

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el consumo de energía eléctrica se ha elevado a un ritmo superior al crecimiento económico, ya que suple las necesidades del aparato productivo, porque está relacionado con mayores niveles de vida y propósitos no materializados, sobre todo si se tiene en cuenta que en energía se gasta una importante cantidad de recursos como petróleo, gas natural, carbón, etc.

Debido a este ritmo de crecimiento se deben tomar una serie de acciones que impidan aumente el índice físico del consumo energético, y para esto resulta imprescindible identificar y explotar todas las reservas de eficiencia, extendiéndose el proceso al acomodo de carga, lo que es sinónimo de eliminar todas las producciones y servicios que no están haciendo trabajo útil en el horario de máxima demanda. Sin embargo, es fácil percibir que algo se está malgastando cuando se observa una llave que derrama agua, combustible, o motor eléctrico sometido a insuficiente explotación, etc., pero cuesta admitir que está sucediendo igual cuando se deja encendida una lámpara, se tiene la radio, el televisor y el calentador de agua funcionando mientras se está planchando o leyendo el periódico.

En este contexto, el uso eficiente de la energía (UEE) constituye una de las más importantes opciones tecnológicas para enfrentar los problemas señalados. De hecho, esta constatación no es nueva; a principios de los setenta la gran mayoría de los países industrializados adoptaron agresivas políticas de racionalización de la energía para enfrentar los severos aumentos en los precios del crudo y los elevados grados de incertidumbre que se instalaban en los mercados de la energía. Lo que ha cambiado es el contexto en el cual debe darse la expansión del sistema energético y los desafíos que éste enfrenta, en los cuales aquellos ligados al medio ambiente, son cada vez mayores y más complejos.

Sin embargo, se afirma que el uso eficiente de la energía no es una opción válida para los países en desarrollo, los que antes de pensar en “economías” de energía, deberían aumentar su consumo para mecanizar su actividad productiva y mejorar las condiciones de vida de la población. Esta argumentación contiene una falacia, ya que el uso eficiente de la energía no consiste en racionar o reducir los servicios

que ésta presta sino en utilizarla mejor. Incluso existen evidencias de que los aumentos de productividad y la reducción de los consumos energéticos por unidad de producto constituyen facetas del mismo proceso.

El uso eficiente de la energía, bajo esta óptica consiste en: 1) satisfacer los requerimientos energéticos de la sociedad al menor costo económico y energético posible, 2) sustituir fuentes energéticas en función de sus costos sociales relativos, y 3) concebir políticas de largo plazo en oposición a programas de emergencia y coyunturales.

En consecuencia, el problema no es la cantidad de energía empleada sino la forma más económica de asegurar la calidad térmica y ambiental de los hogares, iluminar adecuadamente las áreas productivas, de esparcimiento y domésticas, transportar personas y mercancías, proporcionar fuerza motriz a equipos y máquinas herramientas, etc. (De Armas, M.A., 2004).

La eficiencia energética sólo tiene sentido en la medida que permite reducir los costos globales de producción. Los equipos eficientes, en general, cuestan más que los estándares; sino que además los costos diferenciales de operación y mantenimiento de los primeros respecto a los segundos, y las diferencias de productividad entre ambas opciones, etc. (Borroto et al, 2002).

En términos generales puede afirmarse que en la mayoría de las instalaciones eléctricas se derrocha del orden de un 10% o más de la electricidad que se adquiere a las empresas eléctricas debido a una selección y operación inadecuada de los equipos y sistemas de distribución de la electricidad. (Edison, NJ., 1992) (Viego et al, 2006).

Si bien la electricidad ha aumentado sus precios en este último tiempo, este insumo constituye un costo importante para los industriales, comerciantes y usuarios residenciales.

Las principales pérdidas eléctricas provienen del uso de motores, transformadores y líneas de distribución. Al respecto debe mencionarse que en los sectores industrial y minero del orden de un 70% del total de consumo eléctrico es realizado por los motores eléctricos, equipo que constituye uno de los objetivos principales de cualquier programa de eficiencia energética, no sólo en el caso de

los proyectos nuevos sino que además en situaciones de reemplazo de equipos existentes.

De aquí que los motores eléctricos que utilizan las máquinas y equipos que intervienen en el proceso de molienda de arroz, no siempre se le ejecuta el mantenimiento con la calidad requerida según lo planificado, trayendo como consecuencia deficiencias en su trabajo. Es por esta razón que en el molino de arroz “Cayama” no existe un estudio energético que permita evaluar la eficiencia de trabajo de estos motores, siendo este nuestro **problema científico**.

Hipótesis: Mediante la determinación de la eficiencia de trabajo de los motores eléctricos de las máquinas transportadoras que intervienen en el proceso de molienda del arroz, es posible: evaluar el comportamiento de los consumos de energía eléctrica y los gastos energéticos, en el molino de arroz “Cayama”.

Objetivo general: Realizar una evaluación energética de la eficiencia de trabajo de los motores eléctricos de las máquinas transportadoras utilizadas en el proceso de molienda del arroz.

Objetivos específicos:

1. Realizar una revisión bibliográfica acerca de las máquinas y equipos empleados en el proceso de molienda de arroz.
2. Determinar los consumos de electricidad de los motores eléctricos de las máquinas transportadoras que intervienen en el proceso de molienda del arroz.
3. Evaluar económicamente los costos energéticos del proceso del molino de arroz “Cayama”.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA ACERCA DEL TEMA.

1.1 La producción de arroz en Cuba y la Provincia de Granma; Los procesos de molienda.

La producción de arroz en Cuba subió un 15.4 % hasta 98.000 toneladas y las tierras sembradas del grano aumentaron un 43.8 %, según cifras publicadas por la estatal Oficina Nacional de Estadísticas (www.one.cu.2008). Para el 2013 la isla espera reducir hasta un 50 % sus importaciones de arroz productos básicos en la dieta de los cubanos. Para ello se realizaron algunas transformaciones como la descentralización de la toma de decisiones en la agricultura y la entrega de tierras ociosas a campesinos privados y productores estatales.

Sin embargo, Cuba produjo 195000 t de arroz en el año 2008 e importó otras 567.000 t, la mayor parte adquirido de la estatal vietnamita Northern Food Corp bajo términos financieros preferenciales; pero a su vez gastó 2.200 millones de dólares en alimentos, incluyendo 700 millones en arroz y frijoles.

Se debe destacar que la mayoría de la tierra en Cuba está en manos del Estado, mientras que los campesinos independientes y las cooperativas poseen solo el 20 %. Se espera que para el año 2015 se alcance la cifra de 200000 t, que traería como consecuencia la disminución de las importaciones de este cereal.

Por su parte la provincia Granma se mantiene dentro de las más productoras de arroz del país, de aquí que según informaciones del delegado de la agricultura en el año 2008 se produjeron 48000 t de arroz, en el 2009 fue de 52000 t y se espera que en el 2010 se alcance la cifra de 62000 t. Sin embargo se está trabajando para que en el año 2015 se superen las 82000 t, o sea, el récord histórico. En la tabla 1.1 se muestra las principales variedades de arroz que se siembran en la provincia, siendo LP-5 la de mayor demanda.

Tabla.1.1

ESTRUCTURA DE VARIEDADES DE LA PROVINCIA DE GRANMA.

Variedad	Lugar	Área estimada de siembra (Ha)	Área total (%)
LP-5	1ro	3 596.6	33.01
Reforma	2do	3 313.4	30.49
IIAC-36	3ro	2 038.5	18.76
LP-7	4to	1 070.9	9.86
IIAC-32	5to	354.3	3.26
J-104	6to	181.2	1.67
Prosequisa	7mo	167.2	1.54
Perla de Cuba	8vo	85.5	0.77
Siete Estrella	9no	42.9	0.39
Amistad	10mo	9.4	0.09
Marañón	11no	6.7	0.06
TOTAL		10 866.6	100

Fuente: 3er Seminario Internacional del Arroz, Palacio de las Convenciones, la Habana 2008.

1.1 .1 Procesos de la molienda del Arroz

Para el análisis de estos procesos se debe tener en cuenta los elementos siguientes:

- **Producto:** Según Hidalgo (1989), la calidad del grano depende en un 70% del acondicionamiento físico que ha tenido el arroz cáscara, y en un 30% al equipo utilizado para el pilado. Este último aspecto estará en función del tipo de maquinaria, condiciones, estado y regulación de cada una de ellas.

El tipo de arroz cáscara cultivado y pilado en la región del molino es la especie NIR-I, del cual se obtiene el arroz pilado, el cual es un producto de gran demanda en el mercado nacional, destinado en su totalidad al consumo humano.

El arroz pilado se clasifica por su calidad en arroz extra superior y corriente, teniendo en cuenta porcentajes de grano quebrado, materia extraña, grano dañado y olor.

- **Subproductos:** Los subproductos obtenidos del arroz, tales como el arrocillo (granos quebrados), ñelen (menor a ¼ de tamaño del arroz normal), polvillo (arroz en polvo) y pajilla.

- **Factores que determinan la calidad molinera en el arroz:**

Los principales factores que determinan la calidad molinera en el arroz son la capacidad de un campo para producir los mayores porcentajes de grano entero y pulido y tener alto rendimiento total de pila cuando el arroz sea sometido al proceso de descascarado y blanqueado en los molinos. Por lo tanto, los factores que determinan la calidad molinera del grano de arroz son genéticos y ambientales.

La molienda de arroz cáscara consiste en remover del grano cosechado y seco, las glumas (descascarado), los tegumentos y el embrión que corresponden a la estructura de la cariósida y constituye el salvado o polvillo; para producir arroz pulido o blanco con un mínimo de grano quebrado y de impureza final.

A continuación se describe el proceso productivo (Najar C., Álvarez J. 2007):

- a. **Recepción:** El arroz cáscara llega del campo en sacos de yute con 50 Kg
- b. **Inspección:** Se realiza el control de humedad y de porcentaje de impurezas
- c. **Pesado:** En balanza de 100kg.
- d. **Secado:** Proceso muy importante que requiere de un tiempo prudencial. Si el secado es muy lento, se permite el desarrollo de microorganismo por el alto contenido de humedad, lo cual provocará un calentamiento de la masa y en consecuencia un deterioro del mismo. Por otro lado, si el secado es muy rápido se corre riesgo de que el grano sufra daños en su cariósida y la muerte del embrión a causa del excesivo calor. Para realizar este proceso, existen dos métodos:
 - convección natural: la energía solar es utilizada directamente sobre el grano.
 - convección forzada: a través de un soplador, el aire que transportará el calor a la masa del grano.
- e. **Almacenaje:** Se debe mantener las condiciones recomendadas de temperatura (17 °C a 18 °C), humedad (humedad relativa del aire inferior al 65% o 70%) y almacenamiento en medios pobres de oxígeno. Con ello

se frenará el riesgo de degradación del grano y lograr un período de almacenamiento más grande.

- f. **Limpieza:** Este proceso se realiza por la exposición de los granos a corrientes de aire y mallas cernidoras. Generalmente se realiza con un módulo compuesto de un ventilador-aspirador y zarandas o cribas.
- g. **Descascarado:** Es la operación que consiste en separar la lenma, palea y gluma estériles, que constituyen la cáscara del arroz, dejando el endospermo y el embrión con su cubierta; mediante fricción por medio de piedras muelas o rodillos de hule.
- h. **Separación:** Con el vaivén la máquina separa el grano en 3 grupos: paddy, paddy y grano moreno y grano descascarado moreno. El primero regresa a las descascaradora, el segundo grupo puede regresar a la mesa por el sinfín y el tercero pasa a la pulidora.
- i. **Blanqueado o Pulido:** Proceso para remover del arroz moreno los tegumentos (capa fina grasos de color gris plata a veces rojo), el embrión y partículas de harina que quedan adheridas al grano, para darle un aspecto liso y brillante (lustre).
- j. **Clasificación producto terminado:** Proceso final que sirve para separar y seleccionar los granos quebrados, ñelen y partículas finas del grano entero, quedando listo para el pesado y ensacado.
- k. **Ensacado:** El arroz pilado se comercializa a granel o en envases que permitan mantener sus características. Para ello se utilizan sacos nuevos con capacidad de 50 kg. neto o, con menor capacidad según acuerdo con el productor o comerciante.

Análisis del proceso.

Según González (2002), la aplicación del análisis complejo de procesos se debe al desarrollo de las variedades de los productos así como a la elevación de la calidad de los mismos. Esto se observa en los últimos años, en donde la producción (en forma general) se enfocó en la elaboración de productos con menos gastos de energía, agua e inversiones, así como disminuyendo en gran medida la contaminación ambiental.

Esto en cierta medida puede contribuir a los siguientes logros:

- Ahorro de energía
- Garantizar el uso adecuado de los recursos naturales
- Ampliar el aprovechamiento de las capacidades productivas
- Mejorar progresivamente la capacidad de producción
- Acelerar la introducción de los avances tecnológicos en la producción.

Así mismo, el análisis complejo de procesos consiste en un amplio análisis científico-técnico y técnico-económico de un proceso existente o concebido, en lo que corresponde a las posibilidades de optimizar los objetivos previstos. Es por ello que se considera un elemento importante para tomar decisiones científicas y responsables.

1.2 Equipos y Máquinas empleadas en los molinos arroceros.

1.2.1 Las Máquinas Transportadoras.

Teoría general de las máquinas de transporte continuo. Características de las máquinas transportadoras (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

Las máquinas transportadoras se clasifican según su principio de funcionamiento en Máquinas de Transporte Periódico (MTP) y en Máquinas de Transporte Continuo (MTC).

