de silos, a través del sistema de transportación mecanizada; por vía automotor a través de una tolva receptora.

1.1.3 Molienda.

La molienda se realiza en los molinos. Esta es la etapa del proceso donde tiene lugar la trituración de las materias primas en función del grado de fineza recomendado para el tipo de pienso que se pretenda producir y según la materia prima a moler. El proceso se hace a través de líneas y el resultado de esta

molienda se envía a los tanques de dosificación con los diferentes tipos de elevadores.

Con vista a lograr una estabilidad en el consumo de energía el proceso de molienda se controla de forma tal que se muelan una cantidad de toneladas por horas. Para lograr esto se emplean variadores de velocidad en el alimentador de cada molino de manera que se regula la entrada de cereales al mismo. En los molinos de martillo, para garantizar el buen estado técnico se recomienda que el molino gire ocho horas en un sentido y ocho horas en sentido inverso, se utilizan diferentes tipos de tamices desde 2 hasta 5 mm para garantizar las diferentes granulometrías especificadas por cada tipo de piensos.

1.1.4 Dosificación y mezclado

En el proceso de dosificación y mezclado se lleva a cabo el pesaje de forma automática de los diferentes componentes que intervienen en la fórmula de pienso que se va a elaborar. En esta etapa se mezclan uniformemente los productos, así como las premezcla y medicamentos. Una vez terminado este proceso el pienso está listo para ir al prensado, carga a granel, a ensacado o a las celdas de para la adición de melaza.

1.1.5 Prensado

El proceso de prensado consiste en someter al pienso en forma de harina a un efecto combinado de compresión y extrusión. En esta etapa se convierte el pienso en forma de harina en pellets mediante la mezcla de vapor y pienso. En las fábricas actualmente se elaboran piensos pelletizados para inicio porcino, ceba de tilapia, conejo y avestruz etc.

1.1.6 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.

1.2 Características del diseño de una fábrica de pienso y buenas prácticas en su operación.

El diseño de las fábricas de pienso es complejo y se han de tener presente muchos factores, en la operación de equipos y el control de las materias primas para su buen funcionamiento. La responsabilidad de la producción, la elaboración, el almacenamiento, el transporte y la distribución de pienso, recae en todos los operadores de la cadena, desde los agricultores hasta los fabricantes de ingredientes para piensos compuestos, transportistas, etc.

Los integrantes de las cadenas de pienso son los responsables de todas las actividades que se encuentre bajo su control directo, y en particular de la observancia de todos los requisitos reglamentarios aplicables en general.

Tabla 1.1 Buenas prácticas para el trazado y diseño de las fábricas de pienso. (FAO, 2014)

Diseño del local e instalaciones	Prácticas recomendadas	Objetivos
Ubicación	Lejos de zonas contaminadas, sujetas a inundaciones, infestaciones de plagas y presencia de desperdicios.	Evitar la contaminación del pienso.
Diseño y trazado	Separación física de actividades que puedan causar contaminación. Cobertura y protección de las instalaciones de ingreso y carga/descarga. Espacio suficiente para realizar operaciones Prevención contra la entrada de plagas y contaminantes. Que no haya conexión cruzada entre los sistemas de aguas residuales y desagüe.	Permitir una buena operación de limpieza. Prevenir contaminación cruzada y externa. Prevenir contaminación por el clima, plagas y otros.
Estructura interna y sus elementos	Paredes, puertas y divisiones con superficie lisa. Ventanas con mallas desmontables y	Permitir la limpieza. Evitar acumulación de suciedad.

	fáciles de limpiar. Pisos con drenajes adecuados.	
Equipo	Hechos con materiales no tóxicos. Controlar eficientemente las condiciones de operación fácil de desmontar, limpiar y mantener. Identificar contenedores de residuos y sustancias peligrosas.	Evitar la contaminación y remanente del pienso. Monitorear eficientemente los procesos productivos Evitar la contaminación accidental y malintencionada.
Suministro de agua	Agua potable donde se necesite, de acuerdo con los lineamientos de la OMS. Tratamiento químico monitoreado y controlado.	Evitar la contaminación del pienso y del equipo.
Drenaje y de eliminación de residuos	Construido para no interconectarse con el agua potable.	Evitar la contaminación del pienso y del equipo.
Instalaciones de limpieza	Resistente a la corrosión y fácil de limpiar. Separado de las zonas de producción y almacenamiento.	Prevenir la contaminación. Mantener limpios los utensilios y equipo pequeño.
Instalaciones de higiene	Con medios para lavarse y secarse las manos. Lavamanos cerca de los inodoros. Disponibilidad de jabón y toallas de papel. Suministro constante de agua potable. Disponibilidad de ropa protectora.	Mantener una higiene personal adecuada para evitar la contaminación del pienso. Evitar que la gente pase a través de las diferentes zonas sin lavarse las manos.
Calidad, temperatura y ventilación del aire	Control de la temperatura, humedad y ventilación, donde sea necesario. Flujo de aire de las zonas limpias a las contaminadas.	Minimizar la contaminación del alimento originada en el aire.
Iluminación	Fuentes adecuadas de iluminación artificial o natural Elementos de iluminación protegidos	Garantizar condiciones higiénicas y de inspección Proteger alimentos para consumo humano para que no se contaminen por roturas.
Almacenamiento	Que permita actividades adecuadas de mantenimiento, limpieza e inspección.	Evitar el deterioro y la descomposición de materiales almacenados.

	Limpiar tan pronto como sea factible después de daño o derrame de producto. Separar áreas de productos rechazados, material de desecho y químicos.	Prevenir la contaminación hacia otras zonas.
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------

12.1 Las buenas prácticas en las fábricas de pienso.

La Consulta de Expertos de la FAO sobre Alimentación Animal e Inocuidad alimentaria, que tuvo lugar en 1997, señaló que la seguridad de la calidad (SC) comienza con el concepto de lo que ha de ser el producto forrajero, en cuanto a las especies que con él se alimentan y los resultados que se pretenden. Las especificaciones de ingredientes son importantes para la seguridad de la calidad a la hora de definir la calidad de los piensos que ha de aceptar el elaborador cuando se reciben las materias primas para su transformación. La fórmula del pienso acabado, con los medicamentos que se agreguen, deben cumplir las exigencias reglamentarias del gobierno y satisfacer también los objetivos de producción pecuaria del cliente. Otros factores de SC comprenden la fabricación y distribución de los piensos. Entre los elementos fundamentales para una seguridad eficaz de la calidad en la fábrica de piensos debe figurar un muestreo adecuado, ensayos de laboratorio y microscopía, control de la calidad en fábrica, control de la transferencia de medicamentos, salubridad de la fábrica y manejo integrado de plagas, limpieza de la fábrica, zona de recepción y almacenamiento. Los procedimientos de seguridad de la calidad deben estar perfectamente documentados y habrán de llevarse registros.

Una clara orientación marcada por los gobiernos a la industria sobre las características exigidas en los programas de seguridad de la calidad de piensos constituye un importante criterio preventivo de su inocuidad. Esa orientación puede darse a través de códigos de prácticas para los sectores de piensos y ganadero que abarquen todas las fases de la producción de piensos, su

manipulación y almacenamiento hasta su empleo final. Dicho código podría abarcar cuestiones como: producción de material para piensos; origen del mismo; empleo de aditivos y sustancias medicinales veterinarias; estructuras, equipo y materiales empleados en la fabricación de piensos, su envasado, manipulación o almacenamiento; flujos de productos y de personal en las instalaciones; operaciones industriales; requisitos de etiquetado; transporte y almacenamiento de productos acabados; mecanismos para seguir el paradero de los productos; y una contabilidad apropiada.

1.2.2 Recepcion, almacenamiento y transporte.

La recepción de los fertilizantes químicos, plaguicidas y otros materiales que no estén destinados a utilizarse en pienso e ingredientes de pienso, deberán almacenarse separadamente de los mismos, para evitar el riesgo de errores de fabricación, la contaminación de dichos piensos e ingredientes. Los piensos e ingredientes de pienso elaborado, deberán mantenerse separado de ingredientes sin elaborar, así mismo deberán utilizarse materiales de envasado adecuados:

Los piensos e ingredientes han de recibirse, almacenarse y transportarse de manera tal que se reduzca al mínimo la posibilidad de contaminación cruzada en un nivel que pueda tener efectos nocivos para la inocuidad de los alimentos. Deberá vigilarse y controlarse la presencia de sustancias no deseables en piensos e ingredientes. Estos deberán entregarse y utilizarse tan pronto sea posible. Todos deberán transportarse de tal manera que se reduzca al mínimo su deterioro y contaminación, que permita suministrar el pienso adecuado al grupo de animales para su alimentación. (FAO, 2014)

1.2.3 Capacitación del personal

El sector de fabricación de pienso es pionero en la protección de la salud del trabajador. Se toman medidas relacionadas con la edad y el trabajo ha desempeñar en la industria, las capacidades y habilidades que necesita dicho puesto de trabajo. Toda el personal que interviene en la fabricación, almacenamiento y manipulación de los piensos e ingredientes deberán estar

debidamente adiestrado y ser conciente de su función y responsabilidad en al protección de la inocuidad de los alimentos. (Gómez, 2012)(FAO, 2014).

1.2.4 Saneamiento y control de plagas

Los pienso, los componentes e ingredientes para la producción de pienso así como las instalaciones donde se elaboran y almacenan y sus zonas circurdantes deberan mantenerse limpios.

Deben aplicarse programa eficaces de control de plagas.

Los recipientes y equipos empleados para la fabricación, elaboración, transporte, almacenamiento, manipulación y pesaje deberán mantenerse limpios.

Lo programas de limpieza deberán ser eficaces y reducir al mínimo la presencia de residuos de detergentes y desinfectantes. (Gómez, 2012)(FAO, 2014)

1.2.5 Funcionamiento y mantenimiento del equipo

Todas las balanzas y dispositivos medidores utilizados en la fabricación de pienso e ingredientes deberán ser apropiados para la gama de pesos y volúmenes que deben medir, y periódicamente se ha de verificar sus precisión. Todos los mezcladores utilizados en la fabricación de piensos e ingredientes han de ser apropiados para la gama de pesos y volúmenes que deben mezclar y ser capaces de preparar mezclas y diluidos homogéneos e idóneos. periódicamente se deberá verificar su buen funcionamiento.

El resto del equipo utilizado en la fabricación de piensos debara ser apropiado para la gama de pesos y volúmenes elaborados, y habrá de supervisarse periódicamente.(FAO, 2014)

1.2.6 Controles de fabricación

Deberán emplearse procedimientos de fabricación (lavado, secuenciación y limpieza física) que eviten la contaminación cruzada entre lotes de pienso e ingredientes que contengan materiales de uso restringido o potencialmente peligroso (como ciertas harinas de subproductos animales y medicamentos

veterinarios). Estos procedimientos también deberán emplearse para reducir al mínimo la contaminación cruzada entre pienso medicados y no medicados y otros pienso incompatibles. En los casos en que existan un riesgo elevado para la inocuidad de los alimentos vinculado a la contaminación cruzada y se considere que la utilización de métodos correctos de lavado y limpieza no es suficiente, se deberá estudiar la posibilidad de utilizar líneas de producción, equipos de acarreo, almacenamiento y suministro completamente separados. Cuando proceda, deberán emplearse procedimientos de controles de patógenos, tales como el tratamiento térmico o la adición de sustancias químicas autorizadas. Tales procedimientos deben ser objeto de seguimiento en las fases del proceso de fabricación. (Gómez, 2012)(FAO, 2014)

1.2.7 Mantenimiento

El equipo debe estar sujeto a un programa de mantenimiento planificado que asegure que se mantiene en condiciones de trabajo seguras y eficaces. Deben mantenerse registros de cualquier mantenimiento que se realice sobre el equipo crítico para la producción de un alimento inocuo, por ejemplo, equipo de medición esencial, cocedores, imanes, etc. Los ingenieros y los contratistas que trabajan en el lugar deben estar controlados de tal forma que los trabajos de mantenimiento y construcción no afecten de manera adversa la inocuidad de los alimentos. (FAO, 2014)

1.2.8 Iluminación

Las fuentes de iluminación deben ser suficientes para garantizar que las condiciones higiénicas se mantengan por todas las zonas de producción y almacenamiento, así como donde el equipo y los utensilios se limpian en las zonas de lavarse las manos y en los inodoros. Donde se requiera de iluminación artificial, deben diseñarse para garantizar que refleje los colores reales. Las condiciones de iluminación adecuadas son particularmente importantes en zonas en las que el pienso se inspecciona visualmente o se monitorean instrumentos, en la tabla 1.2 se muestran los valores recomendados en lux. (Gómez, 2012) (FAO, 2014)

Tabla 1.2 Parámetro de iluminación en fábricas de pienso. (FAO, 2014)

Áreas de la Empresa	Iluminación recomendada (lx)
Inspección	540
Áreas de trabajo	220
Otras áreas	110

Las buenas prácticas en la industria de pienso harán más eficiente la producción, disminuirá el consumo de importantes recurso en todo el proceso, hará más competitivo el sector, permitirá ir adquiriendo mejores tecnologías, capacitar al personal para el uso eficiente de la tecnología y posibilitará reducción de gastos en el uso final de la energía.

Aplicando estas buenas prácticas se podrá ser una empresa exportadora de una buena variedad de pienso con una calidad excelente. (FAO, 2014)

1.3 Evolución y tendencias en el desarrollo tecnológico de equipos para la producción de pienso animal.

En el mundo el proceso de fabricación de pienso ha tenido una evolución considerable, en cuanto a nuevos equipos y la automatización del proceso productivo.

En los últimos años, ha evolucionado de forma considerable la tecnología de acondicionamiento de piensos compuestos. Esta evolución vino marcada 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.

En particular 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. Sin embargo en fábricas clásicas su inclusión está muy limitada para mantener una calidad del gránulo aceptable. Por estas razones, la tradicional

elaboración de piensos (molienda, mezclado y granulación) cede terreno ante las nuevas tecnologías (extrusión, expansión, maduración, doble granulación, etc.).

En todos los casos, se trata de manejar a conveniencia los parámetros físicos: presión, temperatura y tiempo, que son los determinantes en un acondicionamiento. Todo ello va encaminado a obtener una buena calidad del gránulo, aspecto que cada vez adquiere más importancia tanto por razones comerciales, como por su influencia sobre los índices productivos. (KAHL, 2011).

Los principales avances tecnológicos en el sector se muestran en los siguientes equipos y como mejoran la calidad nutricional del pienso y sus aditivos.

1.3.1 Tecnologías de ahorro energético aplicables a las fábricas de piensos compuestos.

En las fábricas de pienso compuesto, la mayor parte de la demanda energética se produce en los procesos de molturación y granulación, mientras que en la fase de post cosecha, para el tratamiento de los cereales como materia prima, el mayor consumo energético se obtiene en el acondicionamiento y almacenado. Por este motivo la comparación y las propuestas realizadas están relacionadas con estos procesos.

1.3.2 Dosificación

Los transportadores sin fin han sido diseñados para la extracción, transporte o dosificación de una gran variedad de productos secos, para el transporte continuo de productos a granel en dirección horizontal o ascendente como se muestra en la figura 2. (KAHL, 2011) (Emilio Rial, 1998)



Figura 2 Transportador Sinfín (KAHL, 2011)

1.3.4 Mezclar

Los mezcladores continuos y los mezcladores de cargas están diseñados para mezcla continua de al menos tres tipos de productos de un mismo tipo (con la misma densidad), por ejemplo, polvos de huevo, cacao, leche en polvo, polvo de mostaza, etc. Se caracterizan por la velocidad alta para mezclar con un bajo consumo de energía. (Emilio Rial, 1998) (KAHL, 2011)



Figura 3 Los mezcladores continuos (KAHL, 2011)

1.3.5 Acondicionar

En el acondicionador de corto tiempo MK el producto permanece 10 a 60 segundos a una temperatura de 50 - 95 °C. La forma convencional de acondicionar los piensos antes de la granulación es el vapor, y son tres los

factores que regulan su uso: debe ser seco; debe disponerse del suministro adecuado para las prensas de granulación en momentos de máxima demanda, así como para el calentamiento auxiliar de melazas y de grasas; y la presión del vapor en la prensa debe mantenerse constante a un nivel predeterminado a continuación. (Emilio Rial, 1998) (KAHL, 2011)



Figura 4 Acondicionador de corto tiempo MK (KAHL, 2011)

1.3.6 Expandir

En este equipo la presión puede alcanzar los 40 bar, la temperatura puede llegar a 140°C y el tiempo de estancia de la harina en el tubo no sobrepasa los 10-15 segundos. De gran utilidad en la industria avícola por su capacidad de eliminar la contaminación bacteriana (salmonellas y coniformes). La tecnología del expander es uno de los mejores y más amplios métodos de acondicionamiento de piensos compuestos y componentes individuales a continuación se muestra en la figura 6 el equipo (Emilio Rial, 1998) (KAHL, 2011).



Figura 5 extrusor (KAHL, 2011)

1.3.7 Extrusionar

Es el proceso industrial en donde la masa se forma en croqueta con presión y a alta temperatura. Después de este proceso, casi siempre es necesario, añadir vitaminas, y grasa a las croquetas. Un pienso extrusionado se reconoce especialmente porque la croqueta flota en el agua y suele desprender algo de aceite o grasa, mientras que un pienso sin extrusionar, se hunde y se descompone en el agua. También se reconoce el pienso extrusionado porque al masticar las croquetas crujen. En la zona de salida el extrusor OEE de KAHL está equipado con una matriz accionada hidráulicamente. (Emilio Rial, 1998). (KAHL, 2011)



Figura 6 Extrusor con matriz accionada hidráulicamente. (KAHL, 2011)

1.3.8 Expander de corona.

En la producción de piensos a nivel internacional las industrias han inclinado sus producciones al proceso del pienso expandido, ello está dado por ser más efectivo el producto para la alimentación animal. A ello se debe el gran éxito que ha tenido la aplicación de los expander de corona. (Emilio Rial, 1998) (KAHL, 2011).

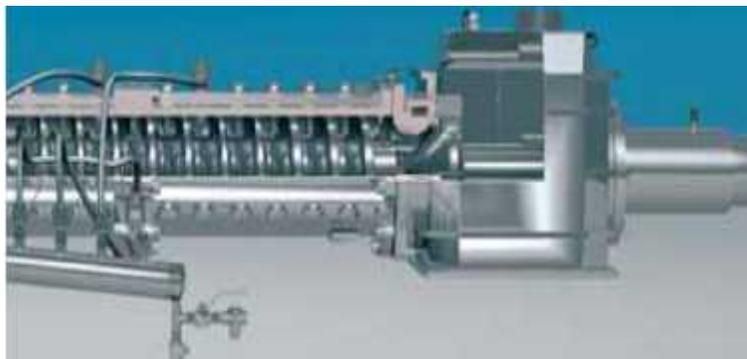


Figura 7 Expander de corona (KAHL, 2011)

Las grandes ventajas que han llevado al éxito a este equipo son:

- Higiénico, biológico, estructurado, homogéneo.
- Estructura granular más apropiada para el animal.
- Excelentes características de flujo.
- Disolución rápida en el agua.
- Bajo consumo de energía.
- Diferentes diámetros de gránulo.
- Producción de gránulos para todas las especies.
- Muy alta modificación del almidón posible.

La calidad y la diversidad de los diferentes piensos que se puede obtener con este equipo son muy superiores a las convencionales. (Emilio Rial, 1998). (KAHL, 2011)

1.3.9. El extrusor OEE

Está equipado con una matriz cambiable e hidráulicamente ajustable a diferencia de los tradicionales. La planta extrusora de fácil manejo y diseñada para diferentes aplicaciones está disponible en diferentes tamaños.

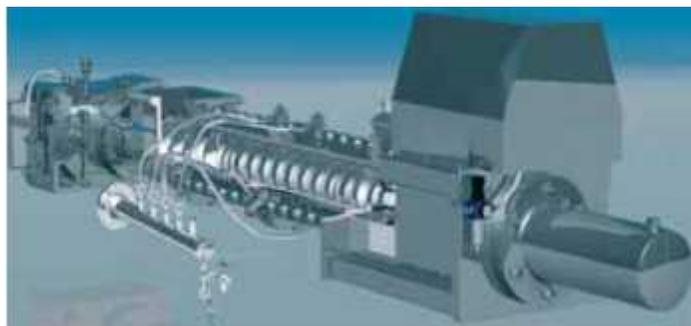


Figura 8 Extrusor con matriz cambiable. (KAHL, 2011)

Las grandes ventajas que han llevado al éxito a este equipo son:

- Modificación de 90 % del almidón
- Aplicable para todas las especies de animales

- Alta capacidad de absorción de agua
- Altos contenidos de grasa de hasta 30 % para piensos complementarios y concentrados.
- Permite diferentes formas de producto.
- El cambio del producto y de las herramientas se simplifica y acelera significativamente.
- Hay pocas pérdidas de producto durante el arranque y la parada. (Emilio Rial, 1998). (KAHL, 2011)

Esta tecnología permite obtener diferentes tipos de pienso con una mayor calidad en su producción, un ejemplo de ellos son: Para el ganado vacuno una estructura gruesa disminuye la degradación de almidón en el rumen, el valor del pH queda estable, existiendo un aprovechamiento del potencial de rendimiento genético.

En los cerdos, reduce las enfermedades del estómago, trae aparejado un alto consumo de pienso, altos rendimientos de engorde y estiércol seco. Mascotas producto extruido de forma estable, alta modificación del almidón. Aves consumo de pienso no selectivo, mayor tiempo de transición en el intestino Peces gránulos flotantes, de sumersión lenta o muy lenta. Crustáceos gránulos estables en el agua para camarones y otros crustáceos. (Emilio Rial, 1998) (KAHL, 2011)

1.3.10.- Prensas granuladoras

Pueden ser pequeñas, medianas y altas capacidades de producción existen dificultades en las prensas granuladoras de matriz plana, que han probado su eficacia durante décadas, incluso para los piensos compuestos que son difíciles de procesar.



Figura 9 Prensa granuladora de matriz plana (KAHL, 2011)

- Se pueden producir gránulos de óptima calidad con un diámetro de 2 a 40 mm.
- Con una velocidad de los rodillos de sólo 2,5 m/s el producto es ventilado de manera óptima.
- Las plantas emiten poco ruido, por debajo de 70 dbA. (KAHL, 2011). (Emilio Rial, 1998)

La modernización en el sector de pienso muestra un gran desarrollo y constituye el sector fundamental para la obtención de grandes cantidades de alimento para la nutrición animal, como una vía para satisfacer las necesidades de los seres humanos en un tiempo que sea relativamente corto y con una excelente calidad.

1.4 Estado actual y tendencias en la gestión energética de las fábricas de pienso animal. Indicadores energéticos utilizados.

En la actualidad se han realizado estudios en fábricas de pienso para saber cómo es la gestión energética en el proceso de producción, se determinan indicadores que influyen el costo de la producción del pienso animal. Un ejemplo de estos estudios fue el realizado por el gobierno de España en conjunto con el ministerio de medio ambiente y medio rural y marino.

En el estudio fueron tomadas muestra de seis cooperativas del sector. En la tabla 1.3 se presentan los datos de la producción de pienso, potencia instalada y consumo eléctrico.

Tabla 1.3 datos de las cooperativas (Betancourt, 2010)

	Producción	Potencia Total	Consumo total
	Tm	kW	kWh
FP ¹ -01	60.583	901	1.321.787
FP-02	17.680	660	433.697
FP-03	22.500	254	220.405
FP-04	6.500	153	109.394
FP-05	57.208	849	1.273.602
FP-06	100.000	1.533	871.817
Suma	264.471	4.352	4.230.707
Promedio	44.079	725	705.117

El proceso productivo de la fábrica de pienso se divide en varias etapas productivas, a la que está asociado el consumo eléctrico por movimiento de motores, equipos transportadores y elevadores, prensas, equipos auxiliares e iluminación. A ello se asocian los consumos energéticos de las oficinas, talleres, tiendas y otros. (Betancourt, 2010)

Considerando solo las fábricas de pienso, la potencia instalada media es de 66 kW y el consumo medio es de 661.389 kWh. En la tabla 1.4 se muestra el comportamiento de las cooperativas.

Tabla 1.4 Datos de las fábricas de pienso (Betancourt, 2010)

	Producción	Potencia Fábrica	Consumo Fábrica
	Tm	kW	kWh
FP-01	60.583	777	1.211.805
FP-02	17.680	564	396.390

¹FP es fábricas de pienso:

FP-03	22.500	224	185.470
FP-04	6.500	153	94.504
FP-05	57.208	802	1.228.517
FP-06	100.000	1.446	851.650
Suma	264.471	3.965	3.968.336
Promedio	44.079	661	661.389

1.4.1 Consumo energético

El consumo eléctrico de las fábricas estudiadas está dado en un rango de valores que va desde 41.799 a los 3.878.855 kWh, aunque como promedio se consume 432.403 kWh de energía eléctrica al año. Además de observar una potencia media instalada de 774 kW. De las 35 fábricas estudiadas el 74% de ellas tienen un menor consumo eléctrico que el promedio y el 26% restante tiene mayor consumo eléctrico que la media. Tal y como se ha comentado anteriormente la mitad de las fábricas de pienso estudiadas se consideran pequeñas, por lo que es lógico que su consumo eléctrico sea menor. Las cooperativas estudiadas se clasifican en tres grupos; Pequeñas, medianas y grandes, para establecer el promedio de consumo en base a la producción real de cada grupo de cooperativas. Los datos obtenidos se resumen en la tabla 1.5. (Betancourt, 2010) (Castañeda, 2014)

Tabla 1.5- Clasificación de las fábricas de pienso según el consumo eléctrico (Betancourt, 2010) (Castañeda, 2014)

Potencia Media Instalada (kW)	Consumo Medio Anual (kWh)	Producción Promedio Anual (t/año)	Promedio Consumo Energético (kWh)	Clasificación de las empresas	Producción (t/año)	Consumo (kWh)	Peso (%)
774	1.094.612	21.345	423.912	Pequeña	<10	130.425	83%
				Mediana	10-30	326.172	
				Grande	>30	1.532.50	17%

El promedio productivo anual es de 21.345 t/año. De este promedio el informe establece que el 83% de las cooperativas auditadas están clasificadas como pequeñas y medianas, mientras que el 17% son grandes. De los datos de consumo, el 74% de las cooperativas están por debajo del valor promedio anual,

mientras que el 26% restante está por encima de este. Otro dato de interés, es la razón energética en función del pienso total producido según la clasificación de la cooperativa.

Tabla 1.6 Razón energético kWh/t en función de la clasificación (Castañeda, 2014)

Clasificación	Producción Promedio (t/año)	IDEn (kWh/t)
Pequeña	6.047	21,57
Mediana	19.312	16,89
Grande	76.017	20,16

En la tabla 1.6, es dado la producción promedio (t/año) y el consumo específico de energía en kWh/t para cada tipo de cooperativas.

En la propia tabla se muestra que las fábricas catalogadas como medianas, tienen una producción anual entre 10 y 30 t. Son estas las de menor consumo específico de energía. (Castañeda, 2014)

1.4.2 Consumo energético (eléctrico y térmico) del proceso de fabricación

El consumo energético total se ha establecido a partir del estudio realizado por la Asociación Gallega de Cooperativas Agroalimentarias (AGACA) y en especial, el realizado a una muestra significativa de seis cooperativas auditadas energéticamente.

En la tabla 1.7 se obtiene el resumen del consumo eléctrico medio, tanto del proceso productivo como del total, de las fábricas auditadas, además de establecer la relación en tanto por ciento del consumo eléctrico por proceso productivo.

Tabla 1.7 Resumen de los consumos eléctricos anuales de las cooperativas.
(Castañeda, 2014)

Proceso	Potencia media instalada (kW)	Consumo eléctrico (kWh)	Consumo %
Recepción	54	22.947	3,47
Molienda	229	223.907	33,85
Dosificación	56	29.059	4,39
Mezcla	35	31.414	4,75
Melizado	33	16.047	2,43
Granulado	260	164.222	23,83
Enscado	11	11.751	1,78
Granel	29	18.743	2,83
Carro de mezclas	140	69.365	10,49
Equipos auxiliares	54	66.625	10,07
Iluminación	4	7.308	1,10
Total Fábrica	905	661.389	100

Es importante remarcar que el consumo eléctrico en la fase de molienda es 223 907 kWh, que representa el 33,85 % del consumo eléctrico total de la planta. La etapa de dosificación y mezcla consume el 18%. El estudio se enfocó a los principales consumidores de energía y la forma de reducir su gasto energético. De la tabla 1.8 es dado el resumen del consumo térmico medio del proceso productivo de las fábricas auditadas, además se da en por ciento del consumo térmico por proceso productivo.

Tabla 1.8 Resumen consumos térmicos de las cooperativas. (Castañeda, 2014)

Consumo Térmico (Gasóleo/Fuel)	Consumo energético medio(litros)	Equivalencia (kWh)	Consumo %
Recepción/Transporte	13.287	130989	26,72%
Molturación/Granulación	36.449	359316	73,28%
Total Fábrica	49.736	490.305	100,00%

Los consumos térmicos más importantes son los que se realizan en el proceso de molturación y granulación, que representan 73,28% del consumo total.

Se observa que el estudio energético realizado por la unión de cooperativa, no tienen en consideración la demanda energética del proceso de molienda. Además de observar, que tanto la demanda eléctrica, como la térmica, son bastante subjetivos y varían enormemente en función de la clasificación de las cooperativas y del sistema productivo utilizado. (Castañeda, 2014)

1.4.3.- Eficiencia energética en molinos martillos

La eficiencia en los molinos de martillos está dada por el consumo energético del motor, y el consumo específico de energía en la moliendo.

La potencia del motor está dada por la ecuación (1.1).

$$P_{\text{elect}} = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos \theta \quad (1.1)$$

P_{elect} .-Potencia eléctrica del motor. (kW)

V_L .-Voltaje de línea. (V).

I_L .-Corriente de línea. (A).

$\cos \theta$.-Factor de potencia

El rendimiento eléctrico del motor está dado por la ecuación (1.2).

$$\eta_{\text{motor elect}} = \frac{P_{\text{eje}}}{P_{\text{elect}}} \quad (1.2)$$

$\eta_{\text{motor elect}}$.- Rendimiento del motor eléctrico.

P_{eje} .-Potencia en eje. (kW)

P_{elect} .-potencia eléctrica a la entrada del motor. (kW)

La potencia en el eje del motor se puede determinar despejando en la ecuación (1.2 de donde se obtiene que:

$$P_{\text{eje}} = \eta_{\text{melect}} * P_{\text{elect}} \quad (1.3)$$

El instituto Swiss Feed Technology (S.F.T), propone una serie de expresiones matemáticas para determinar los principales parámetros en el proceso de molturación y el índice de trabajo de Bond estas expresiones son:

El factor de molturación para cereales se puede determinar por la ecuación (1.4). (Overgaard, 2014).

$$JKW = \frac{m}{\phi * P_m} = \frac{kg}{h * mm * Kw} = \frac{kg}{h * mm * kW} \quad (1.4)$$

JKW.-Factor de molturación (para los cereales)

P_m .- Potencia en el eje del motor del molino (kW)

ϕ .- Diámetro del tamiz (mm)

m .- Flujo de alimentación (kg/h)

W_i .- Índice trabajo de Bond (kWh/t)

El índice de trabajo de Bond se puede determinar en la ecuación (1.4) de donde se obtiene:

$$W_i = \frac{m}{\phi * JKW} = kWh/t \quad (1.5)$$

La potencia consumida en la molienda se puede determinar en la ecuación 1.6).

$$P_{molida} = m * 0.3162 * W_i \left(\frac{1}{D_{pb}} - \frac{1}{D_{pa}} \right) \quad (1.6)$$

P_{molida} .-Potencia en la molienda, kW o W

D_{pa} .-tamaño de la partícula de alimentación

D_{pb} .-Tamaño del producto final

W_i .-Índice trabajo de Bond (kWh/t)

m .- Flujo de alimentación, t/h o kg/s

La eficiencia en molinos de martillos se puede determinar por la ecuación 1.7).

$$\eta_{rendimiento\ molino} = \frac{P_{molida}}{P_{eje}} \quad (1.7)$$

$\eta_{rendimiento\ molino}$.- Rendimiento del molino, (%).

P_{molida} .-Potencia en la molienda, kW o W.

P_{eje} .-Potencia en eje. (kW).

1.4.4 Factores del proceso productivo que influyen en el consumo energético de la fábrica.

Los principales factores que influyen en el consumo energético de la fábrica aparecen en los procesos de la molienda, la dosificación y el mezclado. Estos procesos consumen más del 60% de la energía en las fábricas. (Castañeda, 2014)

En la molienda los factores que influyen son: el tipo de materia prima (los granos y semillas de cereales demandan más energía en la molienda); el diámetro (D) del tamiz.

La molienda fina aumenta el consumo del molino, pues necesitará más energía para triturar la partícula comparada con una molienda gruesa, A mayor diámetro menor consumo de energía (Ver ecuación 1.6)

Lo expresado anteriormente se puede observar en la tabla 1.9 para diferentes cereales y diámetro de tamices.

Tabla1.9 Rendimiento del molino según el tamaño del tamiz. (Castañeda, 2014)

			D tamiz=2.5mm		D tamiz=3mm	
Cereal	Factor de molturación (JKM)	m(kg/h)	P(kW)	W _i (kWh/t)	P (kW)	W _i (kWh/t)
Trigo	55.00	5551	40.37	7.27	33.64	6.06
Maíz	40.00	5551	55.51	10.00	46.26	8.33
Sorgo	70.00	5551	31.72	5.71	26.43	4.76

			D tamiz=2.5mm		D tamiz=3mm	
Cereal	Factor de molturación (JKM)	m(kg/h)	P(kW)	W _i (kWh/t)	P (kW)	W _i (kWh/t)
Trigo	55.00	5551	25.23	4.55	33.64	6.06
Maíz	40.00	5551	34.69	6.25	46.26	8.33
Sorgo	70.00	5551	19.83	3.57	26.43	4.76

1.4.5 Indicadores energéticos

El Indicador energético es la relación técnico-económica que marca la correspondencia de un consumo de energía con un indicador de actividad medido en términos físicos y económicos.

Evalúa los niveles de eficiencia de los consumos energéticos desde la perspectiva de los procesos internos, la innovación y el aprendizaje. Los indicadores deben medir el logro de los objetivos identificados dentro de la Gestión Energética. (Castañeda, 2014)

La tabla 1.10 muestra que el costo de la energía por unidades producida es mucho menor en las fábricas grandes. Lo que permite señalar que aunque tenga un mayor índice de consumo eléctrico son mas eficientes que las fábricas catalogadas como medianas en la tabla 1.6.

Tabla 1.10 coste energético por unidades producidas (Betancourt, 2010)

	Consumo eléctrico/producción total (kWh/Tm)	Coste eléctrico/producción total (€/Tm)
Pequeña	21.57	3.11
Mediana	16.89	2.12
Grande	20.16	1.89

Conclusiones Parciales del capítulo I.

1. El proceso tecnológico clásico de una empresa de pienso está formado por recepción de materias primas, recepción de cereales, la molienda, dosificación y mezclado, prensado y las ventas.
2. Internacionalmente se considera que el mayor consumo energético de una fábrica de pienso está dado en molturación y granulación, que engloba más del 70% del consumo total.
3. El consumo energético por tonelada de pienso producido depende de las dimensiones de la empresa. La literatura reporta que empresas pequeñas (hasta 6 000 t/año) tienen consumos específicos de 22 kWh/t. Empresas mediana (hasta 20 000 t/año) tienen consumos específicos de 17 kWh/t y en las grandes empresas (desde 80 000 y más t/año) el consumo específico es cercano a 20 kWh/t.
4. La FAO establece buenas prácticas para el diseño de las fábricas de pienso, que debe ser observadas a fin de lograr, piensos de alta calidad con el menor consumo energético por toneladas producidas.
5. La literatura considera que el consumo energético del molino crece en la medida que se reduce el diámetro del tamiz. La potencia consumida por el molino es función directa del flujo de producto a moler y del índice de trabajo de Bond, y es inversamente proporcional a la raíz cuadrada el diámetro del tamiz.
6. Las tendencias de los equipos tecnológicos han evolucionado, aumentando las capacidades de transportar, moler, mezclar y prensar diferentes productos con más calidad y menos consumo de energía.

Capitulo III



CAPÍTULO II. Caracterización energética del proceso tecnológico de la fábrica de pienso.

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 Obourke 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.

La producción media de la fábrica es de 132 745 t/año, el promedio de consumo eléctrico anual es de 1 474 689 kWh/año. El estudio realizado en el capítulo I permite catalogarla como una empresa grande.

La empresa tiene una producción diaria de 370 t/día de una capacidad nominal de 800 t/día, lo que la hace operar a un 46% de su capacidad diaria.

2.1.1 Consumo de portadores energéticos.

La empresa “Pienso Cienfuegos” utiliza cinco portadores energéticos; gas licuado lubricantes, gasolina, electricidad y diesel. En la figura 11 se muestra el diagrama de Pareto del consumo energético de la empresa.