Entre las máquinas de transporte continuo se encuentran los diferentes tipos de transportadores, tanto con órgano de tracción flexible como sin órgano de tracción. Entre las otras se encuentran los diferentes tipos de grúas, montacargas, etc. El funcionamiento de estas últimas se caracteriza por la entrega periódica de la carga en posiciones separadas, su ciclo de trabajo está compuesto por:

- a) Parada para tomar la carga.
- b) Elevación de la carga.
- c) Parada para descargar.
- d) Movimiento de retorno en vacío.

El funcionamiento de las MTC está dado por la transportación de la carga sin que ocurran paradas para la carga y descarga, el movimiento del elemento portador de la carga y el retorno de este en vacío ocurrirán simultáneamente. Estas características antes mencionadas confieren a estas máquinas una gran productividad, factor de gran importancia en la industria contemporánea (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

1.2.1.1 Clasificación General De Las Máquinas De Transporte Continuo.

- a.** Según la forma en que se transmite la fuerza motriz a la carga que se traslada:
- Mediante elementos mecánicos.
 - Mediante las fuerzas gravitacionales.
 - Mediante la fuerza centrífuga.
 - Mediante el aire.
- b.** *Según el aspecto o tipo de carga transportada:*
- Máquinas para el transporte de carga a granel.
 - Máquinas para el transporte de carga en bultos o paquetes.
- c.** *Según el plano en que se ubique la trayectoria de la máquina:*
- En el plano horizontal.
 - En el plano vertical.
 - En el espacio tridimensional.
- d.** *Según la forma de transportar la carga:*
- En forma de vena continua.
 - En recipientes o depósitos (cangilones).
 - Por piezas o arrastradas a través de un tubo por medio de raspadores.

e. Por las formas constructivas y de aplicación de la fuerza motriz.

Se puede tomar esta clasificación según se establece en el diagrama representado en el anexo 1 (Fig.1):

1.2.1.2 Principios para la selección del Tipo de MTC.

- Cumplir con las exigencias técnicas de la producción.
- Satisfacer las exigencias de seguridad y protección.
- Lograr un alto grado de mecanización.
- Lograr un trabajo confortable.
- Costo mínimo por unidad de carga transportada.
- Recuperación rápida de la inversión.

1.2.1.3 Factores Técnicos que influyen en la selección de una MTC.

- Capacidad de la carga (productividad): La cantidad de material a transportar puede determinar qué tipo de Transportador utilizar, por ejemplo. Un transportador por tornillo sinfín no sería capaz de entregar la misma cantidad de material que uno de banda debido a las altas velocidades que estos trabajan.
- Longitud del recorrido: A medida que la longitud aumenta las alternativas de selección disminuyen.
- Elevación: Cuando la trayectoria es vertical, los transportadores de cangilones son los más económicos, pero si la trayectoria es ligeramente inclinada se puede considerar otro tipo de transportador.
- Características del material: Una pieza caliente no se puede transportar en uno de banda, sería recomendable uno de tablillas.
- Requerimientos del proceso: Hay que tener en cuenta si durante su recorrido es necesario realizar alguna operación tecnológica como: clasificación, tratamiento, etc.
- Métodos de descarga y carga.
- Costo comparativo.

Los factores antes mencionados permiten evaluar las diferentes MTC desde un punto cuantitativo. La selección del equipo óptimo entre los escogidos debe hacerse sobre una base cuantitativa desarrollando los cálculos de las diferentes variantes y comparándolas según un conjunto de índices como por ejemplo:

- Esfuerzo que hay que aplicar al accionamiento para mover una tonelada de carga.
- Energía que se gasta para desplazar una tonelada a una distancia de un metro.
- Relación entre el peso lineal de las partes móviles y el paso lineal de la carga.
- Costo de desplazamiento de una tonelada de carga a una distancia de un metro.

En el cálculo económico se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Costo del equipo.
- Costo de montaje.
- Gasto de explotación
- Costo de energía.
- Depreciación del equipo.

1.2.1.4 Características de los Materiales.

Los materiales transportados se dividen en dos grupos:

- A granel.
- Bultos o piezas.

A los materiales a granel pertenecen los materiales en grandes y medianos pedazos, los granos, talcos, etc. por ejemplo: minerales, carbón, gravilla, arena, tierra, cemento.

Los materiales en bultos o piezas son aquellas cargas transportadas por unidades o por conjunto de unidades, a ellos pertenecen las cajas, paquetes, semiproductos, vigas, piezas de máquinas (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

1.2.1.5 Propiedades de los Materiales a Granel.

Para la correcta selección de un transportador así como sus parámetros se deben tener en cuenta las propiedades de los materiales a granel.

- a) **Granulometría:** No es más que la distribución de las partículas de acuerdo con sus medidas (dimensión lineal por la diagonal).

Para determinar la granulometría se emplea el método de tamizado para partículas mayores de 0.05 mm. Este proceso consiste en hacer pasar una muestra del material a través de un juego de tamices.

Una vez separadas dichas porciones se pesan y se determina el porcentaje en peso de cada porción en relación con el peso total de la muestra.

La homogeneidad de las dimensiones de las partículas la determina un coeficiente.

$$k_o = \frac{a_{max.}}{a_{min.}} \quad \text{Si } k_o \leq 2.5 \rightarrow \text{clasificada. Si } k_o > 2.5 \rightarrow \text{No clasificada.}$$

Si la carga es clasificada

$$a' = \frac{a_{max.} + a_{min.}}{2}$$

Si la carga es no clasificada y el peso de la porción, cuya dimensión es $a_{m\acute{a}x}$ inferior al 10 % en peso del total de la muestra, se toma a' igual al valor de la dimensión que resulta superior al 10% en peso del total de la muestra, en caso contrario se toma $a' = a_{m\acute{a}x}$.

Tabla 1.2

DETERMINACIÓN DE LA DIMENSIÓN DE LA PARTÍCULA REPRESENTATIVA a'

$K_o = \frac{a_{m\acute{a}x}}{a_{m\acute{i}n}}$	Denominación	$\frac{G}{G_o}$ (%)	Valor de a'
> 2.5	No clasificada	≥ 10 %	$a_{m\acute{a}x}$
		< 10 %	$ka_{m\acute{a}x}$
≤ 2.5	Clasificada	-	$\frac{a_{m\acute{a}x.} + a_{m\acute{i}n.}}{2}$

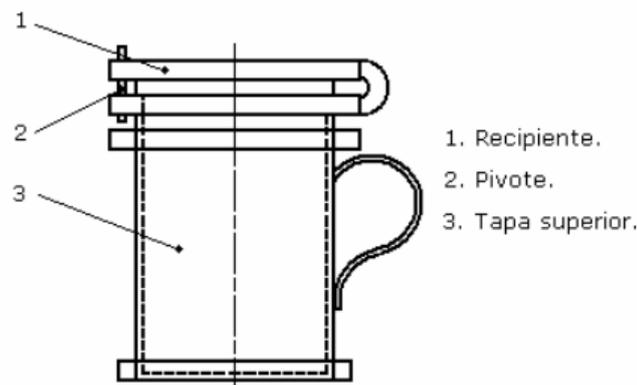
G_o : Peso total de la muestra.
 G : Peso de la porción correspondiente a $a_{m\acute{a}x}$.
 k : Factor que depende de la porción superior al 10 % en peso.

Peso específico del granel: Es el peso de la unidad de volumen ocupado por este y se denomina por la letra γ (ver Tabla 1.2. Características físico-mecánicas de los materiales a granel).

$$(\gamma) \left[\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right].$$

El peso volumétrico se determina por la relación del peso de la carga en un vaso graduado con su volumen.

FIG.1.1
RECIPIENTE PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO A GRANEL.

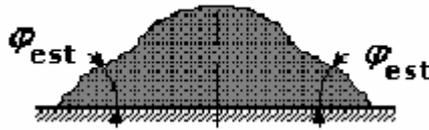


El peso de la carga a granel libre (mullida) y el peso de la carga compacta se diferencian: la compactación puede ser lograda mediante la disminución de su volumen (sacudiendo).

En los materiales que se mueven con facilidad (arena seca, trigo, etc.) la compactación incrementa muy poco el peso del granel (en un 5 - 10 %) y en las cargas coherentes y húmedas (tierra de moldear, arena mojada, etc.) durante la compactación el peso a granel aumenta en un 30 -50 %.

Ángulo de reposo estático: No es más que el ángulo que se forma al ser depositado un material sobre una superficie horizontal (φ_{est}) (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

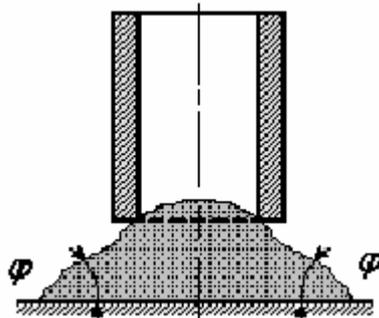
FIG.1.2
ÁNGULO DE REPOSO ESTÁTICO.



La magnitud de este ángulo depende de la movilidad mutua de las partículas de carga mientras mayor sea ésta, menor será el ángulo φ para el agua, por ejemplo, el ángulo φ es igual a cero.

Este puede ser estático y dinámico. Si colocamos un cilindro hueco sobre una superficie y se deposita material en él, luego se levanta con cuidado y se puede observar el $\varphi_{estático}$, pero si esta superficie se hace vibrar obtenemos entonces $\varphi_{dinámico}$. Se considera que: $\varphi_{dinámico} = (0,65 \text{ a } 0,76) * \varphi_{estático}$

Fig.1.3
MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÁNGULO DE REPOSO.



Este ángulo se tiene en cuenta para determinar la productividad de una Máquina transportadora.

- b) **Abrasividad:** Propiedad de los materiales de desgastar la superficie con la que están en contacto cuando existe movimiento relativo, por ejemplo, las superficies de los canales, de los cangilones, de las cintas, de las articulaciones de las cadenas.

El grado de abrasividad de la carga a granel depende de la dureza, la forma y la medida de las partículas que la componen. La carga a granel como la

ceniza, el mineral en pedazos, el coque, el cemento, la arena, etc., poseen una considerable abrasividad.

Al diseñar una máquina de transporte se debe procurar que exista poco movimiento relativo y realizar revestimientos de protección.

c) **Peso específico:** Es el peso de las partículas secadas a temperaturas de 100 a 105 °C de 2 a 3 horas, en relación con el volumen de agua desplazado por estas.

d) **Contenido de agua (Ca):** Se denomina a la presencia de agua que rodea las partículas o ocupando los espacios libres entre ellas.

$$C_a = \left(\frac{G_h - G_s}{G_s} \right) * 100(\%).$$

Donde:

G_h : Es el peso del material húmedo.

G_s : Es el peso del material seco.

Propiedades específicas.-

- Corrosividad: reaccionar con las superficies de contacto.
- Compactidad: perder movilidad de las partículas cuando llevan un tiempo prolongado de almacenamiento.
- Higroscopicidad: absorber humedad medio del ambiente.
- Adhesividad: Capacidad de adherirse a otros cuerpos.
- Explosividad.
- Autocombustión.
- Toxicidad.

Estas tres últimas se tienen en cuenta por condiciones técnicas especiales, que deben ser cumplidas obligatoriamente durante la proyección de los equipos (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

1.2.1.6 Características de los Bultos.

Se dividen en piezas y depósitos. Se caracterizan por la dimensión, forma, peso y propiedades específicas.

a) **Dimensiones:** Determina las dimensiones del órgano portador, el paso de colocación, la capacidad de peso en los virajes y las curvaturas del transportador.

b) **Peso:** Determina la capacidad y la resistencia del elemento de tracción y su método de carga.

c) **Forma:** Determina la forma de colocación de la carga en el elemento portador de carga del transportador.

d) **Propiedades específicas:** Fragilidad.

Tabla 1.3
CODIFICACIÓN DE LOS MATERIALES A GRANEL.

Propiedades físico - mecánicas	Características del material	Código
Grado de abrasividad	No abrasivas	A
	Poco abrasivas	B
	Medianamente abrasivas	C
	Muy abrasivas	D
Peso específico a granel $\gamma \left[\frac{kN}{m^3} \right]$	Ligero < 6	I
	Medio de 6 - 11	J
	Pesado de 12 - 20	K
	Muy pesado > 20	L
Angulo de reposo $\varphi_{\text{est}} [^\circ]$	Muy fluidos < 30°	1
	Fluido 30° - 45°	2
	Poco fluido > 45°	3
Granulometría $a' [mm]$	Polvo < 0,05	4
	Fino 0,05 - 0,49	5
	Granulado 0,5 - 0,9	6
	Pequeños terrones 10 - 60	7
	Medianos terrones 61 - 160	8
	Grandes terrones > 160	9
Propiedades específicas	Corrosividad	V
	Higroscopicidad	H
	Adhesividad	R
	Explosividad	E
	Compactabilidad	P
	Toxicidad	T

1.2.1.6 Productividad de las máquinas de transporte continuo.

La productividad de una MTC está dada por la cantidad de material que esta entrega en la unidad de tiempo. Puede expresarse en unidades de peso, masa o volumen de carga por unidad de tiempo que puede ser hora o jornada (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

La productividad media horaria se expresa teniendo en cuenta: la productividad por jornada (Q_J), el tiempo de duración de cada jornada (t_J), el tiempo de trabajo de la máquina transportadora (t_m).

Según:

$$Q_{med} = \frac{Q_J}{t_m} = \frac{Q_J}{t_J} \quad [\text{KN/h}] \quad (1)$$

$$K_t = \frac{t_m}{t_J} \leq 1 \quad (2)$$

Si la entrada de material no es constante y en periodos aislados crece, la productividad de la máquina no debe ser inferior a:

$$Q = \frac{Q_J * k_i}{t_J * K_t} ; [\text{KN/h}] \quad (3)$$

$$Q = Q_{med} * k_i \quad (4)$$

Donde:

Q : Productividad de la maquina

k_i : Coeficiente de irregularidad en la carga que representa la variación y crecimiento de material entrante a la máquina.