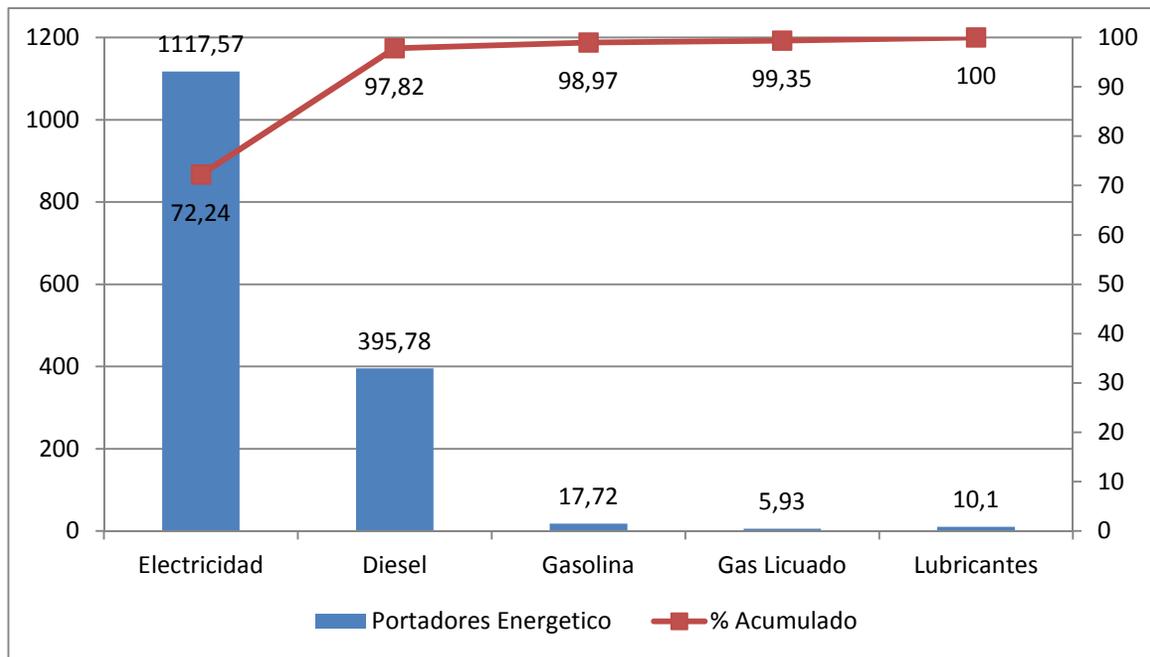


Figura 10 Consumo de portadores energéticos.

(Fuente: Elaboración propia.)

Dado que el portador energético de mayor uso en la empresa es la electricidad, el trabajo estará dirigido a valora la eficiencia de utilización del mismo por áreas y equipos.

2.1.2 Diagrama energético productivo

El diagrama energético productivo de la fábrica de "Pienso Cienfuegos" está dado en la figura 11.

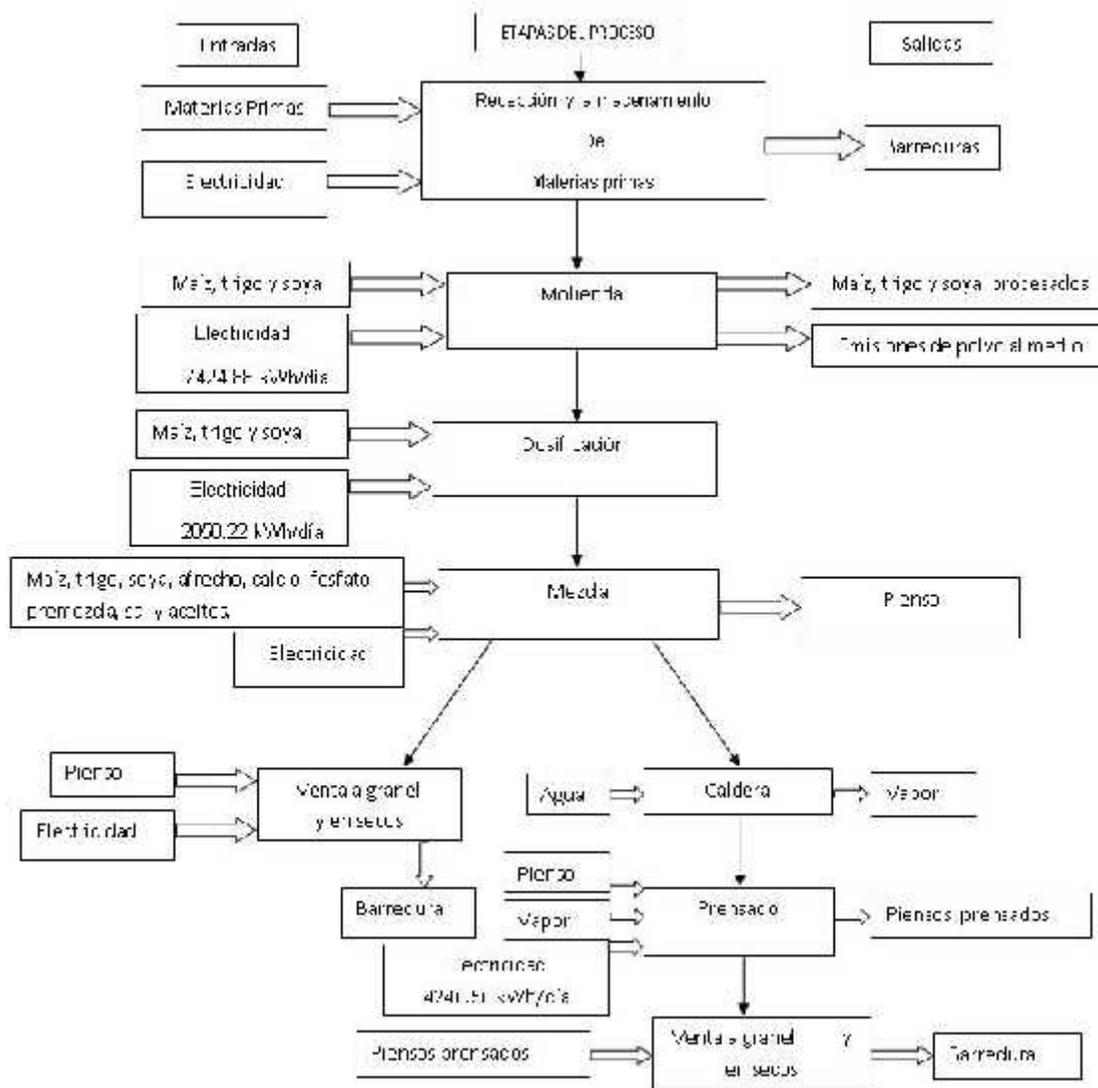


Figura 11 diagrama energético productivo de la fábrica de piensos Cienfuegos.

(Fuente: Elaboración propia)

En la figura 11 se muestra las diferentes etapas del proceso, describiendo todos los materiales y energía que entran y salen en cada una de las diferentes etapas productivas. La primera etapa del proceso es la de recepción y almacenamiento de materias, donde podemos apreciar las entradas de material y la energía suministrada al proceso.

La salida de este proceso son las barreduras.

Continúa el proceso de molienda, entrando maíz, trigo o soya en dependencia del tipo de pienso a producir. En la fábrica objeto de estudio, la energía que entra a este proceso es de 7 428,88 kWh/día.

Le sigue el proceso de dosificación, los materiales que entran a este proceso son maíz, trigo y soya, la energía eléctrica consumida en este proceso es de 2058.22 kWh/día. Está a continuación el proceso de mezcla; los materiales que entran al proceso son: maíz, trigo, soya, afrecho, calcio, fosfato, premezcla, sal y aceites, la energía eléctrica consumida en este proceso es de 2058.22 kWh/día.

La continuidad del proceso se divide en dos etapas. En una en ventas a granel y en otras en ventas en sacos. En estas etapas se consideran los diferentes tipos de piensos y la energía consumida.

El segundo proceso consiste en el prensado donde los materiales que entran son pienso y vapor. La energía eléctrica consumida es de 4 246,56 kWh/día.

Del este proceso anterior sale el pienso prensado, el que va al último proceso que es el de ventas a granel y en saco.

Al proceso de venta, los materiales que entran son pienso prensado y la energía. La salida del proceso de venta considera todos los productos vendidos y la barredura.

2.1.3 Consumo energético por áreas

Según lo indicado en la norma NC ISO 50001, se denominará área y equipos de consumo significativos, aquellos en los cuales se produce el mayor consumo energético. Un proceso de estratificación de las áreas de consumo significativo ya señaladas, muestra los equipos de mayor consumo en los cuales es necesario evaluar la eficiencia y efectividad del uso del portador energético. El consumo energético de la empresa "Pienso Cienfuegos" es dado en la figura 12.

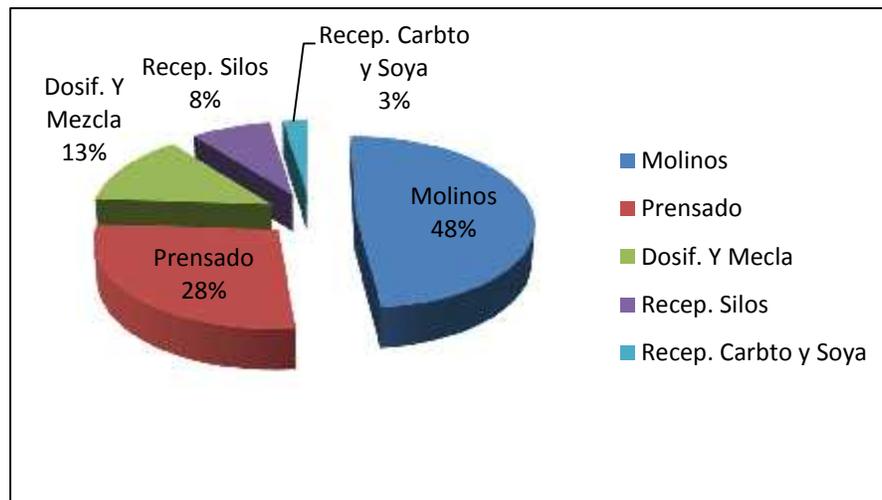


Figura 12 consumo energético por áreas

(Fuente: Elaboración propia)

En ella se aprecia que el mayor consumo eléctrico está dado en el área de molinos con un 48%. Le sigue el área de prensado con un 28% y el 24 % restante se destina a las áreas de dosificación y mezcla; recepción y silos; así como el área de recepción de carbonato y soya.

2.1.4 Consumo energético por equipos en cada una de las áreas.

El consumo energético por áreas y equipos en la empresa productora de pienso, está dado por las áreas mayores consumidoras de energía y los diferentes equipos que interviene en estas áreas en el proceso de molienda.

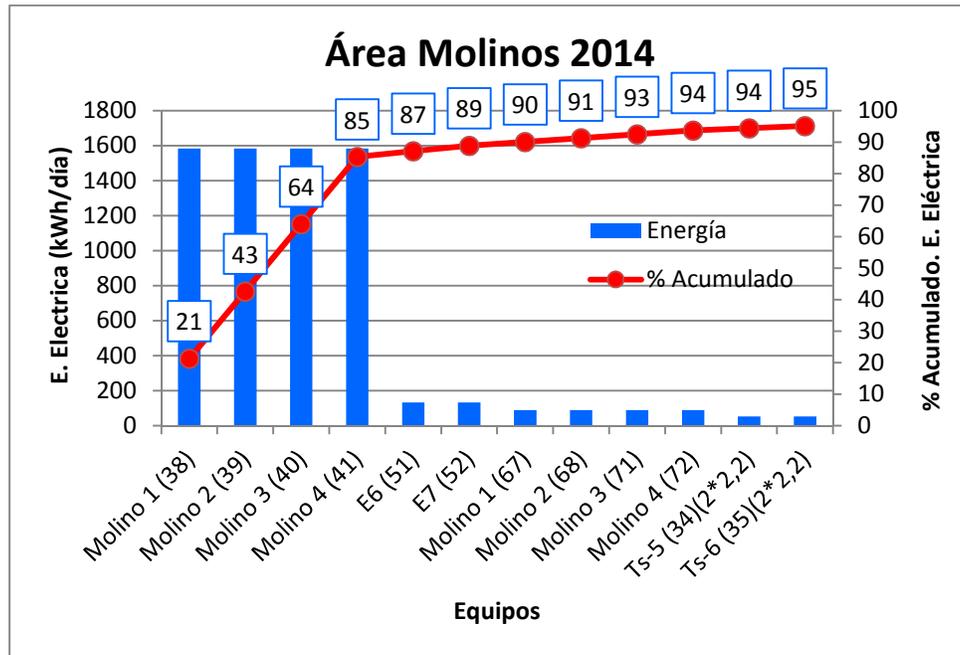


Figura 13 consumo de equipos en el área de molinos
(Fuente: Elaboración propia)

El proceso de molienda en la industria es el más importante en la producción, en la figura 13 se muestra los equipos mayores consumidores de energía. Como se aprecia, los molinos I, II, III, IV y los transportadores son el 90% del consumo de la energía en el área.

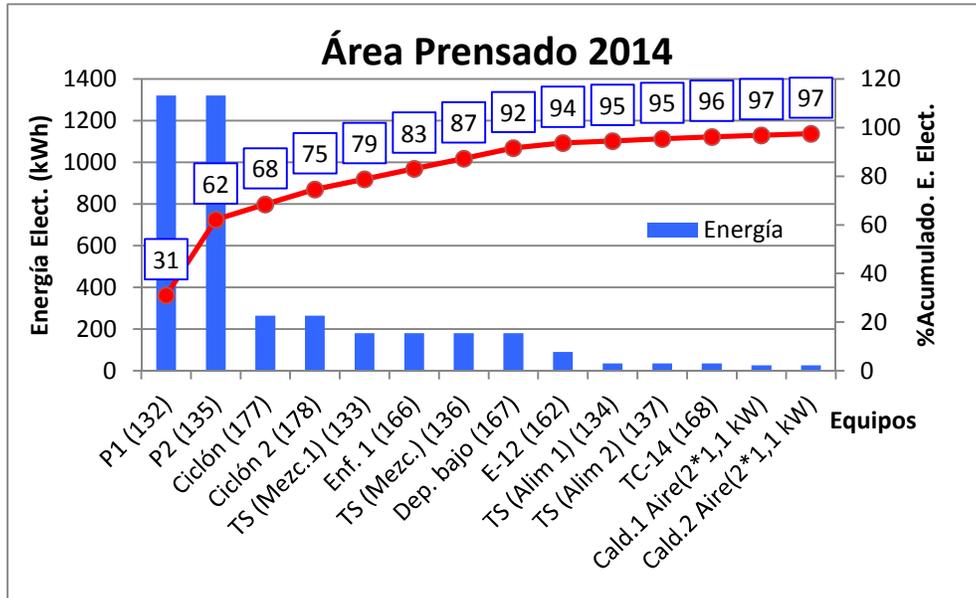


Figura 14 consumo de equipo en el área de prensado.
(Fuente: Elaboración propia)

La figura 14 muestra el comportamiento del consumo energético del área e prensado. En el mismo los valores de consumo en las prensas, los ciclones, la mezcladora y los transportadores son el 92% del consumo de la energía total del área.

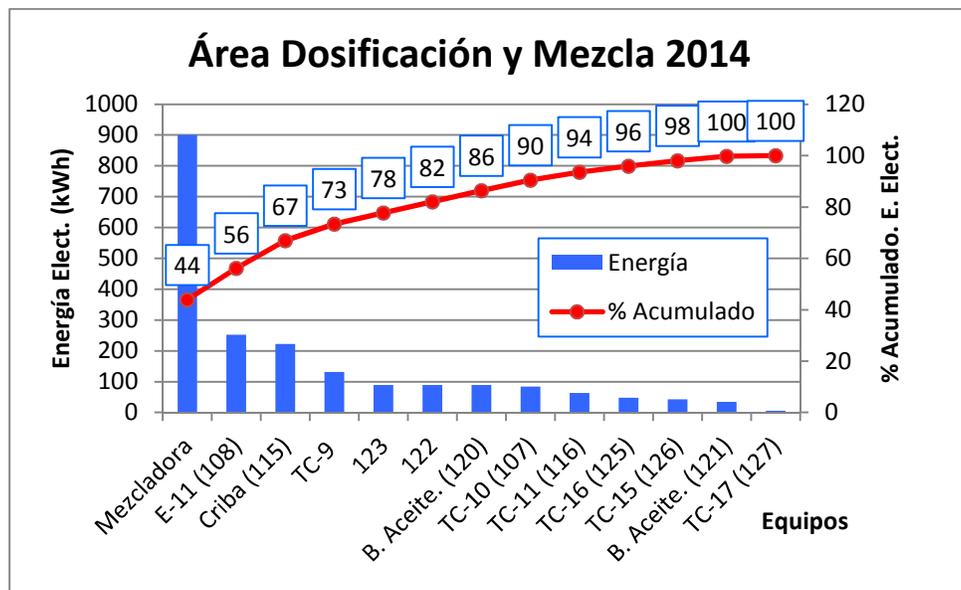
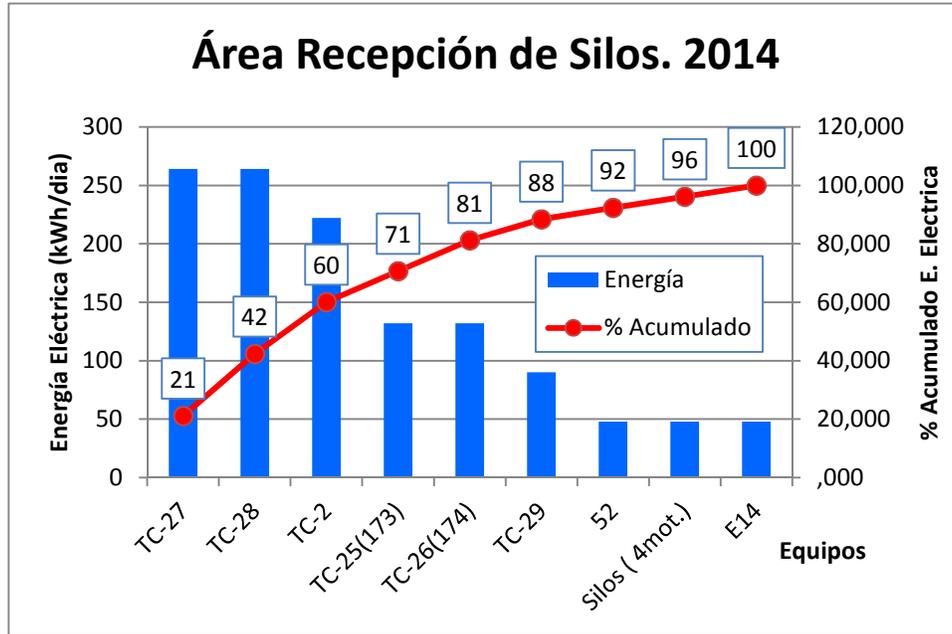


Figura 15 consumo de equipos en el área de dosificación y mezcla

(Fuente: Elaboración propia)

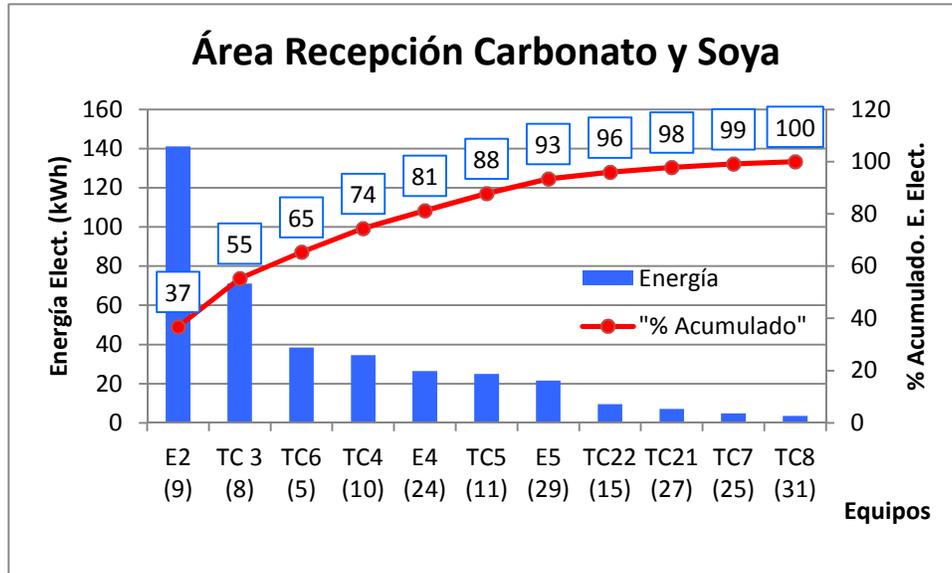
El figura 15 muestra el proceso productivo en el área de dosificación y mezcla, donde se puede ver que el mayor consumidor de energía es la mezcladora y los transportadores, ello constituye el 90% del consumo.



El figura 16 muestra el área de recepción de silo

(Fuente: Elaboración propia)

En el área de recepción de silo los equipos mayores consumidores son los transportadores que representan hasta el 88% de la energía consumida en este proceso.



El figura 17 muestra el área de recepción de carbonato y soya
(Fuente: Elaboración propia)

La figura 17 muestra el área de recepción de carbonato y soya el 80% de la energía es consumida por los transportadores usados en el proceso.

2.2 Fundamentación técnica de la determinación de la eficiencia energética de los equipos productivos. Propuesta metodológica de ecuaciones por tipo de máquina.

En el proceso productivo de la fábrica de pienso están los equipos de consumo significativo de energía. El determinar la eficiencia de cada uno de estos equipos permitirá tomar decisiones para un uso eficiente de la energía.

2.2.1 Molino de martillos

El molino de martillos actúa por efecto de impacto sobre el material a desintegrar. En la figura 19 puede verse un molino, el cual cuenta con una cámara de desintegración, con una boca de entrada del material en la parte superior y una boca de descarga cerrada por una rejilla. En el interior de la cámara, van montados los elementos de percusión (martillos), los cuales por la fuerza centrífuga que se genera al girar impactan sobre el grano y lo tritura. El material a moler ingresa por la boca de entrada y por gravedad cae al interior de la cámara de desintegración. Esto ocurre sucesivamente hasta que alcanza un tamaño tal que puede pasar por la rejilla de la descarga. El tamaño de salida de los materiales triturados puede variarse cambiando las mallas de salida. Los molinos de martillos se usan para triturar y pulverizar materiales que no sean demasiado duros o abrasivos. La figura 18 muestra un molino de martillos. (Harriott, 1991) (M.Perry, 1995) (Acevedo, 2011). (EREN, 2011)

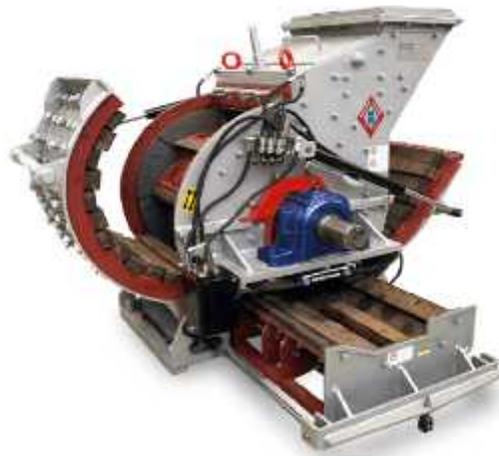


Figura 18 Molino de martillos utilizado en molienda de maíz (Acevedo, 2011)

2.2.2 Molino de martillos en la molienda de maíz.

El maíz es un cereal, caracterizado por poseer tallos en forma de caña, aunque macizos en su interior a diferencia de otras especies de esta familia. El maíz constituye junto con el arroz y el trigo, uno de los principales alimentos cultivados en el mundo, el cual no solo se utiliza para la alimentación humana, sino en la

animal y en la elaboración de diversos productos. De los granos de maíz se extrae harina, para la confección de pan de maíz, tortas, arepas, u otros productos de repostería, por medio de un proceso de molienda. Para el proceso de molienda de maíz suelen utilizarse molinos de rodillos o de martillos.

El molino de martillos particularmente es más útil debido a que la fractura de maíz no se produce por frotamiento, sino por el choque y corte entre los martillos y los granos enteros o trozos de ellos. El grano de maíz absorbe la energía potencial del martillo en la caída, dicha energía es necesaria para triturar el grano. El material molido sale a través de los orificios ubicados abajo del molino. (Harriott, 1991) (M.Perry, 1995) (Acevedo, 2011) (Akinoso, 2013) (Garcés, 2013) (Castañeda, 2014)

El molino de martillos posee la particularidad de ser más rápido que el molino de rodillos, por lo que ayuda a optimizar tiempo y reducir gastos como energía eléctrica, lo que hace al molino más competitivo. Cabe recalcar que, el espacio requerido para la implementación del molino de martillos es inferior al molino de rodillos, lo que hace que se optimice el espacio dentro de la empresa. En consideración a esto el molino de martillos es de gran utilidad en el proceso de molienda del maíz. (Harriott, 1991) (M.Perry, 1995) (Akinoso, 2013)(Garcés, 2013). (Castañeda, 2014)

2.2.3 Leyes de la desintegración

Las principales leyes que rigen estos procesos son la Teoría de Rittinger, Teoría de Kick, y la Teoría de Bond. Diferentes autores refieren estas teorías como las principales para realizar cálculos de eficiencia y de rendimiento. (Harriott, 1991) (M.Perry, 1995) (Akinoso, 2013)

La ley de desintegración propuesta por Rittinger en 1867 establece que el trabajo que se requiere para la desintegración es proporcional a la nueva superficie creada, que es equivalente a establecer que la eficacia de desintegración η_c es constante y, para una máquina y material de alimentación dados, es

independiente de los tamaños de la alimentación y de los productos. Si las esfericidades ϕ_a y ϕ_b son iguales y la eficacia mecánica es constante, las distintas constantes de la Ecuación (2.1) se pueden reunir en una sola **K**, y expresar la ley de Rittinger en la siguiente forma:

$$\frac{P}{m} = K_r * \frac{1}{\bar{D}_{sb}} - \frac{1}{\bar{D}_{sa}} \quad (\text{Harriott, 1991}) \quad (\text{M.Perry, 1995}) \quad (2.1)$$

m.- Flujo de alimentación de cereal al triturador, (t/h o kg/s)

K_r .- Constante de Rittinger.

P.- Potencia, (CV o W).

\bar{D}_{sb} .- Diámetro medio del producto a la salida del molino (μm ó mm).

\bar{D}_{sa} .- Diámetro medio del producto a la entrada del molino (μm ó mm).

En 1885 Kick propuso otra «ley», basada en el análisis de esfuerzos de la deformación plástica dentro del límite de elasticidad, y establece que el trabajo que se requiere para triturar una masa dada de material es constante para la misma relación de reducción, o sea, la relación entre el tamaño inicial de las partículas y el tamaño final de las mismas. Esto conduce a la expresión

$$\frac{P}{m} = K_k \ln \frac{\bar{D}_{sa}}{\bar{D}_{sb}} \quad (\text{Harriott, 1991}) \quad (\text{M.Perry, 1995}) \quad (2.2)$$

Donde:

P.- Potencia CV o W

m.- Flujo de alimentación de cereal al triturador, (t/h o kg/s).

K_k .- constante en la ley de Kick.

\bar{D}_{sb} .- Diámetro medio del producto a la salida del molino, (μm ó mm).

\bar{D}_{sa} .- Diámetro medio del producto a la entrada del molino, (μm ó mm).

Una relación generalizada para ambos casos es la ecuación diferencial:

$$d \frac{P}{m} = - \frac{K d \bar{D}_s}{\bar{D}_s^n} \quad (\text{Harriott, 1991}) \quad (\text{M.Perry, 1995}) \quad (2.3)$$

La resolución de la Ecuación (2.3) para $n = 1$ y 2 conduce a las leyes de Kick y Rittinger, respectivamente. Tanto la ley de Kick como la de Rittinger han demostrado ser aplicables para rangos muy limitados de tamaños de partícula; **K**, se determinan experimentalmente en ensayos con la máquina y materiales que se utilizan en la realidad. Por tanto, la utilidad de estas leyes es limitada y su interés es más bien de carácter histórico. (Harriott, 1991) (M.Perry, 1995)

2.2.4 Ley de Bond e Índice de trabajo (W_i).

Un método algo más realista para estimar la energía necesaria para la trituración y molienda fue propuesta por Bond en 1952. Bond postuló que el trabajo que se requiere para formar partículas de un tamaño **D**, a partir de una alimentación muy grande es proporcional a la raíz cuadrada de la relación superficie a volumen del producto, según la ecuación (2.3) donde se deduce que

$$\frac{P}{M} = \frac{K_b}{D_p} \quad (\text{Harriott, 1991}) \quad (\text{M.Perry, 1995}) \quad (2.4)$$

K_b . – Constante en la ley Bond.

D_p . – Tamaño de la partícula, pies o mm

P.-Potencia, CV o W

m.- Flujo de alimentación de cereal al triturador, (t/h o kg/s)

Siendo K_b una constante que depende del tipo de máquina y del material que se tritura. Esto es equivalente a la solución de la ecuación (2.3) para $n = 1,5$ y un flujo de alimentación infinito. Para utilizar la ecuación (2.4) se define un índice de trabajo W_i , como la energía total, en kilovatios-hora por 2 000 libras de alimentación, que se necesita para reducir una alimentación muy grande hasta un tamaño tal que el 80 por 100 del producto pase a través de un tamiz de 100 μm . Esta definición conduce a una relación entre K_b y W_i . Si D, está en milímetros y P en kW,

$$K_b = \overline{100 * 10^{-3} * W_i} = 0.3162W_i \quad (\text{Harriott, 1991}) \quad (\text{M.Perry, 1995}) \quad (2.5)$$

W_i .-índice de trabajo. (kWh/t)

Si el 80 por 100 de la alimentación pasa a través de un tamaño de malla de D_{pa} , mm y el 80 por 100 del producto a través de un tamaño de malla de D_{pb} , mm, a partir de las ecuaciones (2.4) y (2.5) se deduce que

$$\frac{P}{m} = 0.3162W_i \left(\frac{1}{D_{pb}} - \frac{1}{D_{pa}} \right) \quad (\text{Harriott, 1991}) \quad (\text{M.Perry, 1995}) \quad (2.6)$$

D_{pa} .- El diámetro de la partícula de alimentación. (μm ó mm).

D_{pb} .- El diámetro de la partícula del producto final. (μm ó mm).

W_i .- Índice de trabajo. (kWh/t)

m .- Flujo de alimentación de cereal al triturador, (t/h o kg/s)

P .- Potencia, CV o W.

El índice de trabajo incluye la fricción en el triturador, y la potencia dada por la ecuación (2.6) es potencia bruta. Se presentan índices de trabajo típicos para algunos materiales comunes. Estos datos no varían demasiado para diferentes máquinas del mismo tipo general y son aplicables a la trituración seca o a la molienda húmeda. En la figura 19 se muestran diferentes índices de trabajo para diferentes materiales. (Harriott, 1991) (M.Perry, 1995).

Material	Dens. rel. Índice de trabajo, W_i	
Bauxita	2,20	8,78
Clinker de cemento	3,15	13,45
Materias primas de cemento	2,67	10,51
Arcilla	2,51	6,30
Carbón	1,4	13,00
Coque	1,31	15,13
Granito	2,66	15,13
Grava	2,66	16,06
Yeso	2,69	6,73
Mineral de hierro (hematites)	3,53	12,84
Piedra caliza	2,66	12,74
Roca fosfática	2,74	9,92
Cuarzo	2,65	13,57
Pizarra	2,63	15,87
Esquisto	2,57	14,30
Roca volcánica	2,87	19,32

Figura 19.- Índices de trabajo para diferentes materiales. (Harriott, 1991)

2.2.7 Potencia del motores

La potencia en motores eléctricos está dada por diferentes voltajes y corrientes de una determinada fase que se llaman cantidades de fase (se denotan mediante el símbolo (ϕ)), los voltajes y corrientes de las líneas conectadas a los generadores se llaman cantidad de líneas (se denotan mediante la letra (L)). La relación entre las cantidades de líneas y las cantidades de fase para determinado generador o carga, depende del tipo de conexión utilizada. Existen diferentes conexiones para los motores eléctricos, están la conexión en estrella y la conexión en delta. En la conexión estrella (Y) la corriente de línea I_l es igual a la corriente de fase I_ϕ y sus unidades es Amperes (A). (Acevedo, 2011)

La relación entre las magnitudes del voltaje de línea y el voltaje de fase en un generador o carga conectada en estrella está dada por la ecuación 2.7:

$$V_l = \sqrt{3 * V_\phi} \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.7)$$

V_l .-Voltaje de línea. (V)

V_ϕ .-Voltaje de fase. (V)

En el caso de la conexión en delta (Δ) el voltaje en cualquier línea (V_l) será el mismo de la fase (V_ϕ) correspondiente y se expresa en (V).

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

$$I_l = \sqrt{3 * I_\phi} \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.8)$$

La potencia suministrada a cada fase del motor está dada por la ecuaciones 2.9, 2.10, 2.11:

$$P_A = V_A * I_A * \cos \theta \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.9)$$

$$P_B = V_B * I_B * \cos \theta \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.10)$$

$$P_C = V_C * I_C * \cos \theta \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.11)$$

Entonces la potencia total suministrada trifásica está dada por la ecuación 2.12:

$$P_{tot} t = P_A t + P_B t + P_C(t) \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.12)$$

La potencia total suministrada a una carga trifásica balanceada es constante en todo momento. El hecho de que se suministre una potencia constante para un sistema trifásico es una de sus principales ventajas en comparación con las fuentes monofásicas. Entonces la potencia total en un sistema balanceado también se puede determinar por la ecuación 2.13:

$$P_{tot} t = 3 V * I \cos \theta \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.13)$$

V- voltaje de la carga. (V)

I-corriente en la carga. (A)

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

Es posible deducir las expresiones para el determinar una carga trifásica balanceada en términos de cantidades de línea. Esta deducción debe hacerse también separadamente para las cargas conectadas en estrella (Y) y en delta (Δ), puesto que las relaciones entre las cantidades de líneas y de fase son diferentes para cada tipo de conexión para una carga conectada en estrella (Y), la potencia absorbida por una carga está dada por la ecuación 2.14 :

$$P = 3V_{\phi} * I_{\phi} * \cos \theta \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.14)$$

Para este tipo de carga $I_L = I_{\phi}$ y $V_L = \sqrt{3} * V_{\phi}$ por lo tanto la potencia absorbida por la carga se puede expresar según la ecuación 2.15:

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos \theta \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.15)$$

Para una carga conectada en delta (Δ), la potencia absorbida por una carga está dada por la ecuación 2.16:

$$P = 3 * V_{\phi} * I_{\phi} * \cos \theta \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.16)$$

Para este tipo de carga $I_L = \sqrt{3} * I_{\phi}$ y $V_L = V_{\phi}$ por lo cual la potencia absorbida por la carga puede también expresarse en términos de cantidades de línea según la ecuación 2.17.

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos \theta \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.17)$$

2.2.8 Eficiencia de motores

La eficiencia de una maquina se define como la relación de trabajo de salida entre el trabajo de entrada, la eficiencia global de una máquina es el cociente entre su potencia neta de salida y su potencia de entrada. Se acostumbra a expresarlo en porcentaje. Ecuación 2,18.

$$\eta_{\text{motor elect}} = \frac{P_{\text{eje}}}{P_{\text{elect}}} * 100\% \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.18)$$

$\eta_{\text{motor elect}}$.- Rendimiento del motor eléctrico. (%).

P_{eje} .- Potencia del eje a la salida del motor. (kW).

$P_{\text{electrica}}$.-Potencia de eléctrica a la entrada del motor. (kW)

Para ayudar a comparar la eficiencia de los motores la organización NEMA, National Electrical Manufacturers Association ha adoptado una técnica normalizada para medirla, basada en el método B, norma 113 de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), denominado procedimiento para ensayos de motores y generadores de inducción polifásicos. NEMA también ha introducido una nueva clasificación llamada eficiencia nominal NEMA, la cual aparece en la placa de identificación de los motores de diseño clase A, B y C, la eficiencia nominal identifica a la eficiencia promedio de un gran número de motores de un modelo determinado y también garantiza una cierta eficiencia mínima para ese tipo de motor. Las eficiencias nominales de NEMA normalizadas se señalan en la tabla 2.1.