K_t : Coeficiente de utilización de la máquina durante la jornada de trabajo.

Para el caso en que la carga a manipular sea a granel, la productividad puede darse en unidades de volumen.

$$V = \frac{Q}{\gamma}; \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (5)$$

Por el valor de las productividades se determinan, mediante el cálculo, los parámetros geométricos de las MTC, por lo que estos valores se denominan productividad de cálculo.

La productividad de las MTC se calcula atendiendo a tres tipos de transportación.

1. Transportación de carga a granel en forma de vena continua.
2. Transportación de carga a granel en cantidades separadas.
3. Transportación de carga por piezas.

La productividad de la máquina depende del peso lineal de la carga y de la velocidad de transportación, donde la productividad horaria es:

$$Q = 3.6 * q * v; \text{ (KN/h)}. \quad (6)$$

Según los tipos de transportación, la productividad horaria de la máquina transportadora quedaría para cada caso:

$$Q = 3600 * A_0 * v * \gamma * \psi; \text{ (KN/h)}. \quad (7)$$

Donde:

A_0 : Área del órgano portador. (m²)

v : Velocidad de transportación. (m/s)

γ : : Peso específico del granel. (KN/m³)

3600: coeficiente de corrección unidades.

ψ : coeficiente de llenado.

$$1. Q = 3.6 * \frac{i_0}{a_c} * v * \gamma * \psi; \text{ (KN/h)} \quad (8)$$

Donde:

i_0 : Capacidad de recipiente. (L)

a_c : Espaciamiento entre recipientes. (m)

$$2. Q = 3.6 * \frac{G}{a} * v; \text{ (KN/h)} \quad (9)$$

En caso de transportación de un lote de piezas sería:

$$Q = 3.6 * \frac{G * Z}{a} * v \text{ [KN /h]} \quad (10)$$

Donde:

Z : Número de piezas.

G : Peso de las piezas. (N)

a : Separación entre piezas.

La productividad para este caso, también se puede determinar por la cantidad de piezas manipuladas en un tiempo dado, es decir, tiempo entre la colocación de un pieza y la otra (t).

$$t = \frac{a}{v}; \text{ (s).} \quad (11)$$

Donde:

$$Q = \frac{3600 * v}{a} \text{ Piezas/h} \quad (12)$$

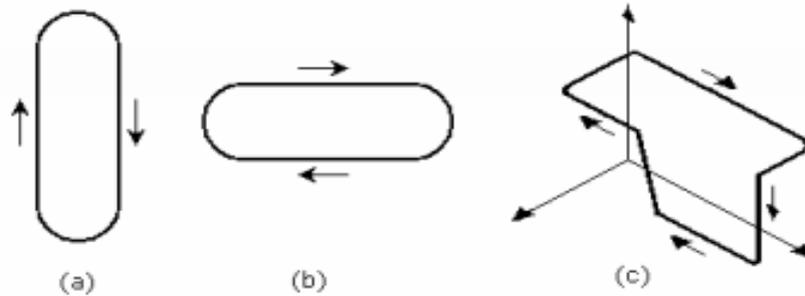
$$Q = \frac{3600 * v * Z}{a} \text{ Piezas/h; para lotes de piezas.}$$

1.2.1.7 Potencia del Motor y Factor de Resistencia al movimiento.

La transportación en las máquinas de transporte continuo puede ser vertical, horizontal o combinada (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

FIG.1.4

ESQUEMA DE RECORRIDO DE LAS CARGAS EN LAS MÁQUINA DE TRANSPORTE CONTINUO A): EN EL PLANO VERTICAL, B): EN EL PLANO HORIZONTAL Y C): EN EL ESPACIO.



Potencia del motor y factor de resistencia al movimiento.

La transportación en los MTC puede ser vertical, horizontal o combinada.

Si en un elevador de cangilones se elevan Q (kN/h) de material a una altura H (m) la potencia del motor necesaria para elevar solamente la carga (sin incluir las pérdidas por fricción) será:

$$Nu = \frac{1000 \cdot Q \cdot H}{3600 \cdot 102} = \frac{Q \cdot H}{3670} ; (kW) \quad (13)$$

Expresándola a través de la eficiencia la potencia consumida será:

$$N = \frac{Nu}{\eta} = \frac{Q \cdot H}{3670 \cdot \eta} ; (kW) \quad (14)$$

η : está determinada por el grado de perfeccionamiento mecánico del equipo, mientras mayor sea su valor menor será la magnitud de las pérdidas por resistencia (W_{fr}).

Como se puede observar estas expresiones solo pueden emplearse en un transportador de traza vertical, y la eficiencia puede caracterizar las pérdidas del mismo.

Sin embargo en un transportador de traza horizontal $H = 0$ las expresiones se harían cero. En un transportador de traza compuesta pueden existir tramos horizontales e inclinados (elevación) y si los horizontales son muchos mayores que los de elevación, el trabajo empleado en vencer las resistencias sería mucho

mayor que el empleado en la elevación de la carga y la eficiencia sería tan pequeña (orden de la centésimas o milésimas de la unidad) que no sería representativo de las propiedades mecánicas del equipo (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

Y por último si el transportador es descendiente $H < 0$ y el sistema no consumiría energía por lo que la eficiencia es negativa y perdería su sentido físico.

Por las razones antes expuesta, la potencia necesaria del motor para el funcionamiento de un transportador, se obtiene calculando por separado el trabajo invertido en vencer la carga y el trabajo requerido para vencer la resistencia de la carga al movimiento.

Para los elevadores verticales se mantiene la expresión anterior y para los siguientes casos analizados se obtendrán de la definición del coeficiente de resistencia al movimiento (w) que es la relación entre las fuerzas que limitan al movimiento de la carga y el peso de esta.

$$w = \frac{Wfr}{q * L} \text{ [N/m]} \quad (15)$$

Donde:

L : Longitud del transportador. (m)

q : Peso lineal de la carga.(N/m)

Wfr : Resistencia por fricción. (N)

$$Wfr = q * L * w \text{ [N/m]} \quad (16)$$

La potencia para vencer esa resistencia es:

$$Nfr = \frac{Wfr * v}{1020} = \frac{q * L * w * v}{1020}; \text{ [Kw]}. \quad (17)$$

$$q = \frac{Q}{3.6 * v}; \text{ (N/m)} \quad (18)$$

$$N_{fr} = \frac{Q * L * w}{1020 * 3.6} = \frac{Q * L * w}{3670}; [Kw]. \quad (19)$$

La potencia total consumida es:

$$N = N_u + N_{fr} = \frac{Q}{3670} * (H + L * w); [Kw] \quad (20)$$

En lo adelante veremos cómo se calculan las resistencias en un transportador con órgano de tracción flexible así como los distintos factores de resistencia.

Resistencias que actúan en los transportadores.

En el cálculo de las resistencias de los transportadores con órgano de tracción flexible como datos iniciales se toman los pesos lineales de la carga (q) y de las partes móviles (q_0) (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

- Resistencia producto de la fuerza de gravedad (inclinados).

$$W_g = \pm(q + q_0) * H \quad (21)$$

El signo (+) se toma cuando el órgano de trabajo se desplaza hacia arriba y (-) hacia abajo.

- Resistencia de los rodillos estacionarios (banda).

$$W_{re} = (q + q_0 + q_r) * l_h * w_{re} \quad (22)$$

$$q_r = \frac{G_r}{l} \quad (23)$$

Donde:

q_r : Peso lineal de los rodillos.

G_r : Peso de los rodillos.

l : Distancia entre rodillos.

lh : Proyección horizontal.

w_{re} : Coeficiente de resistencia en el tramo analizado (Tabla 1).

En el cálculo de resistencia en la rama descargada $q=0$.

- Resistencia en las ruedas móviles (cadena).

$$W_{rm} = (q + q_0) * lh * w_{rm} \quad (24)$$

Donde:

w_{rm} : Coeficiente de resistencia al movimiento.

- Resistencia Para las ruedas cilíndricas y esféricas.

$$w_{rm} = c * \frac{f * d + 2k}{Dr} \quad (25)$$

- Resistencia Para las ruedas cónicas que se desplazan por la parte inclinada de las vigas I y canal [.

$$w_{rm} = \frac{c}{Dr} * \left(\frac{2k}{\cos\Omega} + 1.06 * f * d \right) + \frac{\tan\Omega}{Dr} * \left(\frac{br * \mu d}{2} + d * f \right) \quad (26)$$

Donde:

f : Coeficiente de rozamiento por deslizamiento en el asentamiento de los rodamientos (Tabla 2), en el régimen de arranque aumentar en 1.5 veces.

d : Diámetro del muñón o casquillo en el cual se monta una rueda (mm).

k : Coeficiente de rozamiento por rodamiento de las ruedas por las guías (Tabla 1.5).

c: Coeficiente que tiene en cuenta la fricción en los rebordes de la rueda, $c= 1.1$ a 1.2 .

D_r : Diámetro de la rueda (mm).

Ω :: Angulo de inclinación de la viga guía I o $\Omega= 5^\circ,43'$.

br : Ancho de la parte de trabajo de la rueda (mm).

μd : Coeficiente de rozamiento por deslizamiento entre las guías y la rueda.

$\mu d= 0.25$ Para nuevas condiciones de trabajo y $\mu d= 0.45$ para condiciones pesadas.

Para el cálculo preliminar.

$w_{rm} = 0.03 \rightarrow$ Rodamiento

$w_{rm} = 0.10 \rightarrow$ Deslizamiento

La combinación de las formas anteriores quedaría de la forma siguiente:

- **TRANSPORTADORES DE BANDAS**

• Horizontales	Inclinadas
• Cargadas	
$W_{car} = (q + q_b + q_{rs}) * w_{re} * lh$	$W_{car} = (q + q_b + q_{rs}) * w_{re} * lh \pm (q + q_b) * H$
• Descargadas	
	$W_{des} = (q_b + q_{ri}) * w_{re} * lh \pm q_b * H$

- **TRANSPORTADORES DE CADENAS (TABLILLAS)**

• Horizontales	Inclinadas
• Cargadas	
$W_{car} = (q + q_0) * w_{rm} * lh$	$W_{car} = (q + q_0) * w_{rm} * lh \pm (q + q_0) * H$
• Descargadas	
	$W_{des} = q_0 * w_{rm} * lh \pm q_0 * H$

- TRANSPORTADORES DE RASTRILLOS

• Horizontales	Inclinadas
• 1Cargadas	
$W_{car} = (q * w_e + q_0 * w_{rm}) * lh$	$W_{car} = (q * w_e + q_0 * w_{rm}) * lh \pm (q + q_0) * H$
• Descargadas	
	$W_{des} = q_0 * w_{rm} * lh \pm q_0 * H$

- TRANSPORTADORES DE CANGILONES

• Horizontales	Inclinadas
•	• Cargadas
• No existe	• $W_{car} = \pm (q + q_0) * H$
•	• Descargadas
	$W_{des} = \pm q_0 * H$

- Resistencia en el arrastre del material.

$$W_{crr} = (q * w_c + q_0 * w_{rm}) * lh$$

(27)

Donde:

w_c : Coeficiente de resistencia del canal.

$$w_c = 1.1 * f$$

f : Coeficiente de fricción entre el material y el acero (tabla de materiales).

- Resistencia en los cojinetes de los tambores (estrellas) de transmisión.

$$W_{ct} = (S_e + S_s) * w_{coj} * \text{sen} \frac{\alpha}{2}$$

(28)

Donde:

S_e y S_s : Tensión en los puntos de entradas y salida a la zona de flexión.

α : Angulo de abrazo.

$$w_{coj} = \mu_1 * \frac{d}{D}$$

(29)

Donde:

w_{coj} : Factor de resistencia al movimiento.

μ_1 : Coeficiente de fricción en los cojinetes.

d : Diámetro del muñón.

D : Diámetro del tambor o estrella.

En los cálculos preliminares se puede tomar para movimiento establecido.

$w_{coj} = 0.15 - 0.25 \rightarrow$ Cojinetes de deslizamiento.

$w_{coj} = 0.002 - 0.015 \rightarrow$ Cojinete de rodamiento.

Si en estos cálculos no se tienen en cuenta las resistencias de los dispositivos de limpieza y flexión de la banda por separados, entonces se toma un factor aumentado

$w_{coj} = 0.03 - 0.05$. En el arranque se toma w_{coj} aumentado en 1.5 veces.

Para cálculos más precisos.

$$W_{ct} = \sum (S_e + S_s + g * m) * w_{coj}$$

Donde:

m : masa del tambor o estrella.

- Resistencia en los cojinetes de los tambores (estrellas) de desviación.

$$W_{cd} = 2.15 * Se * w_{coj} * \text{sen} \frac{\alpha}{2}$$

- Resistencia debido a la flexión de la banda.

$$W_{flb} = kb * B * i$$

Donde:

B : Ancho de la banda.

i : Números de capas.

kb : Coeficiente que se toma

$kb = 20Nm \rightarrow$ para $D \leq 0.6$ m

$kb = 15Nm \rightarrow$ para $D > 0.6$ m

Esta fórmula es efectiva para $\alpha \geq 90^\circ$, si $\alpha < 90^\circ$ esta resistencia no se tiene en cuenta.

- Resistencia por flexión de la cadena en la estrella de transmisión.

$$W_{fl,t} = \frac{f_2 * d_2 * (Se + Ss)}{D}$$

Donde:

f_2 : Coeficiente de fricción en las articulaciones (Tabla 1.6).

d_2 : Diámetro del pasador.