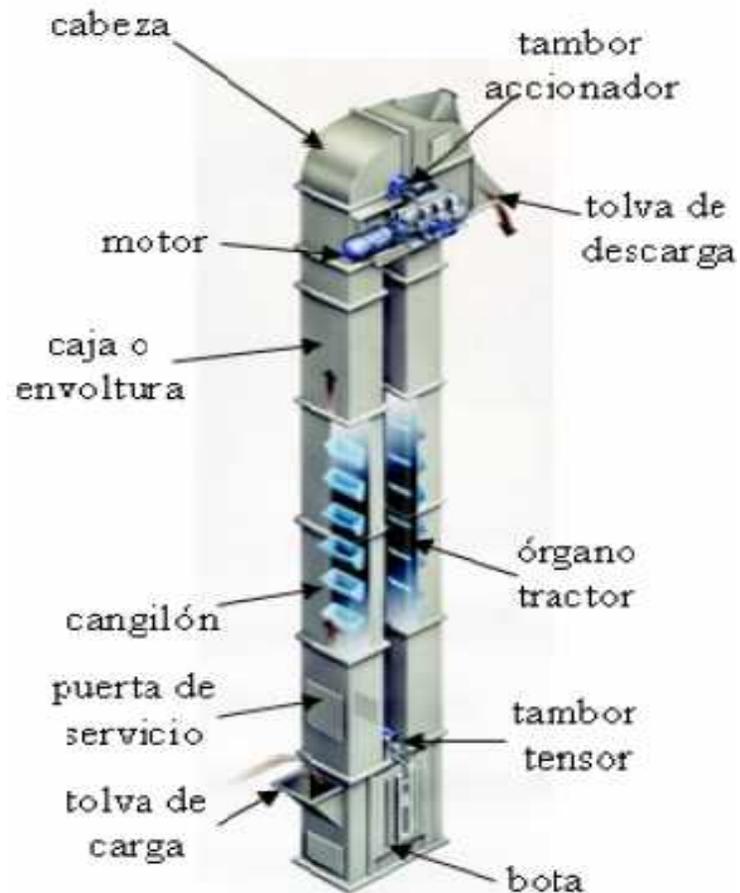
Tabla 2.1 Eficiencia nominales normalizada por NEMA. (NEMA, 2013)

% Eficiencia nominal	%Eficiencia mínima garantizada	% Eficiencia nominal	%Eficiencia mínima garantizada
95.0	94.1	80.0	77.0
94.5	93.6	78.5	75.5
94.1	93.0	77.0	74.0
93.6	92.4	75.5	72.0
93.0	91.7	74.0	70.0
92.4	91.0	72.0	68.0
91.7	90.2	70.0	66.0
91.0	89.5	68.0	64.0
90.2	88.5	66.0	62.0
89.5	87.5	64.0	59.5
88.5	86.5	62.0	57.5
87.5	85.5	59.5	55.0
86.5	84.0	57.5	52.5
85.5	82.5	55.50	50.5
84.0	81.5	52.50	48.0
82.5	80.0	50	46.0
81.5	78.5		

2.2.6 Elevadores de cangilones

Los transportadores o elevadores de cangilones son máquinas de transporte continuo que se emplean para la manipulación de materiales a granel como talcos granulados y en pedazos pequeños por una traza vertical o inclinada (más de 60 grados sobre la horizontal, sin que se produzcan paradas entre la carga y descarga del material transportado. (Abreu, 1987) (M.Perry, 1995) (Intriago, 2011)

Constan de una cinta o cadena motora accionada por una polea de diseño especial (tipo tambor) que la soporta e impulsa, sobre la cual van fijados un determinado número de cangilones. El cangilón es un balde que puede tener distintas formas y dimensiones, construido en chapa de acero o aluminio y modernamente en materiales plásticos, de acuerdo al material a transportar. Van unidos a la cinta o cadena por la parte posterior, mediante remaches o tornillos, en forma rígida o mediante un eje basculante superior cuando trabajan montados sobre cadenas para transporte horizontal. La figura 20 muestra las partes del elevador de cangilones.



La figura 20 muestra las partes del transportador de cangilones

Ventajas y desventajas del transportador de cangilones

Existen diferentes ventajas en los transportadores pero las más importante son:

- La variedad de manipulación de materiales.
- Gran facilidad para la carga y descarga del material.
- Desgaste mínimo y fácil mantenimiento.
- Bajo consumo de energía
- Posibilidad de transportación por el ramal superior e inferior y si fuera necesario por ambos a la vez.
- Bajos niveles de ruido. Construcción y montaje simple comparado con otros transportadores.

Desventajas

Son muy sensibles a las sobrecargas.

2.2.6.2 Clasificación según el tipo de carga

Se clasifican en dos tipos los de alimentación por tolvas y alimentación por dragados.

Los de alimentación por tolvas se emplean para el transporte materiales de pedazos grandes y abrasivos, la velocidad de estos son bajas. (Abreu, 1987) (Guerra, 1993) (Fernández, 2011)

Los de dragados se emplean para el transporte de materiales que no ofrecen resistencia a la extracción, pulverulentos y de granulación fina. (Intriago, 2011)

2.2.6.3 Según el tipo de descarga.

La descarga centrifuga es la más utilizada, tiene grandes velocidades de desplazamiento (1.2 y 1.4 m/s). La carga se efectúa generalmente por dragado del material depositado en la parte inferior del transportador, la distancia de separación entre los cangilones es de 2 a 3 veces la altura de este.

La descarga por gravedad son de bajas velocidades de desplazamiento de (0.5 y 1.0 m/s) y aprovechan el propio peso del material para la descarga del mismo. Los de gravedad libre son aquellos en que es necesario desviar el ramal libre del elevador mediante estrangulamiento o inclinación del propio elevador. Por gravedad dirigida consisten en la ubicación continua de los elevadores sin separación entre ellos (de escama). la descarga del material se efectúa por efecto de la gravedad utilizando la parte inferior del cangilón precedente como tolva de descarga. La carga se realiza directamente desde la tolva. (Miravate, 2002) (Fernández, 2011)

2.2.6.4 Cálculo de la cantidad de material transportado.

La cantidad de material transportado es necesario saberlo, permitirá saber el flujo que transporta el elevador y está dada por la ecuación 2.19.

$$M = i * \rho * j \quad (\text{Miravate, 2002}) \quad (2.19)$$

M.- Cantidad de material transportado (kg).

i.- Volumen del cangilón. (L)

ρ .-Densidad de la carga a granel (kg/l).

j.- coeficiente de relleno del cangilón (0.6 - 0.9).

2.2.6.5 Cálculo del flujo del material transportado.

El flujo de material se determina según la ecuación 2.20

$$Q = 3.6 \frac{M*v}{t} \quad (\text{Miravate, 2002}) \quad (2.20)$$

v. - velocidad de la banda. (m/s).

Q.-Flujo del material transportado (t/h).

t. - paso para cangilones normales: t es (2h, 3h): h. -altura del cangilón (m)

2.2.6.6.- Cálculo de la fuerza de accionamiento.

La fuerza de accionamiento queda determinada por la ecuación 2.21.

$$F_a = \frac{Q}{3.6*v} * H + H_0 \quad (\text{Miravate, 2002}) \quad (2.21)$$

F_a .-Fuerza para el accionamiento (kg).

H.-Altura de elevación (m). (3.11)

H_0 .-Altura ficticia (m).Tabla (2.2)

Tabla 2.2 Valores de la altura ficticia. (Miravate, 2002)

Sistema de carga	Tamaño del material	Valor de H_0 (m).
Desde tolva		3.8
Por degrado	Pequeño	7.6
	Mediano	11.4
	Grande	15.3

2.2.6.7.- Potencia para el accionamiento del motor (P_a).

La potencia para el accionamiento del motor está dada por la ecuación 2.22

$$P_a = (1.1: 1.2) \frac{F_a \cdot v}{102}. \quad (\text{Miravate, 2002}) \quad (2.22)$$

Se considera un sobredimensionamiento del (10÷20 %) para tener un margen mayor de cargar para el cálculo de la potencia de accionamiento.

2.2.6.8.- Potencia en el motor eléctrico.

Ésta queda definida por le ecuación 2.23

$$P_{\text{elect}} = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos \theta \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.23)$$

V_L .-Voltaje de línea. (V).

I_L .-Corriente de línea. (A).

$\cos \theta$.-Factor de potencia.

El rendimiento del motor eléctrico queda determinado en la ecuación (2.24).

$$\eta_{\text{motor elect.}} = \frac{P_{\text{eje}}}{P_{\text{elect}}} \quad (\text{Acevedo, 2011}) \quad (2.24)$$

$\eta_{\text{motor elect.}}$.- Rendimiento del motor eléctrico.

P_{eje} .-Potencia en eje del motor.

P_{elect} .-Potencia eléctrica a la entrada del motor.

Despejando en la ecuación 2.23 se obtiene la potencia en el eje del motor.

$$P_{\text{eje}} = \eta_{\text{motor elect.}} * P_{\text{elect}}$$

La eficiencia en la transmisión está dada según la ecuación (2.25).

$$\eta_{\text{transmisión}} = \frac{P_a}{P_{\text{eje}}} \quad (2.25)$$

$\eta_{\text{transmisión}}$.-Rendimiento de la transmisión del reductor.

P_a .-Potencia de accionamiento necesaria del motor. (kW).

P_{eje} .-Potencia en eje del motor.

La eficiencia de elevador queda definida según la ecuación (2.26).

$$\eta_{\text{eficiencia de elevador}} = \eta_{\text{transmisión}} * \eta_{\text{motor elect.}} \quad (2.26)$$

2.2.7 Transportador de tornillo sin fin.

El conductor de sin fin o tornillo sin fin, al igual que algunos otros conductores, se diferencian en que no poseen órganos de tracción flexible. Las partes componentes del conductor de sin fin están dadas en la figura 21.

ELEMENTOS

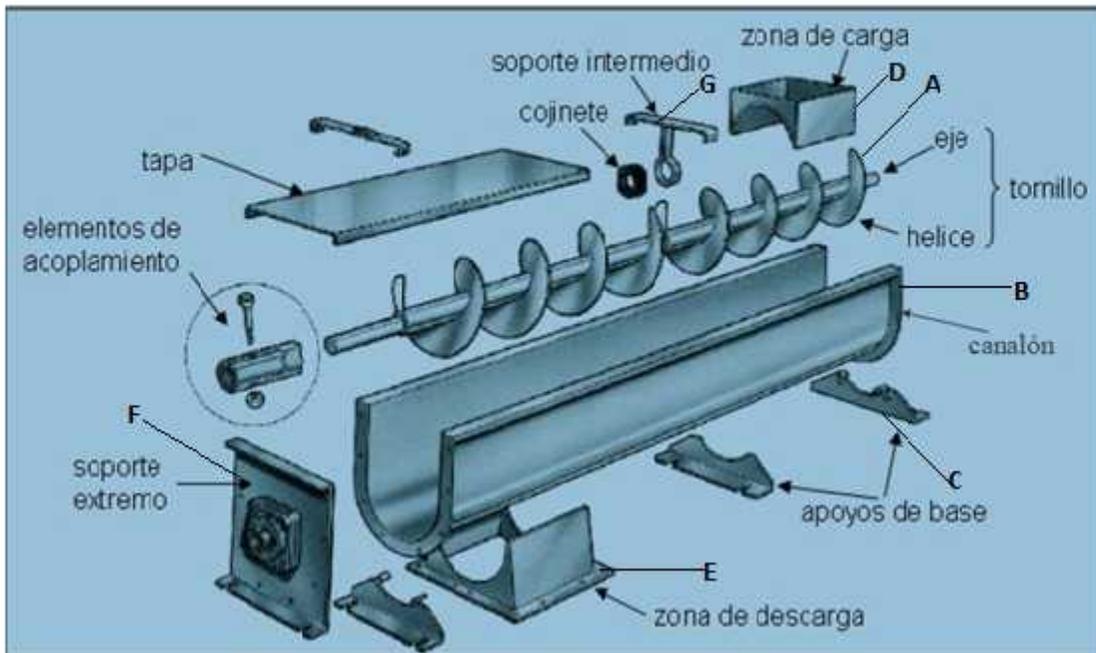


Figura 21 elementos del tornillo sin fin de fábricas de pienso

Normalmente se compone de un helicoide de hierro fundido o de plancha de hierro dúctil con un eje tubular de rotación (A), él va alojado dentro de una caja o (artesa) (B), y se apoya en chumaceras intermedias (C), delantera y trasera. El material es depositado en la parte superior en un extremo (D) y descargado por la inferior (E), en un punto intermedio o en el extremo (F). Cuando el helicoide rota, el material depositado es trasladado a lo largo de la artesa siguiendo el principio mecánico de la rosca o tornillo, es decir al girar dicho helicoide propulsado por la unidad motriz (motor, reductor, acoplamientos) (G), tiende a enroscarse y avanzar dentro del material depositado logrando el desplazamiento de éste desde el punto de entrada hasta el punto de salida. La carga no rotará junto con el helicoide debido a la acción de su propio peso y a la fricción contra las paredes de la caja. (Abreu, 1987) (Guerra, 1993) (Intriago, 2011)

En conductores de tornillo sin fin existen diferentes ventajas:

- 1- Diseño simple y bajo costo inicial
- 2- Mantenimiento sencillo
- 3- Ocupan poco espacio transversalmente.
- 4- Permiten descargar en puntos intermedios y simultáneamente
- 5- Pueden cerrarse herméticamente (especialmente para transportar materiales pulverizados, calientes de olores desagradables etc.)

Desventajas

- 1-Alto consumo de energía
- 2- Rápido desgaste de la caja y las partes móviles
- 3- Se emplea solamente para un limitado grupo de materiales a granel

Los transportadores de sin fin se emplean para capacidades bajas y medias (hasta 100 m³/h) y para distancias cortas (de 30 a 40 m de largo y muy excepcionalmente 50 a 60 m). Los conductores de sin fin generalmente trabajan de forma horizontal o con ligeras inclinaciones de (10 a 20 grados) .Existen diseños especiales empleados para elevar verticalmente o con ligeras inclinaciones las distintas cargas. En la figura 21 se muestran los elementos del tornillo sin fin.

2.2.7 Cálculo de los parámetros de trabajo del tornillo sin fin.

La eficiencia energética del tornillo sin fin se determina según la metodología dada del epígrafe 2.2.7.1 al 2.2.7.4

2.2.7.1 Cálculo del Flujo del material transportado.

El flujo del material está dado por la ecuación 2.24.

$$Q = 60 * \frac{\pi * D^2}{4} * p * \psi * \gamma * K * n \quad (\text{Abreu, 1987}) \quad (\text{Guerra, 1993}) \quad (2.24)$$

Q.- Flujo de material transportado, (kN/h).

D.- Diámetro del tornillo, (m).

ψ.- Coeficiente de llenado de la sección transversal.

γ.- Peso específico del material, (kN/m³).

H.- Coeficiente que tiene en cuenta el ángulo de inclinación del tornillo respecto a la horizontal. (Tabla 2.3)

n.- número de revoluciones por minuto del tornillo, (rpm).

p.- Paso de la hélice, (m).

2.2.7.2 Velocidad máxima de rotación del eje del tornillo.

La velocidad de rotación del tornillo se determina según la ecuación 2.25.

$$n_{\max} = \frac{A}{\sqrt{D}} \quad (\text{Abreu, 1987}) \quad (\text{Guerra, 1993}) \quad (2.25)$$

A.- Coeficiente que toma en cuenta las características del material. Ver Tabla 2.4

D.- Diámetro exterior del tornillos sin fin, (m).

Tabla 2.2 .Velocidad máxima de rotación del tornillo (Abreu, 1987)

Diámetro del tornillo (mm)	150	200	250	300	400	500	600
Velocidad de rotación del tornillo, rpm	24 a 150	20 a 180	24 a 118	19 a 118	19 a 95	19 a 95	15 a 75

Tabla 2.3 Angulo de inclinación del transportador (Abreu, 1987) (Guerra, 1993)

Angulo de inclinación del transportador	0	5	10	15	20
H	1	0.9	0.8	0.7	0.6

.Tabla 2.4 Valores de los coeficientes Ψ, A, W_0 . (Abreu, 1987) (Guerra, 1993)

Característica de los materiales	Valores de los coeficientes		
		A	W_0
Ligero y no abrasivo	0.4	65	1.2
Ligero y poco abrasivo	0.32	50	1.6
Pesado y poco abrasivo	0.25	45	2.5
Pesado y abrasivo	0.125	30	4

2.2.7.3 Cálculo de la potencia del tornillo.

La potencia del tornillo está dada según la ecuación 2.26.

$$P = \frac{Q}{3679 \eta} L W_0 + H = \frac{Q L}{3670} W_0 + \sin \theta, \text{ kW (Abreu, 1987)} \quad (2.26)$$

P.- Potencia. (kW).

n.- Eficiencia de la transmisión

L.- Longitud del transportador entre los ejes de conductor y descarga. (m)

H.- Altura de elevación de la carga (proyección vertical de la longitud del transportador), (m).

W_0 .- Coeficiente total de resistencia al movimiento. (Tabla 2.4)

2.2.7.4 Cálculo de la potencia del motor.

El cálculo de la potencia del motor está dado por la ecuación (2.27).

$$P_{\text{elect}} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \quad (2.27)$$

V_L .-Voltaje de línea. (V).

I_L .-Corriente de línea. (A).

$\cos \theta$.-Factor de potencia.

El rendimiento del motor eléctrico lo determinamos en la ecuación (2.28).

$$\eta_{\text{motor elect.}} = \frac{P_{\text{eje}}}{P_{\text{elect}}} \quad (2.28)$$

$\eta_{\text{motor elect.}}$ - Rendimiento del motor eléctrico.

$P_{\text{eje motor}}$ - Potencia en eje del motor, (kW).

P_{elect} - Potencia eléctrica a la entrada del motor, (kW)

La potencia en el eje del motor permitirá determinar la eficiencia en la transmisión y se obtiene de la ecuación 2.28.

$$P_{\text{ejemotor}} = \eta_{\text{motor elect.}} P_{\text{elect}}$$

El rendimiento del reductor se determina de la ecuación (2.29).

$$\eta_{\text{reductor}} = \frac{P_{\text{eje tornillo}}}{P_{\text{eje}}} \quad (\text{Abreu, 1987}) \quad (2.29)$$

Despejando en la ecuación 2.29 se obtiene la potencia en el eje del tornillo.

$$P_{\text{eje tornillo}} = \eta_{\text{reductor}} P_{\text{ejemotor}}$$

η_{reductor} - Rendimiento de transmisión del reductor. (%)

$P_{\text{eje tornillo}}$ - Potencia en eje del tornillo sin fin. (kW)

La eficiencia en la transmisión la determinamos en la ecuación (2.30).

$$\eta_{\text{ft}} = \frac{P_{\text{eje tornillo}}}{P_{\text{ejemotor}}} \quad (\text{Abreu, 1987}) \quad (2.30)$$

η_{ft} - Eficiencia en la transmisión del tornillo. (%)

$P_{\text{ejetornillo}}$.-Potencia en eje del tornillo sin fin. (kW)

P_{eje} .-Potencia en eje. (kW)

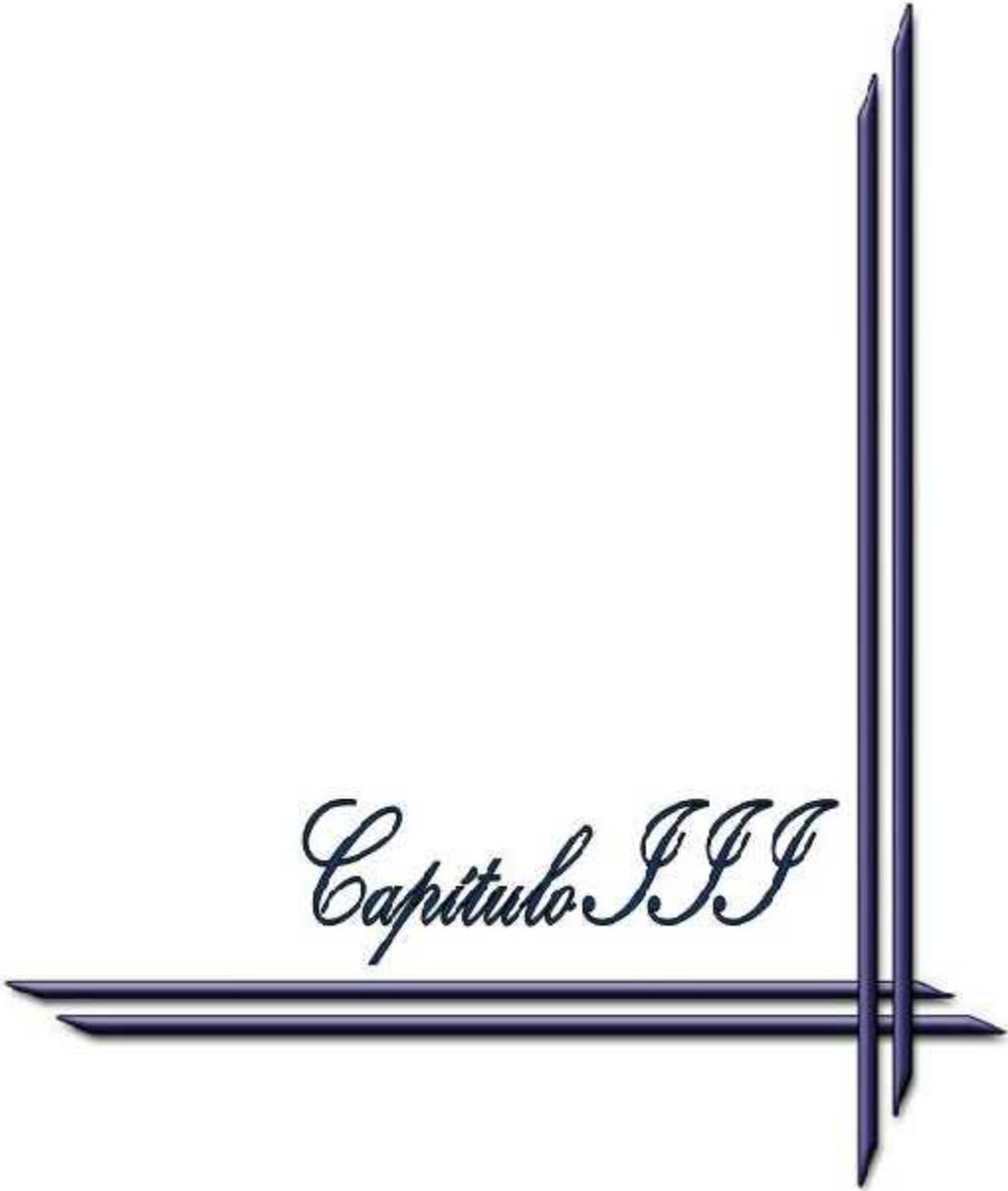
Los pasos precedentes, permiten el cálculo del rendimiento energético de los molinos de martillo, los elevadores de cangilones y los tornillos sin fin. La empresa no disponía de la información necesaria para la determinación de estos parámetros.

La inversión en el sistema de medición eléctrico de la fábrica facilita la obtención de los datos eléctricos de consumo energético y posibilita el control energético de las instalaciones productivas.

Conclusiones del capítulo II.

1. La empresa “Pienso Cienfuegos” tiene el mayor consumo energético en dos áreas del proceso tecnológico, los molinos con un 48% y prensado con el 28% lo que representa el 76% del consumo eléctrico de la entidad.
2. La caracterización energética de la fábrica mostró que los equipos de mayor consumo eléctrico son los molinos, las prensas, la mezcladora, transportadores y los elevadores de cangilones.
3. Están dadas las ecuaciones para determinar el gasto de energía en los procesos de molinos, elevadores de cangilones y tornillos sin fin.
4. Se elaboró la metodología de cálculo que posibilita evaluar energéticamente los molinos, los elevadores de cangilones y los transportadores de tornillo sin fin.
5. Las ecuaciones obtenidas facilitan el proceso de control energético de la entidad al poder determinar los valores de rendimiento energético de los equipos mayores consumidores.

Capitulo III



CAPÍTULO III. Determinación del rendimiento energético de equipos altos consumidores de energía eléctrica en el proceso productivo de la fábrica de pienso.

En el presente capítulo se determina el rendimiento energético de los equipos altos consumidores de energía en el proceso productivo de la fábrica. Se hará uso de la metodología de cálculo del capítulo II.

3.1 Metodología para la evaluación energética del proceso tecnológico de la fábrica.

El estudio realizado al proceso productivo de la fábrica los equipos altos consumidores de energía son los molinos de martillos, las prensas, la mezcladora, los transportadores de tornillo sin fin y los elevadores de cangilones.

La evaluación energética se determina para los molino de martillos pues son los mayores consumidores de energía eléctrica de la fábrica, los tornillos sin fin por ser los más difundidos en la fábrica, así como los elevadores de cangilones y su alto consumo energético, se determinaron la eficiencia energética por equipos para niveles de producción tomados en la fábrica.

No fue posible determinar la eficiencia de la mezcladora y las prensas porque en el tiempo en que se realizó el presente trabajo no permitió realizar este estudio.

Los datos productivos de la fábrica para un día típico de producción están dados en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Consumo de energía eléctrica y producción de pienso.

Equipos consumidores	Consumo	Unidad
Recepción de materias primas	839.98	kWh
Molino 2	1176.3	kWh
Molino 3	831.3	kWh
Molino4	1908.0	kWh
Mezcladora	649.5	kWh
Prensa1	508.1	kWh
Casa de visita/taller/oficina	643.5	kWh
Compresores	711.4	kWh
Alumbrado	206	kWh
CCM Molinos	303.4	kWh
Ensaque	81.11	kWh
Silos Brasileños	27.8	kWh
Caldera	38.31	kWh
Consumo total de electricidad	7924.7	kWh
Toneladas Producidas	600	t/pienso

La producción real de la fábrica es de 600 t/días y el 68% de esta producción fue maíz y un 32% de soya. El tiempo tomado para esta producir 600 t/días es de 12 h para el molino II, el molino III es de 13 h, para el molino IV es de 19 h. El gasto energético en los molinos de martillos utilizado en la molienda de maíz es superior a los utilizados en la trituración de soya.

Los molinos II, IV son los usados en la molienda de maíz con 204.5 t/días cada uno y el molino III en la producción de soya 192 t/días para una producción de 17.0 t/h los primero y de 16 t/h el segundo. El potencia demandada por el molino IV es de 98.19 kW, en el molino II es de 98,19 kW y para el molino III es de 62.19 kW. En la tabla 3.2 se muestran los datos de chapa del motor eléctrico.

Tabla 3.2 datos de chapa del motor molino IV.

Parámetros	Valor	Unidad
P_{nm}	132	kW
cos	0.86	
η	1192	rpm
kc	74	%
m_{elect}	92	%

3.1.1 Cálculo de la potencia del motor del molino IV.

El cálculo de la potencia del molino se determina por la ecuación (2.17).

$$P_{elect} = \sqrt{3} V_L I_L \cos$$

Sustituyendo valores en la ecuación:

$$P_{elect} = 1.73 \cdot 440 \cdot 150 \cdot 0.86 = 98.19 \text{ kW}$$

El rendimiento eléctrico está dado por la ecuación 2.18.

$$m_{elect} = \frac{P_{eje}}{P_{elect}}$$

Despejando la potencia en el eje de la ecuación 2.18

$$P_{\text{eje}} = m_{\text{elect}} P_{\text{elect}}$$

Sustituyendo valores se obtiene

$$P_{\text{eje}} = 0.92 \cdot 98 = 90.16 \text{ kW}$$

3.1.2 Cálculo del índice de trabajo de Bond.

El factor de molienda se determina por la ecuación (1.4).

$$JKW = \frac{m}{P}$$

Sustituyendo valores en 1.4 obtenemos:

$$JKW = \frac{m}{P} = \frac{17000}{3 \cdot 90.16} = 62.85 \frac{\text{kg}}{\text{h mm kW}}$$

El cálculo del índice de trabajo está dado por la ecuación (1.5).

$$W_i = \frac{1000}{\phi JKW}$$

Sustituyendo valores en 1.5 obtenemos:

$$W_i = \frac{1000}{3 \cdot 62.85 \frac{\text{kg}}{\text{h mm kW}}} = 5.30 \text{ kWh/t}$$

3.1.3 Cálculo de la potencia consumida en la molienda.

La potencia consumida está dada por la ecuación (1.6).

$$P_{\text{molida}} = m \cdot 0.3162 \cdot W_i \left(\frac{1}{D_{pb}} - \frac{1}{D_{pa}} \right)$$

Sustituyendo valores en 1.6 se obtiene:

$$P_{\text{molida}} = \frac{17t}{h} \cdot 0.3162 \cdot 5.30 \frac{\text{kWh}}{t} \cdot \frac{1}{3} = 16.44 \text{ kW}$$

La potencia en eje del motor y la potencia en la molida, posibilitan determinar la eficiencia energética del molino. Se da en la ecuación (1.7).

$$\text{rendimiento molino} = \frac{P_{\text{molida}}}{P_{\text{eje}}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 1.7 se obtiene:

$$\text{rendimiento molino} = \frac{16.44}{90.16} = 0.18 = 18\%$$

En general el rendimiento de los molinos de martillo es apreciablemente alto. Valores de un 60% se consideran aceptables y superiores a ese valor ya pasa a la categoría de muy buenos.

El valor de rendimiento obtenido en el cálculo es bajo y ello se considera está dado por la baja capacidad de molida en que opera la fábrica.

3.2 Cálculo del molino III.

Haciendo uso de la metodología propuesta y procediendo de igual forma que el cálculo del molino IV se realiza el cálculo del molino III.

En la tabla 3.3 están dados los datos de chapa del motor eléctrico del molino IV.

Tabla 3.3 datos de chapa del motor molino III.

Parámetros	Valor	Unidad
P_{nm}	132	kW
cos	0.86	
η	1192	rpm
kc	47	%
m_{elect}	90	%

3.2.1 Cálculo de la potencia del motor III.

El cálculo de la potencia del molino se determina por la ecuación (2.17).

$$P_{\text{elect}} = \sqrt{3} V_L I_L \cos$$

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene:

$$P_{\text{elect}} = 1.73 \cdot 440 \cdot 95 \cdot 0.86 = 62.19 \text{ kW}$$

El rendimiento eléctrico está dado por la ecuación 2.18.

$$\eta_{\text{motor elect}} = \frac{P_{\text{eje}}}{P_{\text{elect}}}$$

De la ecuación 2.18 despejando el rendimiento eléctrico del motor obtenemos la potencia en el eje. Se determina para realizar el cálculo la eficiencia en el molino de martillo.

$$P_{\text{eje}} = \eta_{\text{motor elect}} \cdot P_{\text{elect}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación obtenemos:

$$P_{\text{eje}} = 0.90 \cdot 62.19 = 55.97 \text{ kW}$$

Cálculo del índice de Trabajo de Bond.

El factor de molturación se determina por la ecuación (1.4).

Análisis de las unidades

$$JKW = m / (P_{\text{eje}}) = \frac{\text{kg}}{\text{h mm Kw}} = \frac{\text{kg}}{\text{h mm kW}}$$

Sustituyendo valores la ecuación se obtiene:

$$JKW = m / (P_{\text{eje}}) = \frac{16000}{3 \cdot 55.97} = 95.28 \frac{\text{kg}}{\text{h mm kW}}$$

El cálculo del índice de trabajo está dado por la ecuación (1.5).

$$W_i = \frac{1000}{\phi \cdot JKW}$$

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene:

$$W_i = \frac{1000}{3 \cdot 95.28 \frac{\text{kg}}{\text{h mm kW}}} = 3.50 \text{ kWh/t}$$

3.2.2 Cálculo de la potencia consumida en la molienda.

La potencia consumida es un factor importante pues permitirá determinar la eficiencia en la molienda, que está dada por la ecuación (1.6).

$$P_{\text{molida}} = m \cdot 0.3162 \cdot W_i \left(\frac{1}{D_{pb}} - \frac{1}{D_{pa}} \right)$$

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene:

$$P_{\text{molida}} = \frac{16t}{h} \cdot 0.3162 \cdot 3.50 \frac{\text{kWh}}{t} \cdot \frac{1}{3} = 10.22 \text{ kW}$$

Con estas potencias se determina el rendimiento energético del molino de martillos para diferente régimen de operación, por la ecuación 1.7:

$$\text{rendimiento molino} = \frac{P_{\text{molida}}}{P_{\text{eje}}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene:

$$\text{rendimiento molino} = \frac{10.22}{55.97} = 0.18 = 18\%$$

En general el rendimiento de los molinos de martillo es apreciablemente alto. Valores de un 60% se consideran aceptables y superiores a ese valor ya pasa a la categoría de muy buenos.

El valor de rendimiento obtenido en el cálculo es bajo y ello se considera está dado por la baja capacidad de molida en que opera la fábrica.

3.3 El cálculo del molino II.

Se determina con la metodología aplicada para los molinos anteriores. En la tabla 3.4 se muestra los datos de chapa del motor eléctrico.

Tabla 3.4 datos de chapa del motor molino II.

Parámetros	Valor	Unidad
------------	-------	--------

P_{nm}	132	kW
cos	0.86	
η	1192	rpm
kc	74	%
m elect	91	%

3.3.1 Cálculo de la potencia del motor.

El cálculo de la potencia del molino se determina por la ecuación (2.17).

$$P_{elect} = \sqrt{3} V_L I_L \cos$$

Sustituyendo valores en la ecuación obtiene:

$$P_{elect} = 1.73 \cdot 440 \cdot 150 \cdot 0.86 = 98.19 \text{ kW}$$

El rendimiento eléctrico está dado por la ecuación 2.18.

$$m_{elect} = \frac{P_{eje}}{P_{elect}}$$

De la ecuación 2.18 despejando el rendimiento eléctrico del motor obtenemos la potencia en el eje. Se determina para realizar el cálculo la eficiencia en el molino de martillo.

$$P_{eje} = m_{elect} P_{elect}$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior obtenemos:

$$P_{eje} = 0.91 \cdot 98 = 89.18 \text{ kW}$$

3.3.2 Cálculo del índice de trabajo de Bond.

El factor de molturación se determina por la ecuación (1.4).

Análisis de las unidades

$$JKW = \frac{m}{\phi P} = \frac{\text{kg}}{\text{h mm Kw}} = \frac{\text{kg}}{\text{h mm kW}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene:

$$JKW = \frac{m}{\phi P} = \frac{17000}{3 \cdot 89.18} = 63.54 \frac{\text{kg}}{\text{h mm kW}}$$

El cálculo del índice de trabajo está dado por la ecuación (1.5).

$$W_i = \frac{1000}{JKW}$$

Sustituyendo valores en 1.5 se obtiene:

$$W_i = \frac{1000}{\phi JKW} = \frac{1000}{3 \cdot 63.54 \frac{\text{kg}}{\text{h mm kW}}} = 5.24 \text{ kWh/t}$$

3.3.3 Cálculo de la potencia consumida en la molienda.

La potencia consumida es un factor importante pues permitirá determinar la eficiencia en la molienda, que está dada por la ecuación (1.6).

$$P_{\text{molida}} = m \cdot 0.3162 \cdot W_i \left(\frac{1}{D_{pb}} - \frac{1}{D_{pa}} \right)$$

Sustituyendo valores en 1.6 se obtiene:

$$P_{\text{molida}} = \frac{17t}{h} \cdot 0.3162 \cdot 5.24 \frac{\text{kWh}}{t} \cdot \frac{1}{3} = 16.26 \text{ kW} \quad (3.29)$$

Con la determinación de las potencias en eje del motor y la potencia en la molienda se determina la eficiencia energética del molino, en la ecuación (1.7).

$$em = \frac{P_{\text{molida}}}{P_{\text{eje}}} = \frac{16.26}{89.18} = 0.18 = 18\%.$$

En general el rendimiento de los molinos de martillo es apreciablemente alto.

Valores de un 60% se consideran aceptables y superiores a ese valor ya pasa a la categoría de muy buenos.

El valor de rendimiento obtenido en el cálculo es bajo y ello se considera está dado por la baja capacidad de molienda en que opera la fábrica.

3.4 Cálculo del rendimiento de los molinos a capacidades de fábrica.

La tabla 3.5 muestra los valores de la producción y el consumo por equipo.

Equipos consumidores	Consumo	Unidad
Recepción de materias primas	510,9	kWh
Molino 2	1560.3	kWh
Molino 3	335.3	kWh
Molino4	0	kWh
Mezcladora	288.4	kWh
Prensa1	0.8	kWh
Casa de visita/taller/oficina	593.5	kWh
Compresores	732.8	kWh
Alumbrado	194.5	kWh
CCM Molinos	138.9	kWh
Ensaque	74.8	kWh
Silos Brasileños	34.7	kWh
Caldera	43.3	kWh
Consumo total de electricidad	4508.2	kWh
Toneladas Producidas	360	t/pienso

Para una producción de 360 t/día el 68% de esta producción fue maíz y un 30% de soya. El gasto energético en los molinos de martillos utilizado en la molienda de maíz es superior a los utilizados en la trituración de soya.

El molino II es el utilizado 16 h en la molienda de maíz con una producción de 244.8 t/días y el molino III trabaja 5 h en la producción de soya 115.2 t/días para una producción de 16 t/h el primero y de 9,6 t/h el segundo.

La potencia necesaria para el molino II es de 98,19 kW y en el molino 3 es de 62,19kW.

La tabla 3.6 muestra los cálculos para una producción de 360 t/días

Tabla 3.6 Cálculos realizados para una producción de 360 t/días.

Equipo	Cereal	Factor de molturación (JKM)	m(kg/h)	P_{elect} (kW)	W (kWh/t)	P_{eje} (kw)	P_{molido} (kW)	η_{em} %
Molino2	Maíz	59,15	16 000	98	5.30	90.16	16.44	18
Molino4	Maíz	0	0	0	0	0	0	0

Molino3	Soya	29,45	5 000	62.19	11.31	56.59	10.32	18
---------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----

Para una molienda de 100 t/días los datos aparecen en la tabla 3.7 y los resultados en la tabla 3,8.

Los molinos IV y II son utilizados en la molienda de maíz. Ambos trabajan a razón de 17 t/h para una producción por un período de 2h para una producción de 34 t/días. La potencia medida es de 98 kW

El molino III en la producción de soya trabaja a razón de 16 t/h por un período de 2 h/día para una producción de 32 t/días. La potencia medida en el molino III es de 62,16 kW.