D : Diámetro primitivo de la estrella.

- Resistencia por flexión de la cadena en las estrellas de desviación y cola.

$$W_{fld} = \frac{2 * 10^5 * f_2 * d_2 * Se}{D}$$

- Resistencia en los bordes fijos (Tablillas).

$$W_{bf} \approx 1000 * \gamma * h^2 * f * L$$

Donde:

h : Altura de los bordes.

f : Coeficiente de rozamiento carga - bordes.

lb : Longitud de los bordes (m).

- Resistencia en los dispositivos de limpieza.

$$W_{lim} = w_{lim} * B$$

Donde:

B : Ancho de la banda, entablillado, ó canal de transportación (m).

w_{lim} : Resistencia del dispositivo de limpieza.

-

- Para cepillos giratorios.

$w_{lim} = 200 - 250 Nm \rightarrow$ Materiales secos y húmedos.

$w_{lim} = 250 - 350 Nm \rightarrow$ Húmedos y pegajosos.

-

- Para cuchillas.

$w_{lim.} = 300 - 350 Nm$

- Resistencia en los descargadores de arado fijos.

$$Wda = w_{da} * q * B$$

Donde:

w_{da} : Coeficiente de resistencia de los descargadores de arado.

$w_{da} = 3.6 \rightarrow$ Pequeños pedazos.

$w_{da} = 2.7 \rightarrow$ Granulados y polvos.

La resistencia al movimiento de los descargadores de arado (cuchillas desviadoras) aumenta cuando esta se mueve al encuentro de la carga (banda o tablilla) y entonces:

$$Wd = Wda + Wcm$$

Donde:

Wcm : Resistencia del carro móvil.

$$Wcm = g \cdot (m + m_0) * w_{car}$$

Donde:

m : Masa de carga en el carro.

m_0 : Masa del carro.

w_{car} : Coeficiente de resistencia del carro.

$$w_{car} = 0.005 \div 0.009$$

- Resistencia en los tramos curvos.

$$Wcur = Ss * \left(1 - \frac{1}{e^{w\alpha}}\right)$$

Si se conoce la tensión Se , entonces la resistencia se calcula por:

$$Wcur = Se * (e^{w\alpha} - 1)$$

Si el producto de $w\alpha \leq 0.1$ entonces el cálculo se puede realizar por una fórmula más simple.

$$W_{cur} = Se * w * \alpha$$

- Resistencia producto de la fuerza de inercia de la carga al caer sobre el órgano de trabajo.

$$W_{in} = \frac{q * (v^2 - v_0^2)}{g}$$

Donde:

v y v_0 : Velocidad del órgano portador de la carga y velocidad de caída del material respectivamente (m/s).

Si $v_0 > v$ esta resistencia se hace cero.

- Resistencia producto de la fuerza de inercia de la carga, órgano flexible y partes giratorias durante el arranque.

$$W_{in} = Ja * L * (q + q_0 + kf * q_{gir})$$

Donde:

Ja : Aceleración durante el arranque del órgano de tracción (m/s).

l : Longitud del tramo analizado.

kf : Coeficiente de forma de las partes giratorias.

$$kf = 0.5 - 0.9$$

q_{gir} : Peso lineal de las partes giratorias (N/m).

- Resistencia producto de las fuerzas de inercia de los tambores (estrellas) motrices y de desviación.

$$W_{in} = g * Ja * kf * m_0$$

Donde:

m_0 : Masa del elemento.

- Resistencia en los dispositivos de descarga:

$$W_{dis} = h' * q * \frac{lb}{B} + w_r$$

Donde:

h' : Coeficiente con unidades de longitud.

$h' = 0.5$ m para velocidades $v \leq 1$ ms

$h' = 0.65$ m para velocidades $v > 1$ ms

Tabla 1.4

VALORES DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA w_{re} , SEGÚN CONDICIONES DE TRABAJO.

Condiciones de trabajo	Característica de la operación	w_{re}
Ligeras	Limpio, seco, sin polvo, iluminado, fácil mantenimiento.	0.02
Medias	Polvo, húmedas, visibilidad media, fácil mantenimiento.	0.022
Pesadas	Ciclo abierto, mala visibilidad, fácil mantenimiento.	0.03 - 0.04
Muy pesadas	Combinación de los factores que peor influye en el trabajo.	0.04 - 0.06

Tabla 1.5

VALORES DE LOS COEFICIENTES f y k .

Condiciones de trabajo	f		k	
	Ruedas en bujes	Ruedas en rodamiento	Ruedas en bujes	Ruedas en rodamiento
Buenas	0.15	0.025	0.07	0.05
Medias	0.20	0.040	0.09	0.06
Pesadas	0.25	0.060	0.12	0.08

Tabla 1.6

COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN LAS ARTICULACIONES.

Condiciones de trabajo	Valor de f_2 según lubricación		
	liquida	Consistente	Sin lubricación
Buenas	0.1 – 0.15	0.15 - 0.20	0.25
Medias	0.15 - 0.20	0.20 - 0.25	0.35
Pesadas	0.20 - 0.25	0.25 – 0.30	0.45

1.2.1.8 Fuerza de Tracción y Potencia del Motor.

Para la determinación de la fuerza de tracción total en un transportador con órgano de tracción flexible suele emplearse el método de tensiones por puntos de la traza. Este método consiste en dividir la traza del conductor en sectores rectilíneos, curvos (resistencia distribuida) y de viraje (resistencia concentrada), se enumeran los puntos de enlace de dichos sectores en forma consecutiva, a partir del punto de salida del órgano de tracción del elemento propulsor (polea tambora o catalina) y finaliza en el punto de entrada a este (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

La diferencia entre las tensiones de entrada y salida del elemento propulsor nos da la fuerza de tracción del conductor y potencia del motor (consumo de energía del motor).

$$F_t = S_e - S_s \quad \text{y} \quad N = \frac{F_t * v}{\eta}$$

Resulta conveniente iniciar el recorrido de la traza en el punto de mínima tensión del conductor, llegando desde este punto hasta el elemento propulsor, este punto varía según el tipo de transportador.

La tensión en cada punto de la traza, siguiendo el sentido del movimiento del conductor, es igual a la tensión en el punto inmediato anterior, más la resistencia originada en el sector entre dichos puntos, es decir:

$$S_{i+1} = S_i + W_{i-(i+1)}; [N]$$

Donde:

$S_i; S_{(i+1)}$: Tensiones en los puntos consecutivos de la traza i e $i+1$; (N)

$W_{i-(i+1)}$: Resistencia en el sector entre dichos puntos(N).

Si se incluye la resistencia originada en el órgano propulsor.

$$Ft = Se - Ss + Wpr; [N]$$

Y la potencia del motor consumida en el transportador será:

$$N = \frac{Ft * v}{1020 * \eta}; [kw]$$

Donde:

Ft : Fuerza de tracción total en (N).

v : Velocidad de transportación en (m/s).

η : Eficiencia de la transmisión que incluirá o no las pérdidas en el árbol propulsor según se empleen las formulas de Ft .

1.2.2 Clasificadora por grosor (Ediagro Ltda. 2006).

La clasificadora de precisión: fabricada por Carter Day, Super Brix y otras empresas. Clasifica por grosor y por ancho.

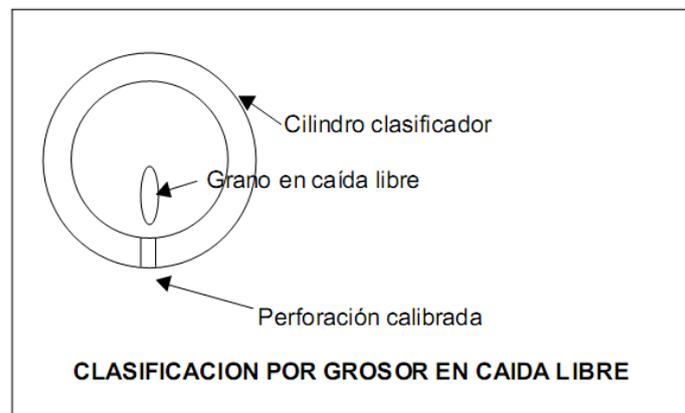
a. Clasificadora por el Ancho

Para clasificar por ancho se utilizan cribas con guías longitudinales que alineen al grano. La clasificación por grosor se hace con cribas de perforaciones redondas. Se debe recordar que: el arroz en caída libre permite separaciones por largo y grosor.

b. Clasificadora por Grosor

- El arroz sobre una superficie plana perforada puede separarse por longitud y ancho.
- La capacidad y eficiencia de estos equipos depende de la adecuada selección de las zarandas, el área abierta y el grado de agitación interna que se alcance de los granos y que permita su “caída libre”.

FIG. 1.5
ESQUEMA SOBRE LA CLASIFICACIÓN DEL GRANO DE ARROZ.



1.2.3 Cilindros Trieurs (Ediagro Ltda. 2006).

- Cilindros Trieurs: se utilizan para separar granos quebrados y semillas del grano entero, paddy o descascarado.
- El tipo de trabajo que realice depende del tamaño de los alvéolos, velocidad y ángulo de la bandeja interna.

1.2.4 Mesas Gravimétricas (Ediagro Ltda. 2006).

• Mesa gravimétrica: se ha venido utilizando recientemente para separar flujos de grano poco uniformes en tres flujos separados clasificados por longitud y grosor. De esta manera se puede mejorar la operación de descascaradoras, del sistema de blanqueo y de las clasificaciones por tamaño y de tipo óptico.

Mesas gravimétricas recuperación de Paddy de la cascara

- Se estima que en condiciones normales de operación, las aventadoras, con la cáscara, pueden expulsar entre 1% y 3% de arroz Paddy.
- Las mesas gravimétricas se pueden utilizar para recuperar este paddy de manera económica, si el flujo es suficientemente grande.

1.2.5 Despedregadora (Ediagro Ltda. 2006).

Es un tipo especializado de mesa gravimétrica que separa piedras, terrones y vidrios del arroz paddy. También tiene aplicación en la recuperación de arroz paddy que expulsa la aventadora de cáscara. La graduación de aire para cada aplicación, es, naturalmente, diferente.

1.2.6 Descascaradoras (Ediagro Ltda. 2006).

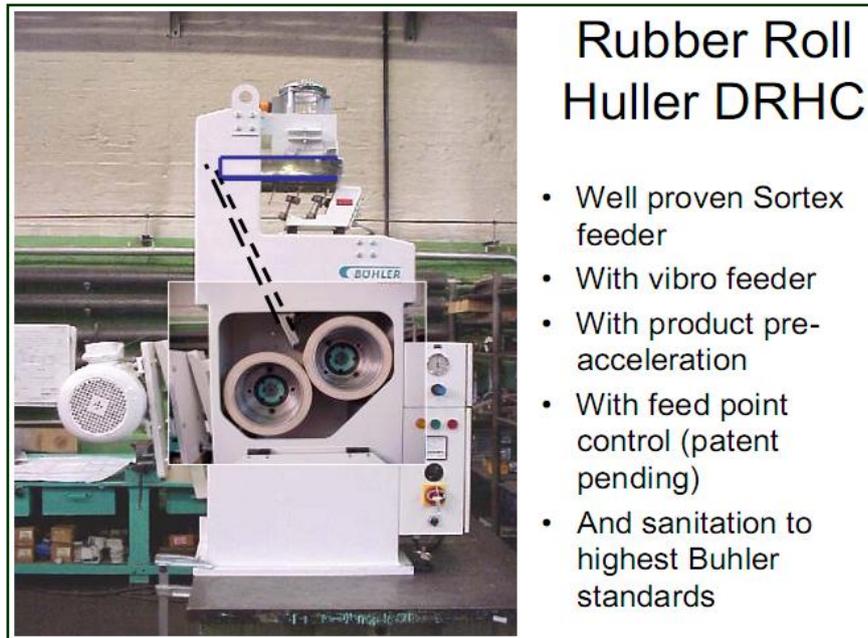
Las máquinas descascaradoras son las encargadas de efectuar la molienda del arroz paddy (arroz cascara).

De acuerdo a la posición de entrada a las máquinas descascaradoras pueden ser:

- a) De entrada en dirección vertical.
- b) De entrada en dirección horizontal.
- c) De entrada en dirección inclinada.

fig.1.6 se representa una de estas máquinas de entrada en posición inclinada.

FIG. 1.6
MÁQUINA DESCASCARADORA DE ENTRADA DE ARROZ EN POSICIÓN INCLINADA.



En general los equipos para la molienda se pueden clasificar en cuatro tipos (Meyer, Paltrimieri y Bercijn, 1987) (Flores, W., 1992) (De Dios, C. Alberto, 1996):

- a) Molinos de disco.
- b) Molinos de martillos.
- c) Molinos de rodillos.
- d) Molinos combinados

Molinos de disco.

Llamados también molinos de platos, consiste en dos discos generalmente de diámetro entre 102 y 1524 mm que se frotran uno al otro.

Los discos pueden estar en posición vertical u horizontal, el más común son los discos verticales. Un disco generalmente se mueve y el otro está fijo.

Los molinos de disco generalmente son buenos para moliendas gruesas y en algunos casos para una molienda media, la molienda fina es muy difícil lograrla con molinos de disco.

Sin embargo, muchos factores influyen para lograr éxito en una molienda fina, como los platos que se usen, la velocidad o capacidad del motor, condición y presión de los platos, la velocidad de alimentación, el tipo de grano y el contenido de humedad del mismo.

Molino de martillos.

Consiste en piezas (martillos) que pueden ser fijos u oscilantes, montados en un eje de rotación y disponen de una criba o malla a través de la cual pasa el producto.

La reducción de tamaño se debe a las siguientes causas:

- Explosión debido al impacto de los martillos.
- Corte por los bordes de los martillos.
- Acción de frotamiento o rozadura.

La acción de frotamiento es importante con cereales, mientras que la acción de impacto es importante con maíz y materiales quebradizos.

La velocidad de alimentación al molino se controla con unas compuertas corredizas o con un alimentador positivo, tal como un tornillo sin fin.

A medida que el producto pasa a través de la malla una corriente de aire suministrada por un ventilador lo coge y lo lleva al separador de donde pasa al silo o al ensacado.

El molino de martillo se adapta bien para una molienda media y fina. La alta velocidad con que trabajan los martillos es excelente para una conexión directa con un motor eléctrico.

La fuerza de la molienda depende del tamaño de los agujeros de la malla y de la velocidad de circulación del material molino a través de la cámara de molino.

Molinos de rodillo

Constan de dos rodillos que generalmente están acanalados y que están paralelos al eje del rodillo.

Los rodillos se mueven en sentido inverso, uno a una velocidad y el otro a dos o tres veces la velocidad del otro.

Las necesidades de potencia del motor van a depender de:

1. La clase y la calidad del grano.
2. Al grano de molienda.
3. A la condición de los rodillos.
4. Al contenido de humedad del grano.
5. A la velocidad de operación.
6. A la potencia disponible.
7. A la velocidad de alimentación.

El molino de rodillos se utiliza intensamente en la industria de harinas, en la cual dos rodillos se mueven en sentido opuesto y a diferentes velocidades, para la operación final de la fabricación de harina se usan rodillos suaves de los cuales uno opera a una velocidad 25 por ciento mayor que la del otro.

Molinos combinados.

Son aquellos molinos de disco o de martillos que tienen una picadora o dispositivos picadores de cilindro o de cabezal cortador, incorporados al molino. Existen otros molinos que trituran el producto, para facilitar el proceso de molienda (Hall y Salas, 1970).

Las trituradoras son del tipo de rodillos combidos grandes o del tipo de rodillos dentados. El uso de trituradores elimina la carga de impacto en los molinos de martillos, los requerimientos totales de potencia para la reducción de tamaño son mucho menores si se tritura el producto antes de la molienda.

1.2.7 Separadoras. Separación De Paddy (Ediagro Ltda. 2006).

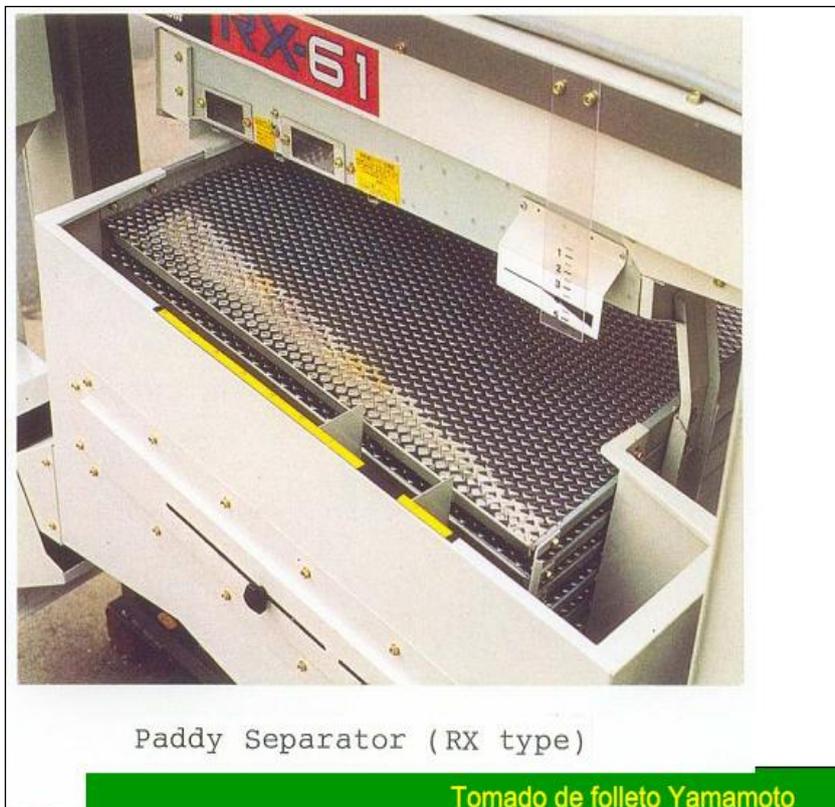
La separadora de paddy selecciona, con base en las diferencias de densidad de los productos, el arroz cargo y el paddy no descascarado. La descarga de grano de las aventadoras contiene una mezcla del arroz paddy no descascarado y de arroz “cargo” o integral.

En la industria se utilizan dos tipos principales de separadoras, el de mesa con celdas zig-zag interiores y el de láminas alveolares con movimiento de vaivén e inclinación variable.

Separadora de Mesa

Se debe este gran honor a la “Cenicienta”, patentada por Mr. Friedrich Hermann Schule en Hamburgo en 1892. A causa del movimiento de vaivén, el grano es arrojado contra las paredes de la cámara y desde allí rebota de pared a pared. Los ángulos de rebote del arroz descascarado son distintos de los del no descascarado, en función de su diferente peso específico. Por este procedimiento, estratificando el producto en cámaras zig zag y con ayuda de la inclinación de la mesa, el arroz descascarado, específicamente más pesado, y el no descascarado, más ligero, son transportados en dos direcciones opuestas y, descargados de la máquina por separado (del libro clásico de Karl Fisher).

FIG. 1.7
MÁQUINA SEPARADORA.



1.2.8 Rectificación de Arroz “Cargo” (Ediagro Ltda. 2006).

Antes de iniciar el proceso de blanqueo y pulimento conviene rectificar el cargo, por medio de las rectificadoras.

La rectificación hecha con clasificadoras de precisión puede hacerse para separar: más gruesos (paddy, rojo, piedras, semillas) o más delgados (inmaduros, piedras).

Paddy en el Cargo

La presencia tolerable de granos con cáscara (paddy) en el producto aceptado depende de la disponibilidad de equipos de clasificación por grosor y de clasificación por color. La tolerancia se puede aumentar a 3 o 4 granos paddy por 100 gramos si se cuenta con estos equipos. Los equipos de molienda multipaso, suave, tienen menor tolerancia a la presencia de granos paddy en el integral, pues no realizan prácticamente ningún descascarado. Los equipos del tipo “vertijet”, por el contrario, pueden descascarar los granos paddy que se pasen, por la mayor agresividad de su acción.

“Integral” en el Paddy

La presencia de grano integral en el paddy (rechazado) afecta la producción de grano entero, pues el grano retornado, sin cáscara, es más afectado por la agresividad de la acción de descascarado, que el paddy.

1.2.9 Máquinas Blanqueadoras y Pulidoras (Ediagro Ltda. 2006).

1.2.9.1 Máquinas Blanqueadoras de Fricción:

- a) Máquina blanqueadora de arroz tipo vertical de fricción.
- b) Máquina blanqueadora de arroz tipo horizontal de fricción.
- c) Máquina blanqueadora de arroz tipo cono vertical abrasivo.

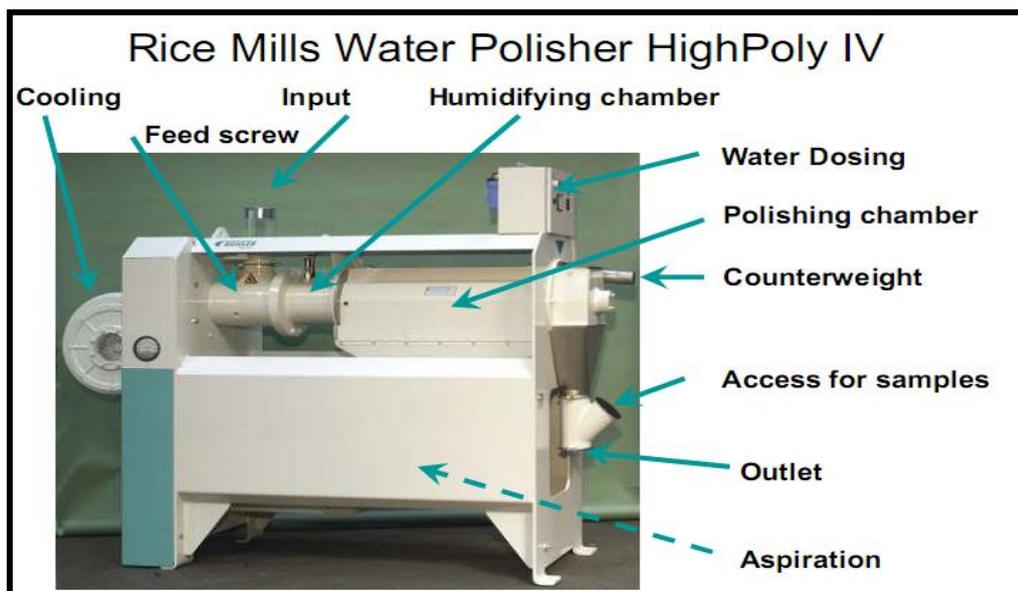
1.2.9.2 Máquinas Blanqueadores Abrasivos.

Algunas consideraciones sobre los nuevos diseños de estas máquinas tenemos:

- Reemplazo de piedras fundidas in-situ por unidades vitrificadas:

- Las piedras tradicionales se funden con esmeril (50%), y cloruro y magnesita (50%).
- Las vitrificadas tienen 80% de esmeril.
- En las tradicionales es necesario escarificar las piedras con frecuencia para que aflore el esmeril.
- El núcleo cementante es duro y se empasta.
- En las piedras nuevas el cementante es poroso, se desintegra con el esmeril y no se empasta.
- Las maquinas de nuevo diseño utilizan mayor cantidad de aire que los conos tradicionales.
- La remoción de salvado está influenciada, en primer lugar, por el tipo de cribas (ángulo de las ranuras, “botones” retardadores interiores), en segundo lugar por el número y calibración de los frenos interiores, en tercero por la velocidad periférica.
- La cantidad de aire aparece como el factor de menor importancia en relación con la remoción de salvado.
- En consecuencia, si el objetivo en un momento determinado es aumentar la acción de blanqueado, los ajustes deberán concentrarse, inicialmente, en las cribas y frenos y no en el contrapeso o cantidad de aire.

FIG. 1.8
MÁQUINA BLANQUEADORA ABRASIVA.



Son máquinas que generalmente emplean cuero para lograr la fricción entre este y el arroz de grano entero y así lograr el pulido.

TABLA 1.7
FACTORES DE MOLIENDA QUE AFECTAN EN PULIDORES DE FRICCIÓN.

Cribas	Variaciones en la orientación de las aberturas y en la existencia y cantidad de protuberancias.
Longitud de la cámara	Cámaras más largas producen mayor tiempo de retención.
Cantidad de aire	Mayor cantidad de aire mayor rendimiento, hasta cierto punto.
Masa giratoria	Dos estrías: mejor molienda, cuatros estrías mejor brillo.
Fuente: Satake Milling Collegue, adaptado por Edi agro Ltda.	

1.2.9.3 Pulidores Con Agua (Ediagro Ltda. 2006).

- La adición de agua se hace en cantidades muy reducidas (0.3% a 0.4% en peso)
- Ablanda el salvado aun no removido, para facilitar su extracción con baja presión.
- Una fuerte corriente de aire remueve todo el material que se va aflojando y evita que sea depositado nuevamente sobre el producto.

TABLA 1.8
FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LOS BRILLADORES CON AGUA

Cribas: inclinación de aberturas, presencia de protuberancias ("botones").
Número de pasos previos.
Temperatura del arroz.
Cantidad de agua.
Presión de aire (mayor cantidad de aire mayor posibilidad de aumetar la cantidad de agua)
Contrapeso.
Fuente: Satake Milling Collegue, Adaptación de Ediagro Ltda.

1.3 Calidad de Energía y Ahorro en Sistemas Energéticos

Día a día, tanto para los consumidores como para las compañías suministradoras de energía eléctrica el concepto de "Calidad de Energía Eléctrica" adquiere más relevancia. El término "Calidad de Energía Eléctrica" (Power Quality) se ha convertido en una de las frases modernas más escuchadas en la industria desde los años 80's.

Los problemas asociados a la calidad de energía eléctrica no son necesariamente nuevos. Lo que es nuevo es que ahora los usuarios están más consientes de las consecuencias de estos fenómenos y que las técnicas para su detección y corrección son más accesibles que en años pasados.

Las razones más relevantes para detectar, analizar y corregir los problemas de Calidad de Energía Eléctrica son:

1. Los equipos de hoy en día son más sensibles a las variaciones de la energía eléctrica que los utilizados en años anteriores. Muchas cargas (equipos) contienen control basado en microprocesadores e instrumentos electrónicos que son sensibles a los disturbios eléctricos. La tarea constante de disminuir costos en el uso de la energía eléctrica ha llevado a la implementación de equipos de alta eficiencia como son: Variadores de velocidad en motores, bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia y el uso extensivo de equipos de computación para optimizar tareas y procesos.

Como resultado adverso al ahorro de energía eléctrica, se tienen incrementos significativos en los niveles de armónicos en las redes eléctricas. Dado que el problema no solo afecta a usuarios sino también a las compañías suministradoras, éstas se preparan para medir los niveles de armónicos producidos por usuarios en un futuro cercano; así de acuerdo a la reglamentación vigente, se penalizará a los usuarios que excedan los límites de armónicos que se establezcan para la Calidad de Energía Eléctrica.

Actualmente los consumidores de energía eléctrica se informan más acerca de los problemas asociados a la calidad de energía eléctrica como lo son: Interrupciones, variaciones de tensión (sags y swells) y transitorios por "switcheo". En consecuencia, los usuarios demandan a las compañías suministradoras el mejorar la calidad de energía eléctrica que reciben.