Tabla 3.7 consumo y producción de pienso

Equipos consumidores	Consumo	Unidad
Recepción de materias primas	59.3	kWh
Molino 2	168.9	kWh
Molino 3	68.5	kWh
Molino4	171.7	kWh
Mezcladora	98	kWh
Prensa1	277.1	kWh
Casa de visita/taller/oficina	449.3	kWh
Compresores	408.2	kWh
Alumbrado	189.5	kWh
CCM Molinos	119.3	kWh
Ensaque	88.2	kWh
Silos Brasileños	29.5	kWh
Caldera	30	kWh
Consumo total de electricidad	2157.5	kWh
Toneladas Producidas	100	t/pienso

Tabla 3.8 Cálculos realizados para una producción de 100 t/días.

Equipo	Cereal	Factor de molturación (JKM)	m(kg/h)	P _{elect} (kW)	W (kWh/t)	P _{eje} (kw)	P _{molida} (kW)	η _{em} %
Molino2	Maíz	69.24	17000	98	5.18	88.2	16.07	18
Molino4	Maíz	63.54	17000	98	5.24	89.18	16.26	18
Molino3	Soya	95.34	16000	62.16	5.95	55.94	17.37	31

En la tabla 3.8 muestra que el rendimiento de los molinos de martillo es apreciablemente bajo. Normalmente los valores de rendimiento es de 60% se consideran aceptables y superiores a ese valor, pasa a la categoría de muy buenos.

El valor de rendimiento obtenido en el cálculo es bajo y ello se considera está dado por la baja capacidad de molida en que opera la fábrica.

3.5 Determinación de la eficiencia en el tornillo Sin Fin.

La tabla 3.9 muestra los datos del tornillo sin fin.

Parámetros	valor	unidades
Longitud del tornillo	1.70	m
Diámetro	0.4	m
El ángulo de inclinación del tornillo	5	
Número de revoluciones	79	rpm
Densidad del material	820	Kg/m ³
Paso de la hélice	0.32	m

3.5.1 Flujo del material transportado.

El flujo del material se determina por la ecuación 2.24.

$$Q = 60 \frac{\pi D^2}{4} \rho K n$$

Análisis de las unidades:

$$Q = m^2 \cdot m \cdot \frac{1}{h} \cdot \frac{kW}{m^3} = \frac{kN}{h}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.24 se obtiene:

$$Q = 47 \cdot 0.4^2 \cdot 0.32 \cdot 79 \cdot 0.32 \cdot 8.04 \cdot 0.09 = 45 \text{ t/h}$$

- los valores de este coeficiente se dan en la tabla 2.4

3.5.2 Cálculo de la potencia del tornillo.

La ecuación (2.26) permite determina la potencia del tornillo.

$$P = \frac{Q}{3679 \cdot n} \cdot L W_0 + H = \frac{Q \cdot L}{3670n} \cdot W_0 + \sin \alpha, \text{ kW}$$

H.- Altura de elevación de la carga (proyección vertical de la longitud del transportador), (m) (tabla 2.3).

W_0 .- Coeficiente total de resistencia al movimiento, (tabla 2.4)

Sustituyendo valores en la ecuación (2.26) se obtiene:

$$P = \frac{440 \cdot 1.70}{3670 \cdot 085} \cdot 1.6 + \sin 5 = 0.40 \text{ kW}$$

La potencia del tornillo es relativamente baja como podemos apreciar en el cálculo realizado, esta potencia permitirá determina la eficiencia energética del equipo.

Para determina los cálculos en el motor eléctrico, se muestra a continuación la tabla 3.10 de donde se obtienen los datos de chapa del motor eléctrico, del tornillo sin fin.

Tabla 3.10 datos de chapa del motor, del tornillo sin fin.

Parámetros	Valor	Unidad
P_{nm}	3.60	kW
cos	0.86	
η	1750	rpm
kc	60	%
I	5.30	A

3.5.3 Cálculo de la potencia del motor

El cálculo de la potencia del motor está dado por la ecuación 2.27.

$$P_{\text{elect}} = \sqrt{3} V_L I_L \cos$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.27 se obtiene:

$$P_{\text{elect}} = 1.73 \cdot 440 \cdot 3.1 \cdot 0.86 = 2.02 \text{ kW}$$

El rendimiento del motor eléctrico lo determinamos en la ecuación (2.28).

$$\eta_{\text{motor elect.}} = \frac{P_{\text{eje}}}{P_{\text{elect}}}$$

$\eta_{\text{motor elect.}}$ - Rendimiento del motor eléctrico.

P_{eje} - Potencia en eje.

P_{elect} - Potencia eléctrica a la entrada del motor.

De la ecuación 2.28 despejando el rendimiento eléctrico del motor obtenemos la potencia en el eje del motor. Se determina para realizar el cálculo del rendimiento en el tornillo sin fin.

$$P_{\text{eje}} = \eta_{\text{motor elect.}} P_{\text{elect}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{\text{eje}} = 0.825 \cdot 2.02 = 1.66 \text{ kW}$$

3.5.4 La eficiencia en la transmisión

La determinamos por la ecuación 2.29.

$$\eta_{\text{reductor}} = \frac{P_{\text{eje tornillo}}}{P_{\text{eje}}}$$

Despejando en la ecuación 2.29 se obtiene la expresión que permitirá determinar la potencia en el eje del tornillo:

$$P_{\text{ejetornillo}} = \text{reductor } P_{\text{eje}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{\text{ejetornillo}} = 0.85 \cdot 1.66 = 1.41 \text{ kW}$$

3.5.5 La eficiencia en el tornillo η_{Eft} .

La eficiencia energética del tornillo se puede determinar por la ecuación 2.30.

$$\eta_{\text{Eft}} = \frac{P_{\text{tornillo}}}{P_{\text{eje ts}}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.30 se obtiene:

$$\eta_{\text{Eft}} = \frac{0.40}{1.41} = 0.28 = 28\%$$

3.6 Cálculo de elevador de cangilones

Para determina el cálculo de la eficiencia energética del elevadores de cangilones se seguirá la metodología propuesta en el capítulo II, a continuación la tabla 3.11 muestra los datos del elevador de cangilones.

Tabla 3.11 Datos del elevador de cangilones:

Parámetros del elevador	Valor	Unidad
Volumen del cangilón	6.3	l
Densidad de la carga a granel	820	Kg/m ³
Coeficiente de relleno del cangilón	0.7	
Altura del cangilón	210	mm
Flujo del material transportado	34	t/h
Altura de elevación	46.10	m

3.6.1 Cantidad de material transportado en el cangilón.

La cantidad de material transportado se determina por la ecuacion 2.19.

$$M = i \quad j$$

Análisis dimensional de la ecuación 2.19.

$$M = i \quad j = \frac{1 \text{ kg}}{10^3} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} = \text{kg masa}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.19.

$$M = 6.3 \cdot 0.820 \cdot 0.7 = 3.6 \text{ kg/cangilón}$$

3.6.2 Cálculo del flujo del material transportado.

Se determina haciendo uso de la ecuación (2.20).

Análisis de unidades

$$Q = 3.6 \frac{M \cdot v}{t} = \frac{\text{kg cang} \cdot \text{m/s}}{\text{m}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1000 \text{ kg}_t} = \text{t/h}$$

Se determina el paso de los elevadores:

$$t = 2 \cdot 0.21 = 0.42 \text{ m}$$

t. - paso para cangilones normales: t ∈ (2h, 3h): h. - altura del cangilón (m)

Despejando en la ecuación 2.20 obtiene la velocidad.

$$V = \frac{Q \cdot t}{P_c \cdot 3.6}$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$v = \frac{34 \cdot 0.42}{3.6 \cdot 3.6} = 1.10 \text{ m/s}$$

Esta velocidad nos indica que está en el rango dado por el anexo2.

3.6.3 Fuerza para el accionamiento.

La fuerza de accionamiento se determina por la ecuación 2.21.

Análisis de unidades

$$F_a = \frac{Q}{3.6 \cdot v} \cdot H + H_0 = \frac{\text{t}_h \cdot \text{m} \cdot 10^3 \text{ kg}_t}{\text{m/s} \cdot 3600 \text{ s}_h} = \text{kgf}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.21 se obtiene:

$$F_a = \frac{34}{3.6 \cdot 1.10} \cdot 46.10 + 3.8 = 428 \text{ kgf}$$

3.6.4 Potencia para el accionamiento necesaria del motor P_a .

Para determinar la potencia de accionamiento necesaria del motor se utiliza la ecuación 2.22.

$$P_a = (1.1:1.2) \frac{F_a v}{102}$$

Análisis de unidades

$$P_a = 1.1:1.2 \frac{F_a v}{102} = \frac{1 \text{ kW } 1 \text{ kgf m}}{0.0009806 \text{ kW s}} = 102 \frac{\text{kgf m}}{\text{s}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.22 se obtiene:

$$P_a = 1.1 \frac{428 \cdot 1.10}{102} = 4.62 \text{ kW.}$$

La tabla 3.12 muestra los datos de chapa del motor eléctrico del elevador de cangilones.

Tabla 3.12 datos de chapa del motor elevador de cangilones.

Parámetros	Valor	Unidad
P_{nm}	11	kW
cos	0.86	
η	1172	rpm
kc	0.42	%
$I_{nominal}$	21	A
I_{medido}	9	A
motor elect.	0.87	%

3.6.5 Potencia en el motor eléctrico.

La potencia del motor se determina por la ecuación 2.23.

$$P_{\text{elect}} = \sqrt{3} V_L I_L \cos$$

Sustituyendo valores en 2.23 se obtiene:

$$P_{\text{elect}} = 1.73 \cdot 440 \cdot 9 \cdot 0.86 = 5.89 \text{ kW}$$

. El rendimiento del motor eléctrico queda determinado en la ecuación (2.24).

$$\text{motor elect.} = \frac{P_{\text{eje}}}{P_{\text{elect}}}$$

Despejando en la ecuación 2.24 se obtiene:

$$P_{\text{eje}} = P_{\text{elect}} \cdot \text{motor elect.}$$

Sustituyendo valores en 2.24 se obtiene:

$$P_{\text{eje}} = 5.89 \cdot 0.87 = 5.12 \text{ kW}$$

3.6.6 La eficiencia en la transmisión.

La eficiencia en la transmisión está dada según la ecuación (2.25).

$$\text{transmisión} = \frac{P_a}{P_{\text{eje}}}$$

Sustituyendo valores en 2.25 se obtiene:

$$\text{transmisión} = \frac{4.62}{5.12} = 0.90 = 90\%$$

3.6.7 La eficiencia de elevador

La eficiencia de elevador queda definida según la ecuación (2.26).

$$\text{eficiencia de elevador} = \text{transmisión} \cdot \text{motor elect.}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.26 se obtiene:

$$\text{eficiencia de elevador} = 0.90 \cdot 0.87 = 0.78 = 78$$

Los cálculos realizados a los elevadores de cangilones muestran que estos trabajan a valores de rendimiento energético de un 78 % el cual puede ser considerado satisfactorio en este equipo

Conclusiones capitulo III.

1. Queda elaborada y probada la metodología para la evaluación energética de los molinos de martillos, elevadores de cangilones y transportadores de tornillo sin fin.
2. Los valores de rendimiento energético de los molinos y transportadores sin fin a una capacidad de molienda de 600 t/día son de 18% para los molinos, 28% para los transportadores sin fin. Estos valores bajos al compararlos con los que reporta la literatura a las capacidades nominales
3. Los cálculos realizados a los elevadores de cangilones muestra que estos trabajan a valores de rendimiento energético de un 78 % el cual puede ser considerado satisfactorio en este equipo

Conclusiones Generales

1. Las fábricas de pienso a nivel mundial reportan indicadores medios de consumo energético entre un 16 y 22 (kWh/t). Las empresas de menor consumo específico son las de mediana capacidad. Pienso Cienfuegos reporta valores diarios que va de 10 a 27 (kWh/t)
2. La caracterización energética muestra que de las cinco áreas de la fábrica, el área de molinos con un 48% y prensa con un 28% resultan los mayores consumidores de energía eléctrica. La literatura mundial establece que en estas áreas el consumo de ambas oscila alrededor del 73%.
3. Los equipos de mayor consumo eléctrico son los molinos, las prensas, la mezcladora, transportadores y los elevadores de cangilones.
4. Fue estudiada la teoría de desintegración de partículas y las ecuaciones de mayor posibilidad de utilización son las de Rittinger, Kick y Bond. Ésta última es la de mayor utilización por los especialistas.
5. Fue elaborada y aplicada la metodología para determinar el rendimiento energético de los equipos de más alto consumo energético de la empresa.
6. Se determinó el rendimiento energético del tornillo sin fin, el elevador de cangilones y los molinos de martillo. Los molinos y el tornillo sin fin tienen valores muy bajo de rendimiento energético, inferior al 35%, no así el elevador de cangilones que logra valores del 78%.
7. Se es de la opinión que el bajo rendimiento de los equipos de la empresa “Pienso Cienfuegos” está dado en parte por trabajar a mediana y baja capacidad. Generalmente la empresa opera a un 46% de su capacidad nominal.

RECOMENDACIONES

1. Para lograr mayores rendimientos energéticos y un mejor indicador de consumo de energía por tonelada producida, es necesario lograr estabilidades e
2. n la producción y valores cercanos a los valores nominales de los equipos.
3. De ser posible debe evitarse trabajar a capacidades muy reducidas y con equipos funcionando al vacío.

Bibliografía

- Abreu, I. G. (1987). Equipos para el transporte de materiales para la industria azucarera transportadores y bombas . Santiago de Cuba: ISPJAM.
- Acevedo, D. A. (2011). Evaluación del sistema de molienda de una planta de alimentos balanceados para animales. Venezuela: Universidad de Oriente.
- Akinoso, R. (2013). Energy requirements of size reduction of some selected cereals using. International Food Research Journal, 1 a 5.
- Alberich, J. (10 de abril de 2010). Módulos universitarios de desarrollo sostenible. Recuperado el 25 de mayo de 2015, de Módulos universitarios de desarrollo sostenible: <http://desenvolupamentsostenible.org>
- Betancourt, A. d. (2010). Manual de ahorro y eficiencia energética del sector fábricas de pienso. Madrid: Unión de cooperativas .
- Castañeda, M. O. (12 de 10 de 2014). Eficiencia energética en el tratamiento de cereales para piensos. barcelona, Catalonia, España: UPC Barcelona TECH.
- Cortazar-Figueroa, L. M. (2008). CONSUMO DE ENERGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA Molienda de Canela. Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 7, No. 2 (2008) 123-130.
- Emilio Rial, J. M. (1998). Nuevas Tecnologías en la fabricación de piensos, doble granulacion, expandir y adición de líquidos. Madrid: Trouw Ibérica.
- EREN. (2011). Plan de asistencia energética en el sector de pienso. Castilla: Graficas Celarayn, S.A.
- FAO. (2014). Buenas prácticas para la industria de piensos– Implementación del Código de Prácticas. Roma: ISBN 978-92-5-306487-8.

- Fernández, Y. G. (2011). Maquinaria de elevación y transporte. España: Tornapunta Ediciones,S.L.U.
- Gómez, D. H. (2012). Análisis de la evolución de las capacidades humanas y su variación en la edad, sector de fabricación de pienso. Madrid: Departamento de desarrollo de proyectos S.A.
- Guerra, D. J. (1993). Conferencia de maquinas transportadoras. Habana: Félix Varela.
- Harriott, W. L.-P. (1991). Operaciones Unitaria en Ingenieria Química . Madrid: EdiGrafos,S.A.
- Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2003). La Producción de pienso para ganado vacuno . Ciencia y Tecnología Alimentaria, 2,3.
- Intriago, A. X. (2011). Implementacion de un software y equipos para su operatividad para el calculo y diseño de transportadores de tornillo sinfin y cangilones para el laboratorio de dibujo mecanico asistido por computador de la carrera de ingenieria mecanica de la UTM. Manabí: Portoviejo.
- KAHL. (2011). Fábricas completas de piensos compuesto,plantas y máquinas. Hamburgo: D-21465 Reinbek.
- Lamban, J. L. (1995). Molienda en Fábrica de piensos . Zaragoza : Nuñez Balboa.
- Luz Andrea Garcés. (2013). Informe de Molienda y tamizado. Bogota: Facultad de ciencia naturales e Ingenieria .
- M.Perry, R. (1995). Manual del Ingeniero Químico Tomo II” (Vol. Sexa edición). Mexco: Editorial Mc Graw-Hill.
- Mann, H. (1 de noviembre de 2010). Avicultura. Recuperado el 5 de mayo de 2015, de Avicultura: <http://www.engormix.com/MA-avicultura/nutricion/articulos/fabricacion-de-alimento-balanceado-t3183/141-p0.htm>

Miravate, A. (2002). Los transporte en la ingeniería industrial. Barcelona: Reverte.S.A.

NEMA. (5 de mayo de 2013). The Association of Electrical Equipment and Medical Imaging Manufacturers. Recuperado el 6 de abril de 2015, de The Association of Electrical Equipment and Medical Imaging Manufacturers: <http://www.nema.org/pages/default.aspx>

Overgaard, S. (15 de marzo de 2014). Swiss Institute of Feed Technolgy. Obtenido de Swiss Institute of Feed Technolgy: <http://www.sft-uzwil.ch/en/Links>

Redondo, M. F. (27 de Enero de 2011). Ahorrando energía en la producción de alimentos cooperativos. Recuperado el 15 de mayo de 2015, de Ahorrando energía en la producción de alimentos cooperativos: <http://www.agroalimentacion.coop>

Useche, L. V. (2009). Guía para el cálculo cinemático y diseño de transmisiones por correas, por cadenas. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

ANEXOS.

Anexo 1

Dimensiones principales de los diferentes de cangilones.

TABLE No. 30. Dimensiones principales de los diferentes tipos de cangilones (FOCT 2036-66.)

Tipo de Cangilón	Peso aproximado de cada cang. (N)	Dimensiones interiores del cangilón			Ancho de la Banda "Bd" (mm)	Paso entre cangilones "Ac" (mm)	Capacidad del cangilón "lo" x-x) (por x-x) ()	Razón "lo/Ac" (/m)
		Ancho B (mm)	Proyec. A (mm)	Altura h (mm)				
a) Redondeado profundo (Fig. 90, a)	15	100	75	80	125	2000	0,2	1
		125	90	95	150	3200	0,44	2,3
		160	105	110	200	3200	0,26	2,4
	30	200	125	135	250	400	1,25	2,4
		250	140	150	300	400	2,05	3,6
		320	175	190	400	500	4,05	6,3
		400	195	210	500	500	6,3	12,6
	75	500	235	255	-	630	12,1	19
		650	250	275	-	630	18,0	28,6
		800	285	325	-	800	32,0	40
250	1 000	310	355	-	800	45,0	56,25	
b) Redondeado pequeño	10	100	50	65	125	200	0,1	0,5

Anexos.2

Parámetros principales de los elevadores de cubos (Datos aproximados).