2. Las Industrias buscan constantemente adquirir maquinarias más rápidas, más productivas y más eficientes. Las compañías suministradoras de energía eléctrica alientan este esfuerzo porque la maquinaria más eficiente reduce la demanda de energía eléctrica, lo cual ayuda a aplazar grandes inversiones en subestaciones y centrales de generación.

Irónicamente, los equipos instalados para aumentar la productividad son también los equipos que sufren más por disturbios presentes en la red y algunas veces también éstos son los generadores de los problemas de la calidad de energía eléctrica. Las costosas inversiones que hacen las industrias deben protegerse y es precisamente aquí donde se requieren las soluciones a los problemas de calidad de energía eléctrica.

La definición de la calidad de energía eléctrica.

Existen diferentes definiciones de calidad de energía eléctrica, pues cada marco de referencia destaca aspectos en función de sus compromisos y necesidades. Sin embargo, dado que la calidad de energía eléctrica es un problema que involucra a todos, es más adecuado definirla como: "Cualquier disturbio en los sistemas de energía eléctrica, que se manifiesta en desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia, lo cual resulta en una falla o una mala operación de los equipos."

Existen diferentes fenómenos que pueden ser analizados y corregidos por medio de los estudios de la calidad de energía eléctrica y se lo hace siguiendo los criterios de los estándares internacionales.

Según la norma EN 50160:1999 (NORMA ESPAÑOLA) las principales desviaciones a un suministro de alta calidad se presenta en la tabla 1 del anexo 2.

Problemas causados por la mala calidad de energía (Donal g. Fink y H. Wayne Beaty, 1993) (Hervas E., 2009).

Dentro de los problemas más comunes se encuentran los siguientes:

- Calentamiento excesivo de transformadores.
- Ruido acústico en transformadores, motores y otros equipos.
- Calentamiento excesivo de conductores, principalmente el neutro.

- Circulación continua de corriente por el conductor de puesta a tierra.
- Bajo factor de potencia.
- Calentamiento excesivo de los bancos de capacitores.
- Operación errónea de los dispositivos de control, los sistemas de señalización principal y relevadores de protección.
- Pérdidas adicionales en capacitores, transformadores y máquinas rotatorias.
- Interferencia telefónica.
- Extinción del arco de las lámparas de descarga.
- Operación incorrecta de los dispositivos de control.
- Daños a tarjetas electrónicas de control.
- Variación de la velocidad o del par en motores.
- Apertura de contactores.
- Colapso de sistemas de computación o errores de medición en instrumentos equipados con dispositivos electrónicos.
- Fallas en la conmutación de convertidores
- Parpadeo en monitores.
- Parpadeo en luminarias.
- Baja eficiencia en motores eléctricos.

1.3.1 Relación entre el Factor de Potencia y las Potencias Activas, Reactiva y Aparente.

1.3.1.1 El Factor de Potencia y la Eficiencia Energética.

El Sistema Nacional Interconectado (SNI) es el conjunto de todos los elementos eléctricos que intervienen directamente en los procesos de generación, transformación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, que forma un "todo único" de operación conjunta y abarca todas las instalaciones existentes. De aquí se deriva que casi toda la electricidad que consumimos en las industrias, fábricas, hogares, etc., proviene del SNI, y por lo tanto todos los elementos pueden considerarse equipos consumidores de energía eléctrica. Estos equipos consumidores de energía eléctrica se dividen en cuatro clases:

1. Equipos que consumen fundamentalmente energía activa, que es la que se transforma en trabajo mecánico o calor como lo son: lámparas incandescentes, hornos de resistencia y otros equipos que funcionan con resistencias puras. Este tipo de energía puede medirse mediante los metrocontadores y por lo tanto se paga según las tarifas establecidas.

2. Equipos que consumen fundamentalmente energía reactiva inductiva como: reactores de lámparas fluorescentes, bobinas de interruptores magnéticos, motores, transformadores, magnetos y bobinas en general conectados a circuitos de corriente alterna.

3. Equipos que consumen fundamentalmente energía reactiva capacitiva: condensadores y equipos de gran capacitancia conectados al circuito de corriente alterna. Estas dos últimas formas de energía eléctrica de estos consumidores no son medibles mediante los metrocontadores normales que poseemos en nuestras instalaciones, y por lo tanto no se pagan.

4. Equipos que consumen los tres tipos de energía mencionados o una combinación de dos de ellas. En la práctica, por lo general, se encuentran los tres tipos de energía en las instalaciones eléctricas de corriente alterna, como es el caso de: los motores de inducción con capacitores, transformadores, hornos eléctricos, magnetos, lámparas de distintos tipos y todo tipo de equipos necesarios para llevar a cabo los procesos productivos de la industria. La demanda en un motor eléctrico (o cualquier otro consumidor) es la necesidad instantánea de potencia, ya sea activa o reactiva, proveniente del sistema de alimentación.

La energía eléctrica se mide según el tiempo que actúa la demanda de acuerdo a la ecuación.

$$E = P \cdot t$$

Donde:

E: es la energía consumida (Vatios por hora)

P: es la potencia instantánea (vatios)

T: es el tiempo en que transcurre la demanda (horas).

A pesar que la potencia reactiva no produce trabajo útil, puede ser medida por un metro contador reactivo y se expresa en Var-Horas (esta unidad de medida se utiliza tanto para la energía inductiva como para la capacitiva).

Se define factor de potencia (f.d.p.) de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa (Pa), y la potencia aparente (S), si las corrientes y tensiones son señales perfectamente sinusoidales.

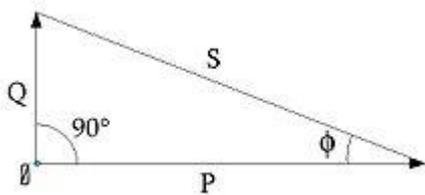


Figura 1.9. Triángulo de potencias.

Si las corrientes y tensiones son señales perfectamente sinusoidales, el factor de potencia será igual a $\cos\phi$ o como el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad y el voltaje, designándose en este caso como $\cos\phi$, siendo ϕ el valor de dicho ángulo. De acuerdo con el triángulo de potencias de la figura 1.9:

$$f.d.p. \equiv \cos \phi = \frac{P}{S}$$

(Si las corrientes y tensiones son señales perfectamente sinusoidales). El dispositivo utilizado para medir el f.d.p. se denomina cosímetro.

1.3.1.2 Importancia del Factor de Potencia.

Para comprender la importancia del factor de potencia se van a considerar dos receptores con la misma potencia, 1000 W, conectados a la misma tensión de 230 V, pero el primero con un f.d.p. alto $\cos \varphi_1 = 0,96$ y el segundo con un bajo $\cos \varphi_2 = 0,25$.

- Primer receptor

$$I_1 = \frac{P_1}{V \cos \varphi_1} = \frac{1000}{230 \cdot 0,96} \simeq 4,53 A$$

$$S_1 = VI_1 = 230 \cdot 4,53 \simeq 1.042 VA$$

- Segundo receptor

$$I_2 = \frac{P_2}{V \cos \varphi_2} = \frac{1000}{230 \cdot 0,25} \simeq 17,39A$$

$$S_2 = VI_2 = 230 \cdot 17,39 \simeq 4.000VA$$

Analizando ambos resultados, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Un f.d.p. bajo comparado con otro alto, origina, para una misma potencia, una mayor demanda de intensidad, lo que implica la necesidad de utilizar cables de mayor sección.
- La potencia aparente es tanto mayor cuanto más bajo sea el f.d.p., lo que origina una mayor dimensión de los generadores.

Ambas conclusiones nos llevan a un mayor coste de la instalación alimentadora. Esto no resulta práctico para las compañías eléctricas, puesto que el gasto es mayor para un f.d.p. bajo. Es por ello que las compañías suministradoras penalizan la existencia de un f.d.p. bajo, obligando a su mejora o imponiendo costes adicionales.

1.3.1.3 Influencia del tipo de Cargas

El valor del f.d.p. viene determinado por el tipo de cargas conectadas en una instalación. De acuerdo con su definición, el factor de potencia es adimensional y solamente puede tomar valores entre 0 y 1. En un circuito resistivo puro recorrido por una corriente alterna, la intensidad y la tensión están en fase ($\varphi=0$), esto es, cambian de polaridad en el mismo instante en cada ciclo, siendo por lo tanto el factor de potencia la unidad. Por otro lado, en un circuito reactivo puro, la intensidad y la tensión están en cuadratura ($\varphi=90^\circ$) siendo el valor del f.d.p. igual a cero (Donal g. Fink y H. Wayne Beaty, 1993).

En realidad los circuitos no pueden ser puramente resistivos ni reactivos, observándose desfases, más o menos significativos, entre las formas de onda de la corriente y el voltaje. Así, si el f.d.p. está cercano a la unidad, se dirá que es un

circuito fuertemente resistivo por lo que su f.d.p. es alto, mientras que si está cercano a cero que es fuertemente reactivo y su f.d.p. es bajo. Cuando el circuito sea de carácter inductivo, caso más común, se hablará de un f.d.p. en atraso, mientras que se dice en adelanto cuando lo es de carácter capacitivo.

Las cargas inductivas, tales como; transformadores, motores de inducción y, en general, cualquier tipo de inductancia (tal como las que acompañan a las lámparas fluorescentes) generan potencia inductiva con la intensidad retrasada respecto a la tensión.

Las cargas capacitivas, tales como bancos de condensadores o cables enterrados, generan potencia reactiva con la intensidad adelantada respecto a la tensión.

1.3.1.4 Consecuencias de un bajo Factor de Potencia.

Entre las principales consecuencias de un factor de potencia bajo se pueden enumerar las siguientes:

1. Disminución de las capacidades entregadas por la generación, las que se encuentran limitadas por corrientes máximas, aún cuando la potencia que se entregue no sea máxima. La capacidad de entrega es directamente proporcional al factor de potencia:

$$P = S \cos \varphi;$$

$$\text{Como } S = VI,$$

$$\text{Entonces } P = VI \cos \varphi;$$

Donde V es la tensión de la línea.

2. Aumento de las pérdidas térmicas en los conductores que son inversamente proporcionales al cuadrado del factor potencia:

$$\Delta P = IR;$$

$$\text{Como } I = P/(V \cos \varphi),$$

$$\text{Entonces } \Delta P = RP/(V^2 \cos^2 \varphi) ;$$

Donde, ΔP son las pérdidas de potencia y R es la resistencia de los conductores.

3. Aumento de la sección transversal de los conductores necesarios para transmitir la misma potencia, en tanto esa sección es inversamente proporcional al cuadrado del factor de potencia.
4. Disminución de la tensión Terminal en las cargas, lo que tiene considerables desventajas secundarias.
5. Los motores primarios (turbinas de vapor, motores de diesel, etc) de los generadores en las estaciones eléctricas se calculan sólo para la potencia activa del generador. Por tanto, cuando aumenta la potencia reactiva disminuye el factor de potencia y es necesario disminuir la carga activa, por lo que el motor primario estará sólo parcialmente cargado, lo que implica la disminución de su rendimiento y el consiguiente aumento de los gastos en combustible.
6. Se producen alteraciones en las regulaciones de la calidad técnica del suministro (variaciones de tensión), con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los equipos y resta capacidad suficiente de respuesta de los controles de seguridad como interruptores, fusibles, etc.
7. Incremento en la facturación eléctrica, debido a que un bajo factor de potencia implica pérdidas que afectan al productor y distribuidor de energía eléctrica, por lo que se penaliza al usuario haciendo que pague más por su electricidad.

1.3.1.5 Métodos para el mejoramiento del Factor de Potencia.

A menudo es posible ajustar el factor de potencia de un sistema a un valor muy próximo a la unidad.

Esta práctica es conocida como mejora o corrección del factor de potencia y se realiza mediante la conexión a través de conmutadores, en general automáticos, de bancos de condensadores o de inductores. Por ejemplo, el efecto inductivo de las cargas de motores puede ser corregido localmente mediante la conexión de condensadores. En determinadas ocasiones pueden instalarse motores síncronos

con los que se puede inyectar potencia capacitiva o reactiva con tan solo variar la corriente de excitación del motor.

Las pérdidas de energía en las líneas de transporte de energía eléctrica aumentan con el incremento de la intensidad. Como se ha comprobado, cuanto más bajo sea el f.d.p. de una carga, se requiere más corriente para conseguir la misma cantidad de energía útil. Por tanto, como ya se ha comentado, las compañías suministradoras de electricidad, para conseguir una mayor eficiencia de su red, requieren que los usuarios, especialmente aquellos que utilizan grandes potencias, mantengan los factores de potencia de sus respectivas cargas dentro de límites especificados, estando sujetos, de lo contrario, a pagos adicionales por energía reactiva.

La mejora del factor de potencia debe ser realizada de una forma cuidadosa con objeto de mantenerlo lo más alto posible. Es por ello que en los casos de grandes variaciones en la composición de la carga es preferible que la corrección se realice por medios automáticos.

Supongamos una instalación de tipo inductivo cuyas potencias P, Q y S forma el triángulo de la figura 1.9. Si se desea mejora el $\cos\varphi$ a otro mejor $\cos\varphi'$, sin variar la potencia activa P, se deberán conectar un banco de condensadores en paralelo a la entrada de la instalación para generar una potencia reactiva Q_c de signo contrario al de Q, para así obtener una potencia reactiva final Q_f . Analíticamente:

$$Q_c = Q - Q_f$$

Por un lado

$$Q = IV \sin \varphi = IV \cos \varphi \tan \varphi = P \tan \varphi$$

y análogamente

$$Q_f = P \tan \varphi'$$

Por otro lado

$$Q_c = I^2 X_c = \left(\frac{V}{X_c}\right)^2 X_c = \frac{V^2}{X_c} = V^2 \omega C$$

Donde ω es la pulsación y C la capacidad de la batería de condensadores que permitirá la mejora del f.d.p. al valor deseado. Sustituyendo en la primera igualdad,

$$V^2 \omega C = P(\tan \varphi - \tan \varphi')$$

De donde

$$C = \frac{P(\tan \varphi - \tan \varphi')}{V^2 \omega}$$

- ***Cálculo del f.d.p. medio de una instalación***

Algunas instalaciones cuentan a la entrada con dos contadores, uno de energía reactiva (kVArh) y otro de energía activa (Kw/h). Con la lectura de ambos contadores podemos obtener el factor de potencia medio de la instalación, aplicando la siguiente fórmula:

$$f.d.p. = \cos \left(\tan^{-1} \frac{KVArh}{KWh} \right)$$

- ***Componentes no senoidales***

En los circuitos que tienen solamente corrientes y voltajes senoidales, el efecto del factor de potencia se presenta solamente como la diferencia en fase entre la corriente y el voltaje. Esto es más conocido como "factor de potencia de desplazamiento". El concepto se puede generalizar a una distorsión total, o a un verdadero factor de potencia donde la potencia aparente incluye todos los componentes armónicos. Esto es de importancia en los sistemas de energía prácticos que contienen cargas no lineales tales como rectificadores, algunas formas de iluminación eléctrica, hornos de arco voltaico, equipos de soldadura y otros dispositivos.

Un ejemplo particularmente importante son los millones de computadores personales que típicamente incorporan fuentes de alimentación conmutadas con salidas cuyo rango de potencia va desde 150W hasta 500W. Históricamente, éstas fuentes de alimentación de muy bajo costo incorporan un simple rectificador de onda completa que conduce sólo cuando el voltaje instantáneo excede el voltaje de los capacitores de entrada. Esto conduce a razones muy altas entre las corrientes pico y promedio, lo que también lleva a una distorsión en el f.d.p. y a consideraciones posiblemente serias acerca de la fase y la carga neutral.

Agencias de regulación tales como la EC (en Estados Unidos) han establecido límites en los armónicos como un método de mejorar el f.d.p.. Disminuir el costo

de los componentes ha acelerado la aceptación e implementación de dos métodos diferentes. Normalmente, esto se hace ya sea agregando un inductor en serie (llamado PFC pasivo) o con la adición de un convertidor elevador que fuerza a una onda sinusoidal (llamado PFC activo). Por ejemplo, los SMPS con PFC pasivos pueden lograr un f.d.p. de 0.7...0.75, los SMPS con PFC activo -- hasta 0.99, mientras que los SMPS sin ninguna corrección del f.d.p. tienen valores alrededor de 0.55 a 0.65 solamente.

Para cumplir con el estándar de corriente de los Estados Unidos EN61000-3-2 todas las fuentes conmutadas con potencia de salida mayor de 75W tienen que incluir como mínimo un PFC pasivo.

Diagrama Energético del Motor Eléctrico

Cuando el motor está en funcionamiento, el estator se alimenta de la red y absorbe una potencia (Chapman, Stephen J., 1995) (J. Sanz Feito, 2002):

$$P_1 = m_1 * V_1 * I_1 * \cos\theta$$

Parte de la P_1 se consume (disipa) en la resistencia R del devanado del estator ocasionando una pérdida eléctrica ΔP_{el} , así como una pérdida magnética en el campo del estator ΔP_{mag} , deduciendo dichas componentes, al rotor se le aplica una potencia electromagnética, que se expresa mediante la siguiente ecuación de balance energético:

$$P_{mag} = P_1 - \Delta P_{el1} - \Delta P_{mag}$$

Parte de esta potencia se disipa en cubrir las pérdidas eléctricas del rotor ΔP_{el2} en su devanado, la potencia resultante es aquella que va a ser convertida en potencia mecánica, expresado por:

$$P_{mec} = P_{mag} - \Delta P_{el2}$$

En las máquinas de anillos rozantes, además se tienen pérdidas en las escobillas de contacto, las cuales se añades a la pérdida ΔP_{el2} .

La potencia mecánica obtenida en el árbol del eje del rotor, se obtiene luego de vencer su inercia y otras pérdidas adicionales, obteniéndose una potencia P_2 :

$$P_2 = P_{mec} - \Delta P_{fric} - \Delta P_{adic}$$

Como en cualquier otro dispositivo de transformación de la energía, existen unas pérdidas, de tal forma que solamente se entrega a la salida una parte de la energía absorbida en la entrada Chapman, Stephen J. (1995) (J. Sanz Feito, 2002). El rendimiento (η %) o la eficacia de un motor vienen determinado por las pérdidas que se producen en la maquina. El rendimiento se define como el cociente entre la potencia útil y la potencia absorbida o total, de acuerdo con la expresión:

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil } Pu}{\text{Potencia total } PT}$$

La diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida de una máquina son las pérdidas que se presentan dentro de ella. Por lo tanto la ecuación se puede representar así:

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia útil} + \text{Potencia perdida}} = \frac{Pu}{Pu + Pp}$$

Las primeras pérdidas que se observan son las perdidas $I^2 \cdot R$ en los devanados del estator también llamadas las pérdidas en el cobre del estator PPCE. Luego se pierde cierta cantidad de potencia por los fenómenos de histéresis y de corrientes parásitas de Foucault que aparecen en el material ferro magnético del núcleo, que conforman las pérdidas en el hierro.

La potencia restante pasa a través del entrehierro entre el estator y el rotor. Una vez transferida dicha potencia una parte de ella se pierden $I^2 \cdot R$ a esta se les llama perdidas en el cobre del rotor. Por último las pérdidas por fricción y rozamiento con el aire PFYR. La potencia restante es la salida del motor es decir la potencia de salida P_{sal} .

Mientras mayor sea la velocidad del motor de inducción, mayores serán las pérdidas por fricción, por rozamiento con el aire por lo tanto serán más pequeñas las pérdidas en el núcleo.

Recomendaciones para mejorar el uso de motores eléctricos

- Mejorar la tensión de alimentación.
- Reemplazo por otros de mayor eficiencia.
- Alternancia de uso en caso de ascensores.
- Optimización en sistemas de bombeo.
- Compensación reactiva en todos los casos.
- Uso de variadores de velocidad.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del lugar de la Investigación.

Descripción del lugar donde se efectuó la investigación.

Las mediciones se realizaron en la Unidad básica molino de arroz Cayama, perteneciente al Complejo Agroindustrial de arroz “Fernando Echenique”, del municipio de Río Cauto de la provincia de Granma, Cuba.

El experimento se inicio en el mes de septiembre de 2010 hasta enero de 2011, en las pizarras eléctricas. Para evaluar el estado energético de los equipos de la Unidad.

Estructura Organizativa de la unidad básica molino de arroz “Cayama”:

TABLA 2.1.
CANTIDAD DE OBREROS DE LA UNIDAD BÁSICA “MOLINO DE ARROZ CAYAMA”.

Personas/ Cantidad	
Obreros	58
Técnicos	6
Dirigentes	2
Total	66

TABLA 2.2
ÁREAS DE TRABAJO DE LA UNIDAD BÁSICA “MOLINO DE ARROZ CAYAMA”.

Áreas de trabajo
Dpto. de recursos humanos
Servicio/Dpto. Económico
Abastecimiento
Producción

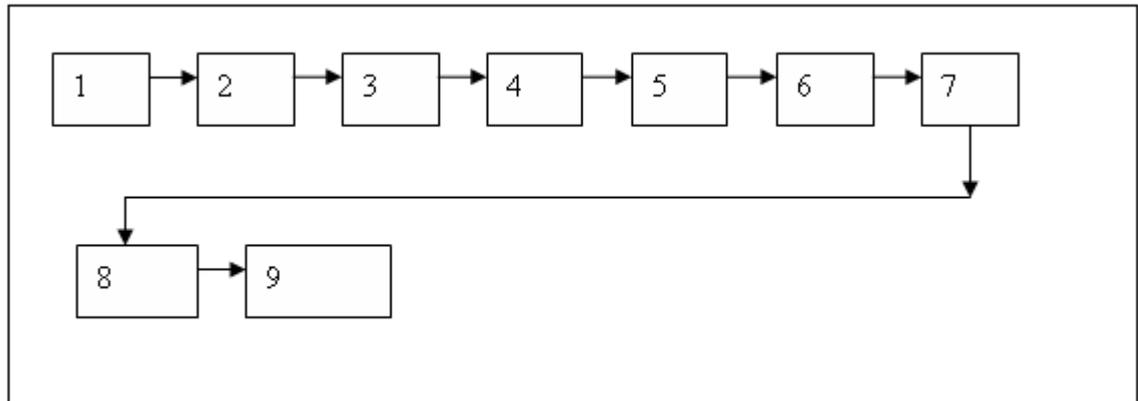
2.2 Caracterización del Proceso Tecnológico y del Equipamiento Empleado en el Proceso de Molienda del Arroz.

2.2.1 Proceso Tecnológico del Molino de Arroz “Cayama”.

Se recibe la materia prima de la base de almacenamiento que se encuentra en 6 silos, que tienen una capacidad de 870 t cada una a través de transportadores, y elevadores pasa al molino donde se extrae la impureza por medio de dos máquinas de limpieza PH-80 y los cilindros de alimento de AVE, después pasa a las tres cajas de almacenamiento del molino con una capacidad de 18 t, a continuación pasa por la pesa de arroz cáscara y por elevadores transportadores a las 6 descascaradoras, continuando el proceso productivo a las máquinas de clasificación, donde el arroz integral se separa de la cascarilla y del arroz cáscara, por lo que este último se devuelve a las descascaradoras por medio de transportador sin fin y elevadores, mientras que el arroz pelado pasa a la línea de pulido por medio de 4 Máquinas que se aplica presión según las normas de calidad. A continuación pasa a la ROTEX donde se clasifica el arroz limpio entero, en cabecilla (arroz partido) y polvo. El arroz entero y las cabecillas pasan a las 9 cajas de almacenamiento para mezclarlo, el partido pasa por los cilindros de clasificación donde se separa el $\frac{1}{4}$ y el $\frac{1}{2}$ donde se traslada a las cajas de

almacenamiento luego empieza el envase a través de la mezcla que se va a realizar, mezcla al 10, 20 y 30 % el partido pasa al almacén de productos terminados y se conforman las estivas, después se vende.

FIG. 2.1
DIAGRAMA DE FLUJO DE MOLIENDA DE ARROZ.



Leyenda:

- 1 Silos de recibo 870 t
- 2 Máquina limpiadora de impurezas.
- 3 Cilindro de alimentación.
- 4 Caja de almacenamiento de 18 t.
- 5 Pesa.
- 6 Máquinas descascaradoras.
- 7 Máquinas clasificadoras (separadoras de arroz integral, partido y arroz cáscara)
- 8 Máquinas Blanqueadoras.
- 9 Máquinas Pulidoras.

2.2.2 Caracterización Técnica y Energética de la unidad básica Molino de Arroz “Cayama”.

Diagnóstico de maquinaria y tecnología

Para poder entender mejor la problemática actual del molino en estudio, es necesario realizar una comparación con ciertos parámetros representativos obtenidos de la industria molinera actual. Esto dará un buen índice para medir

capacidades, limitaciones y eficiencia tanto de los procesos como de la maquinaria existente, para de esa manera poder determinar en forma efectiva los problemas, analizarlos e identificar las oportunidades de mejora de procesos y eficiencia.

Para realizar esta investigación, se utilizó “El molino de Arroz Cayama”, perteneciente al complejo agroindustrial arrocería “Fernando Echenique” del municipio de Río Cauto, provincia de Granma.

Para evaluar el molino, se tuvo en cuenta las siguientes características:

a. Año de inicio de operaciones: antigüedad de maquinaria.

El año en el cual el molino de arroz ha iniciado sus actividades productivas de transformación fue en 1978 solo el 11 % de las máquinas presentan una antigüedad anterior a los años ochenta. Dentro de este pequeño porcentaje se encuentra el molino estudiado.

b. Capacidad de molienda.

La capacidad de molienda es uno de los principales indicadores para conocer si la empresa se encuentra en capacidad de satisfacer la demanda por pilado de arroz, siendo la capacidad promedio alrededor de 500 kg/h.

c. Capacidad de almacenamiento de arroz cáscara para secado.

Además de la capacidad en maquinaria y equipo, la capacidad de almacenamiento en arroz cáscara y arroz molido son indicadores relevantes asociados al tamaño de los molinos y a su capacidad instalada. Este molino de arroz posee 6 silos con una capacidad de 870 t cada uno.

d. Máquina y equipo en limpieza.

El molino estudiado cuenta con la suficiente capacidad para satisfacer los requerimientos de limpieza de grano para la línea de producción.

e. Máquina y equipo en clasificación.

La clasificación es otra actividad relevante en el objetivo de obtener un grano de superior calidad al corriente. El molino estudiado se presenta este tipo de maquinaria.

f. Máquina y equipo en abrillantado.

Este molino cuenta con 6 de este tipo de máquina. La capacidad de ambas abrillantadoras permite satisfacer los requerimientos de limpieza y abrillantado del producto.

g. Eficiencia de molienda.

Actualmente la eficiencia en el proceso de molienda es quizás el punto más analizado en los procesos productivos. El promedio de los molinos del complejo agroindustrial Fernando Echenique de la provincia de Granma, Cuba, se encuentra entre 0,55 a 0,70 (es decir, por cada 100 kg de arroz en cáscara, sale 0,69 kg de arroz molido). Para el caso del molino, este se encuentra en aproximadamente 0.65, debido entre otros factores a deficiencias en el control de calidad de la materia prima, antigüedad de la maquinaria, entre otras.