Tabla No. 21. Parámetros principales de los elevadores de cubos (Datos aproximados).

Características de la carga	Cargas típicas	Tipo de elevador	Tipo de Ganglión	Efic. de llenado aprox.	Velocidad v (m/seg)	
					Banda	Cadena
Cargas y pulverizables secos.	Poivo de cañada	Baja velocidad, Descarga gravitacional		0,85		0,5-0,8
	Carbón, fertilizantes (fosfatos, borina, productos químicos), arena, grava, molinos, harinas, etc.	Alta velocidad, Descarga centrifuga		0,8	1,25-1,5	-
Pulverizables y granulados, arenas y poco fibrosos	Tierras, arena, tiza en polvo, sustancias químicas.	Alta velocidad, Descarga centrifuga	M	0,85	1-1,4	-
			M	0,6	1-2	0,8-2,0
Granulados y pesados pegajosos, poco abrasivos.	Granos alimenticios con humedad superior a un 17 % y rizados.	Alta velocidad, Descarga centrifuga		0,7-0,8	2,2-3,6	-
	Granos alimenticios con humedad hasta un 17 %.	Super Alta velocidad, Descarga centrifuga		0,7	3,2-4,0	-
	Harina de cañada, semillas, arcilla seca, leche condensada, etc.	Alta velocidad, Descarga centrifuga		0,8	1,25-2,0	1,0-1,5
	Alfalfa, etc.	Baja velocidad, Descarga gravitacional libre		0,8	0,4-1,0	0,4-1,0
Cargas a la vez, para muy abrasivos	Carbón, mineral, etc.	Baja velocidad, Descarga gravitacional dirigida	O	0,8		
	Arena, sales, tierras, etc.	Alta velocidad, Descarga centrifuga	C	0,8	0,4-0,8	0,4-0,8
Pedregos molinosos y gruesos etc.				0,8	1,0-2,0	-

Anexo 3

Imagen del tornillo sin fin



Anexo4

Consumo de Eléctrico de Equipos.

Área	Nº	Equipo Denominación	Potencia Instalada	Tiempo oper. Real	Energía consumida	% Acumulado
			(kW)	horas	kWh/día	%
Recep. Silos	1	TC-27	22	12	264	21,15
Recep. Silos	2	TC-28	22	12	264	42,31
Recep. Silos	3	TC-2	18,5	12	222	60,10
Recep. Silos	4	TC-25(173)	11	12	132	70,67
Recep. Silos	5	TC-26(174)	11	12	132	81,25
Recep. Silos	6	TC-29	7,5	12	90	88,46

Recep. Silos	7	52	4	12	48	92,31
Recep. Silos	8	Silos (4mot.)	4	12	48	96,15
Molinos	9	Molino 1 (38)	132	12	1584	21,33
Molinos	10	Molino 2 (39)	132	12	1584	42,66
Molinos	11	Molino 3 (40)	132	12	1584	64,00
Molinos	12	Molino 4 (41)	132	12	1584	85,33
Molinos	13	E6 (51)	11	12	132	87,11
Molinos	14	E7 (52)	11	12	132	88,89
Molinos	15	Molino 1 (67)	7,5	12	90	90,10
Molinos	16	Molino 2 (68)	7,5	12	90	91,31
Molinos	17	Molino 3 (71)	7,5	12	90	92,52
Molinos	18	Molino 4 (72)	7,5	12	90	93,74
Dosif. Y Mezcla	19	Mezcladora	75	12	900	43,88
Dosif. Y Mezcla	20	E-11 (108)	21	12	252	56,16
Dosif. Y Mezcla	21	Criba (115)	18,5	12	222	66,98
Dosif. Y Mezcla	22	TC-9	11	12	132	73,42
Dosif. Y Mezcla	23	123	7,4	12	88,8	77,75
Dosif. Y Mezcla	24	122	7,4	12	88,8	82,08
Dosif. Y Mezcla	25	B. Aceite. (120)	7,4	12	88,8	86,40
Dosif. Y Mezcla	26	TC-10 (107)	7	12	84	90,50
Dosif. Y Mezcla	27	TC-11 (116)	5,3	12	63,6	93,60
Prensado	28	P1 (132)	110	12	1320	31,08
Prensado	29	P2 (135)	110	12	1320	62,16
Prensado	30	Ciclón (177)	22	12	264	68,38
Prensado	31	Ciclón 2 (178)	22	12	264	74,60
Prensado	32	TS (Mezc.1) (133)	15	12	180	78,84
Prensado	33	Enf. 1 (166)	15	12	180	83,08
Prensado	34	TS (Mezc.) (136)	15	12	180	87,31
Prensado	35	Dep. bajo (167)	15	12	180	91,55
Prensado	36	E-12 (162)	7,5	12	90	93,67
Rcp. Cbnato y Soya.	37	E2 (9)	14,7	9,6	141,12	36,81
Rcp. Cbnato y Soya.	38	TC 3 (8)	7,4	9,6	71,04	55,34
Rcp. Cbnato y Soya.	39	TC6 (5)	4	9,6	38,4	65,35
Rcp. Cbnato y Soya.	40	TC4 (10)	3,6	9,6	34,56	74,37
Rcp. Cbnato y Soya.	41	E4 (24)	11	2,4	26,4	81,25
Rcp. Cbnato y Soya.	42	TC5 (11)	2,6	9,6	24,96	87,76
Rcp. Cbnato y Soya.	43	E5 (29)	9	2,4	21,6	93,39
Total			1223,8		14416,08	

Anexo 5

Datos de los motores eléctricos.

MOTORES TRIFASICOS DE EFICIENCIA ESTANDAR



CARACTERISTICAS TIPICAS

Potencia		Carcaza IEC	RPM	Corriente nominal en 220V A	Corriente con rotor bloqueado Ip/In	Momento nominal Cn Nm	Momento con rotor bloqueado Cp/Cn	Momento máximo Cmáx. Cn	Rendimiento η %			Factor de potencia Cos ϕ			Factor de servicio ES.	Momento de inercia J kgm ²	Tiempo máximo con rotor bloqueado en caliente/frio (S)	Peso aprox. (kg)
HP	kW								% de la potencia nominal									
									50	75	100	50	75	100				

1200 RPM - 60 Hz

0,16	0,12	63	1130	1,17	3,30	1,01	2,4	2,4	36,0	42,0	46,3	0,46	0,52	0,58	1,15	0,00067	16/35	8
0,25	0,18	71	1090	1,35	3,00	1,58	2,0	2,0	45,0	51,0	56,4	0,46	0,54	0,62	1,15	0,00056	40/88	10
0,33	0,25	71	1100	1,85	3,30	2,17	2,2	2,3	50,0	56,0	58,1	0,45	0,54	0,61	1,15	0,00079	28/62	11
0,5	0,37	80	1150	2,51	4,30	3,07	2,6	2,8	46,0	55,4	62,3	0,44	0,53	0,62	1,15	0,00242	10/22	14
0,75	0,55	80	1150	3,49	4,90	4,57	3,0	3,1	56,0	63,3	65,6	0,44	0,54	0,63	1,15	0,00328	10/22	16
1	0,75	90S	1130	3,77	5,30	6,34	2,4	2,7	70,0	73,5	74,5	0,48	0,61	0,70	1,15	0,00504	14/31	19
1,5	1,1	90S	1130	5,50	5,30	9,30	2,5	2,7	70,0	73,0	75,0	0,48	0,60	0,70	1,15	0,00560	9/20	20
2	1,5	100L	1150	7,21	5,80	12,5	2,4	2,8	75,0	76,5	78,0	0,48	0,61	0,70	1,15	0,01121	14/31	29
3	2,2	100L	1140	10,2	5,50	18,4	2,4	2,7	75,0	77,0	78,5	0,54	0,64	0,72	1,15	0,01289	10/22	34
4	3	112M	1145	12,8	5,80	25,0	2,1	2,4	78,0	80,5	81,0	0,59	0,69	0,76	1,15	0,02243	7/15	42
5	3,7	132S	1160	15,4	6,80	30,5	2,0	2,4	82,5	84,0	84,0	0,55	0,66	0,75	1,15	0,04264	10/22	62
6	4,5	132S	1160	18,7	6,70	37,1	2,1	2,6	83,0	84,0	84,0	0,57	0,69	0,75	1,15	0,05039	9/20	65
7,5	5,5	132M	1160	22,1	7,00	45,3	2,2	2,6	83,0	84,5	85,0	0,58	0,70	0,77	1,15	0,05815	12/26	75
10	7,5	132M	1160	30,4	7,50	61,8	2,4	2,8	83,0	85,7	86,3	0,56	0,68	0,75	1,15	0,06590	8/18	76
12,5	9,2	160M	1160	33,5	6,00	75,8	2,3	2,5	86,0	87,0	88,0	0,66	0,77	0,82	1,15	0,12209	11/24	102
15	11	160M	1170	40,3	6,50	89,8	2,5	2,8	88,0	89,0	89,5	0,62	0,74	0,80	1,15	0,16518	9/20	125
20	15	160L	1170	56,4	7,50	122	2,6	2,9	88,5	89,0	89,5	0,60	0,72	0,78	1,15	0,18673	6/13	139
25	18,5	180L	1165	59,8	7,90	152	2,6	2,8	89,0	89,6	90,2	0,79	0,87	0,90	1,15	0,30337	7/15	180
30	22	200L	1175	74,6	6,00	179	2,1	2,3	89,5	90,7	91,0	0,75	0,81	0,85	1,15	0,41258	22/48	227
40	30	200L	1175	102	6,50	244	2,3	2,4	90,0	91,0	91,7	0,71	0,80	0,84	1,15	0,50227	18/40	260
50	37	225S/M	1180	126	8,40	300	3,2	3,3	88,0	90,8	91,7	0,71	0,79	0,84	1,00	1,08256	17/37	390
60	45	250S/M	1180	148	7,80	364	2,9	2,8	90,0	91,2	91,7	0,79	0,85	0,87	1,00	1,22377	17/37	438
75	55	250S/M	1185	183	7,60	443	3,0	3,0	90,5	92,0	93,0	0,71	0,80	0,85	1,00	1,55324	18/40	510
100	75	280S/M	1185	255	6,50	605	2,4	2,5	90,2	92,2	93,0	0,67	0,78	0,83	1,00	2,64298	28/62	651
125	90	280S/M	1185	302	6,00	726	2,3	2,4	91,5	92,5	93,0	0,70	0,80	0,84	1,00	3,10263	34/75	705
150	110	315S/M	1185	370	7,00	887	2,5	2,5	91,5	93,0	94,1	0,68	0,78	0,83	1,00	4,59649	31/68	950
175	132	315S/M	1185	449	7,00	1064	2,6	2,6	92,0	93,4	94,1	0,67	0,78	0,82	1,00	5,28596	25/55	987
200	150	315S/M	1185	516	7,60	1209	2,8	2,8	91,0	93,0	94,1	0,62	0,74	0,81	1,00	5,28596	21/46	992
250	185	315B	1190	603	5,80	1485	1,6	2,2	94,5	95,0	94,7	0,73	0,82	0,85	1,00	6,69185	33/72	1188
250	185	355M/L	1190	638	6,20	1485	1,9	2,1	92,7	93,7	94,0	0,69	0,78	0,81	1,00	9,53128	74/163	1480
270	200	315B	1190	651	6,10	1606	1,7	2,4	94,7	95,1	94,9	0,73	0,82	0,85	1,00	7,26544	14/31	1260
300	220	315B	1190	716	6,10	1766	1,7	2,4	94,9	95,2	94,9	0,74	0,82	0,85	1,00	8,03022	11/25	1350
300	220	355M/L	1190	754	6,90	1766	1,8	2,2	93,0	94,5	94,5	0,66	0,76	0,81	1,00	10,9610	64/141	1590
350	260	315B	1190	853	7,10	2088	2,0	2,7	94,8	95,3	95,2	0,70	0,80	0,84	1,00	9,36859	10/22	1519
350	260	355M/L	1190	910	6,50	2088	2,0	2,1	93,0	94,7	94,9	0,62	0,73	0,79	1,00	13,8204	73/161	1795
400	300	315B	1190	971	7,20	2409	2,0	2,7	95,1	95,6	95,4	0,72	0,81	0,85	1,00	10,7070	9/20	1685
*400	300	355M/L	1190	1000	6,30	2409	1,7	2,1	93,7	94,5	94,7	0,71	0,79	0,83	1,00	14,7735	63/139	1860
*450	330	355M/L	1190	1130	6,20	2650	1,6	1,9	93,9	94,7	95,0	0,68	0,76	0,81	1,00	14,7735	58/128	1915

1800 RPM - 60 Hz

0,16	0,12	63	1720	0,86	4,50	0,67	3,2	3,4	50,0	57,0	61,0	0,41	0,51	0,60	1,15	0,00045	31/68	7
0,25	0,18	63	1710	1,13	4,50	1,01	2,8	3,0	53,0	64,0	66,5	0,47	0,57	0,63	1,15	0,00056	18/40	8
0,33	0,25	63	1710	1,47	5,20	1,40	3,0	2,9	50,0	59,0	68,5	0,45	0,55	0,65	1,15	0,00067	17/37	8
0,5	0,37	71	1720	2,07	5,00	2,06	2,7	3,0	64,0	70,0	72,0	0,44	0,57	0,65	1,15	0,00079	10/22	10
0,75	0,55	71	1705	2,83	5,50	3,08	3,0	3,0	70,0	74,0	75,0	0,45	0,58	0,68	1,15	0,00096	10/22	12
1	0,75	80	1730	2,98	8,00	4,14	3,4	3,0	77,5	80,0	82,6	0,60	0,72	0,80	1,15	0,00328	9/20	18
1,5	1,1	80	1700	4,32	7,00	6,18	2,9	2,8	77,0	79,0	81,5	0,62	0,74	0,82	1,15	0,00328	7/15	16
2	1,5	90S	1750	6,17	7,80	8,19	2,8	3,0	79,0	82,5	84,0	0,55	0,68	0,76	1,15	0,00532	8/18	20
3	2,2	90L	1730	8,28	7,00	12,2	2,6	2,8	84,0	85,0	85,0	0,62	0,75	0,82	1,15	0,00672	7/15	23
4	3	100L	1720	11,1	7,50	16,7	2,9	3,1	84,0	86,0	86,5	0,63	0,75	0,82	1,15	0,00918	8/18	30
5	3,7	100L	1720	13,8	8,00	20,6	3,0	3,0	85,0	87,5	88,0	0,63	0,75	0,80	1,15	0,01072	8/18	33
6	4,5	112M	1735	16,4	6,80	24,8	2,1	2,5	87,0	88,0	89,0	0,63	0,74	0,81	1,15	0,01875	10/22	45
7,5	5,5	112M	1740	20,0	8,00	30,2	2,3	2,8	88,0	89,0	90,0	0,61	0,73	0,80	1,15	0,01875	9/20	46
10	7,5	132S	1760	26,4	7,80	40,7	2,6	3,1	88,0	90,0	91,0	0,61	0,74	0,82	1,15	0,05039	8/18	65
12,5	9,2	132M	1760	32,0	8,50	49,9	2,5	3,0	89,0	90,5	91,0	0,65	0,77	0,83	1,15	0,06202	6/13	75
15	11	132M/L	1755	37,5	8,80	59,9	2,8	3,4	90,0	91,0	91,7	0,67	0,78	0,84	1,15	0,06978	6/13	78
20	15	160M	1755	53,3	6,70	81,7	2,3	2,4	90,0	91,0	92,4	0,69	0,78	0,80	1,15	0,10538	15/33	120
25	18,5	160L	1760	64,7	6,50	100	2,7	2,6	91,0	92,3	92,6	0,65	0,75	0,81	1,15	0,13048	13/29	135
30	22	180M	1760	73,9	7,00	119	2,5	2,6	91,5	92,5	93,0	0,71	0,80	0,84	1,15	0,19733	9/20	211
40	30	200M	1770	99,6	6,40	162	2,1	2,2	91,7	93,0	93,0	0,74	0,82	0,85	1,15	0,27579	15/33	244
50	37	200L	1770	123	6,00	200	2,2	2,2	92,4	93,0	93,2	0,75	0,82	0,85	1,15	0,35853	14/31	274
60	45	225S/M	1780	147	7,20	242	2,3	2,7	92,0	93,3	93,6	0,74	0,82	0,86	1,15	0,69987	16/35	410
75	55	225S/M	1775	174	7,30	296	2,2	2,8	92,5	93,6	94,1	0,76	0,85	0,88	1,15	0,83984	13/29	410
100	75	250S/M	1780	245	8,40	403	2,7	3,1	93,0	94,2	94,5	0,72	0,80	0,85	1,15	1,15478	10/22	510
125	90	280S/M	1780	294	6,70	483	2,1	2,5	93,0	93,8	94,5	0,72	0,80	0,85	1,15	1,92710	23/51	700
150	110	280S/M	1780	353	7,00	590	2,5	2,5	93,0	94,5	95,0	0,78	0,83	0,86	1,15	2,40888	24/53	740
175	132	315S/M	1780	419	6,80	709	2,3	2,5	93,6	94,8	95,0	0,81	0,85	0,87	1,15	2,56947	24/53	841
200	150	315S/M	1780	476	7,00	805	2,5	2,5	94,1	94,7	95,0	0,81	0,85	0,87	1,15	2,81036	25/55	868
250	185	315S/M	1785	591	8,00	990	3,0	2,8	94,0	95,2	95,5	0,76	0,82	0,86	1,15	3,77391	22/48	1005
270	200	355M/L	1785	620	6,50	1071	1,9	1,9	94,0	95,0	95,1	0,81	0,87	0,89	1,15	5,96530	44/96	1358
300	220	355M/L	1790	687	7,00	1174	1,8	2,2	93,0	95,0	95,5	0,79	0,85	0,88	1,15	6,33813	43/95	1400
350	260	355M/L	1790	817	7,30	1388	2,0	2,1	94,2	95,5	96,0	0,74	0,84	0,87	1,15	7,45663	30/66	1488
400	300	355M/L	1790	933	6,60	1601	2,1	2,1	93,9	95,2	95,9	0,77	0,85	0,88	1,15	9,32079	42/92	1590
450	330	355M/L	1790	1020	7,00	1762	2,1	2,1	94,2	95,6	96,1	0,77	0,85	0,88	1,15	10,2529	46/101	1702
*500	370	355M/L	1790	1150	6,60	1975	2,1	2,2	94,0	95,6	96,2	0,78	0,85	0,88	1,15	11,1850	36/79	1795