Las características técnicas y energéticas de los equipos de las máquinas transportadoras, se muestran en las tablas 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 y 22, ver anexos.

2.3 Metodología

2.3.1 Metodología Para La Determinación De Los Equipos Más Consumidores De Potencia Activa.

Para caracterizar energéticamente la Unidad básica molino de arroz Cayama, se realizaron las mediciones totales de los equipos instalados en las líneas de producción, así como los de la instalación completa. Estas mediciones se realizaron utilizando el analizador de redes Chauvin, ver tabla 2.3, y se midió cada motor a un tiempo de 15 minutos, registrando las medidas a 1 minuto, o sea se efectuaron 15 mediciones. Luego se halló el promedio de las mediciones, con la ayuda del programa Excel 2003.

TABLA 2.3

DATOS GENERALES DEL ANALIZADOR DE REDES UTILIZADO EN LA TOMA DE MEDICIONES ELÉCTRICAS.

Descripción	Marca	Modelo	País de Fabricación
Analizador de Redes eléctricas	CHAUVIN ARNOUX (QUALISTAR)	CA 334 POWER	FRANCIA

Descripción	Voltaje (V)	Corriente (A)	Error del Instrumento	TIPO
Analizador de Redes eléctricas	286 V	1,5	Corriente eléctrica 0,05 A	3 FASES

Las mediciones se realizaron para determinar los consumos de potencia reactiva, la potencia activa, la corriente eléctrica, la tensión y el factor de potencia a cada motor eléctrico de las máquinas transportadoras, las descascaradoras, separadoras, zarandas, blanqueadoras y pulidoras, que intervienen en el proceso de molienda del arroz, todas a plena carga.

Se realizó además la estratificación de equipos mediante la aplicación del diagrama de Pareto, según Borroto et al (2002). Este diagrama cumple con la condición de la ley 80/20, o sea, se tiene en cuenta el 20 % de las causas que provoca el 80 % de los efectos de un fenómeno, sucesos, etc.

2.3.2 Metodología para la determinación de la Potencia Necesaria y la Eficiencia de Trabajo de los Motores Eléctricos de las Máquinas Transportadoras.

Para determinar la potencia eléctrica de los motores eléctricos de las diferentes máquinas empleadas en el proceso de molienda del arroz se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Equipos para efectuar las mediciones eléctricas.

Para ello nos basamos en los procedimientos descritos anteriormente en el acápite 2.3.1.

- Los elementos fundamentales para el cálculo de las máquinas transportadoras.

2.3.2.1 Metodología para determinar Eficiencia de Trabajo del Motor Eléctrico de las Máquinas de Transporte de Banda (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

Determinación de la potencia desarrollada por el motor eléctrico, según procedimiento descrito en el acápite 2.3.1.

Datos:

- a) Potencia requerida N.

$$N = \frac{W_0 * v}{102 * \eta}; [kW]$$

Donde:

Wo: tiraje efectivo. $W_0 = St - Ss + W_{mot}$.

St: tensión del órgano de tracción flexible a la entrada.

Ss: tensión del órgano de tracción flexible a la salida.

V: velocidad lineal de transportación del granel.

Wmot: resistencia concentrada del órgano motriz.

η : Eficiencia

b) Eficiencia desarrollada por el motor eléctrico.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\varphi * \eta / 1000$$

$$\eta = (1000 * P) / (\sqrt{3} * V * I * \cos\varphi)$$

Donde:

P: potencia en Kw

V: tensión en V.

I: Intensidad de la corriente eléctrica en A.

Cos φ : Factor de potencia.

η : Eficiencia desarrollada por el motor eléctrico a plena carga.

2.3.2.2 Metodología para determinar Eficiencia de Trabajo del Motor Eléctrico de las Máquinas de Transporte de Tornillo Sin-

Fin. (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

Determinación de la potencia desarrollada por el motor eléctrico, según procedimiento descrito en el acápite 2.3.1.

Datos:

a) Potencia requerida N.

$$N = \frac{Q \times L}{3600 \times \eta} \times (\omega_o \pm \text{sen}\beta). (KW).$$

Donde:

L: longitud de transportación (m).

ω_o : coeficiente de resistencia al movimiento que depende del tipo de material a transportar.

β : Ángulo de inclinación del tornillo.

η : Eficiencia de la transmisión.

b) Eficiencia desarrollada por el motor eléctrico.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\varphi * \eta / 1000$$

$$\eta = (1000 * P) / (\sqrt{3} * V * I * \cos\varphi)$$

Donde:

P: potencia en Kw

V: tensión en V.

I: Intensidad de la corriente eléctrica en A.

Cos φ : Factor de potencia.

η : Eficiencia desarrollada por el motor eléctrico a plena carga.

2.3.2.3 Metodología para determinar Eficiencia de Trabajo del Motor Eléctrico de las Máquinas de Transporte de Cangilones (Elevadores) (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

Determinación de la potencia desarrollada por el motor eléctrico, según procedimiento descrito en el acápite 2.3.1.

Datos:

a) Potencia requerida N.

En caso de transportación vertical (elevadores de cangilones). Según la metodología utilizada por la norma japonesa JIS y americana ANSI.

$$\delta_{max.} = \left(16.7 * \frac{Q}{v} + 2.1 * q \right) * (H + 2)$$

$$N = \frac{Q * (H + 2)}{320 * \eta}$$

Donde:

$\delta_{max.}$: Tensión máxima de la cadena. (Kg/f)

Q: Productividad máxima. (T/h)

v: Velocidad lineal de la cadena. (m/min.)

H : Distancia vertical entre centros. (m)

L : distancia entre centros horizontal. (m)

q : Peso lineal del material. (Kg/m)

η : Eficiencia de transmisión.

N : Potencia requerida. (Kw)

b) Eficiencia desarrollada por el motor eléctrico.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\varphi * \eta / 1000$$

$$\eta = (1000 * P) / (\sqrt{3} * V * I * \cos\varphi)$$

Donde:

P: potencia en Kw

V: tensión en V.

I: Intensidad de la corriente eléctrica en A.

Cos φ : Factor de potencia.

η : Eficiencia desarrollada por el motor eléctrico a plena carga.

2.3.2.4 Metodología para determinar Eficiencia de Trabajo del Motor Eléctrico de las Máquinas de Transporte Neumático

(Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003)..

Determinación de la potencia desarrollada por el motor eléctrico, según procedimiento descrito en el acápite 2.3.1.

Datos:

a) Potencia requerida N .

$$N_{maq} = \frac{Lm \times Vc}{1000 \times \eta}$$

Donde:

◆ V_c : Capacidad del compresor.

- ◆ L_m : Trabajo teórico realizado por la máquina para mover 1m^3 de aire durante la compresión isotérmica.
- ◆ η : Eficiencia total del compresor ($\eta = 0.55 - 0.75$).

$$V_c = V_{\text{aire}} \times \alpha'$$

Donde:

- ◆ α' : 10% de las pérdidas en el sistema por fugas.
- ◆ V_{aire} : Consumo volumétrico del aire.

$$L_m = 230.3 \times P_o \times \log \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{J/m}^3).$$

Cumpléndose que:

$$P_2 > P_1 \quad \text{y} \quad P_o = 1000 \text{ hPa.}$$

Donde:

- ◆ $P_2 = P_s$: Presión absoluta a la salida de la máquina.
- ◆ $P_1 = P_o \approx 1000 \text{ hPa}$: presión atmosférica a la entrada de la máquina.

b) Eficiencia desarrollada por el motor eléctrico.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\varphi * \eta / 1000$$

$$\eta = (1000 * P) / (\sqrt{3} * V * I * \cos\varphi)$$

Donde:

P: potencia en Kw

V: tensión en V.

I: Intensidad de la corriente eléctrica en A.

$\cos\varphi$: Factor de potencia.

η : Eficiencia desarrollada por el motor eléctrico a plena carga.

2.4.2.4 Metodología para determinar Eficiencia de Trabajo del Motor Eléctrico de las Máquinas de Transporte de Tablillas y Cadenas (Tarasob, U. D., 1980) (Shubin V. S., Pedre C., 1986) (Vasilieb K.A., Nikolaeb A. K., 2003).

Determinación de la potencia desarrollada por el motor eléctrico, según procedimiento descrito en el acápite 2.3.1.

Datos:

a) *Potencia requerida N.*

$$N = \frac{v}{5320 * \eta} * [\delta_{max.} - q * (H - \omega_{r.m} * Lh)]$$

En caso de transporte horizontal. (Tablillas)

$$\delta_{max.} = \left(16.7 * \frac{Q}{v} + 2.1 * q \right) * (\omega_{r.m} * L)$$

$$N = \frac{1}{5320 * \eta} * \left(16.7 * \frac{Q}{v} + 2.1 * q \right) * \omega_{r.m} * L * v$$

Donde:

$\delta_{max.}$: Tensión máxima de la cadena. (kg/f)

Q : Productividad máxima. (t/h)

v : Velocidad lineal de la cadena. (m/min.)

H : Distancia vertical entre centros. (m)

Lh : Proyección horizontal entre centros. (m)

L : distancia entre centros horizontal. (m)

q : Peso lineal del material. (Kg/m)

$\omega_{r.m}$: Coeficiente de fricción entre cadena y guías.

ω_c : Coeficiente de fricción entre material y canal.

η : Eficiencia de transmisión.

N : Potencia requerida. (Kw)

b) Eficiencia desarrollada por el motor eléctrico.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\varphi * \eta / 1000$$

$$\eta = (1000 * P) / (\sqrt{3} * V * I * \cos\varphi)$$

Donde:

P: potencia en Kw

V: tensión en V.

I: Intensidad de la corriente eléctrica en A.

Cos φ : Factor de potencia.

η : Eficiencia desarrollada por el motor eléctrico a plena carga.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Evaluación de las Mediciones Eléctricas del Molino de Arroz “Cayama”.

TABLA 3.1
PARÁMETROS DE LOS CONSUMOS SEGÚN CAPACIDAD INSTALADA DE POTENCIA ELÉCTRICA.

Parámetros	Consumo según Capacidad instalada
Energía E. (Kw)	544,1
Voltaje (V)	440
Corriente eléctrica (A)	958,64

TABLA 3.2
RESULTADOS DE LAS MEDICIONES ELÉCTRICAS DEL MOLINO DE ARROZ “CAYAMA”

Parámetros	Tensión (V)	Tensión Máx. (V)	Corriente (A)	Pot. Activa +	Pot. Inductiva +	Factor de potencia
Promedio	301,702	420,670	231,752	115,238	155,010	0,545

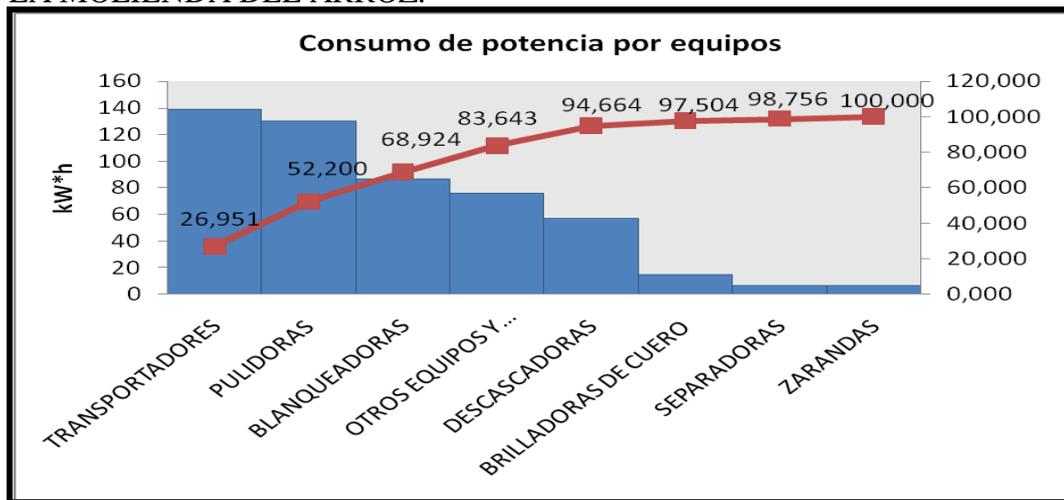
TABLA 3.3
RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE ENERGÍAS DEL MOLINO DE ARROZ “CAYAMA”

Parámetros	Energías E. act +	Energías E. reac L +	Frecuencia /Frecuencia	Potencia Aparente	Qc	kVAr/St
Promedio	5763,467	7794,615	60,086	193,456	135,858	29,983

Como se observa en la tabla 3.2 la máxima tensión es de 420 V y el factor de potencia es de 0.55, esto indica la cantidad de pérdidas que se producen en conductores acompañados con un elevado porcentaje de energías reactivas, es por ello que se recomienda colocar banco de capacitores para compensar dichas pérdidas y mejorar factor de potencia.

GRÁFICO 3.1

ESTRATIFICACIÓN A TRAVÉS DEL DIAGRAMA DE PARETO DE LOS CONSUMOS DE ELECTRICIDAD POR EQUIPOS QUE INTERVIENEN EN LA MOLIENDA DEL ARROZ.



Como se observa en el gráfico 3.1 los equipos mayores consumidores de energía eléctrica son los transportadores con un 26.95 %, las máquinas pulidoras y blanqueadoras que sumada con la anterior representan el 68.9 % del total. Es a estas máquinas donde se deben centrar el monitoreo de los consumos energéticos y tomar las medidas pertinentes para mejorar la eficiencia de trabajo de los motores eléctricos y en general la calidad de la energía.

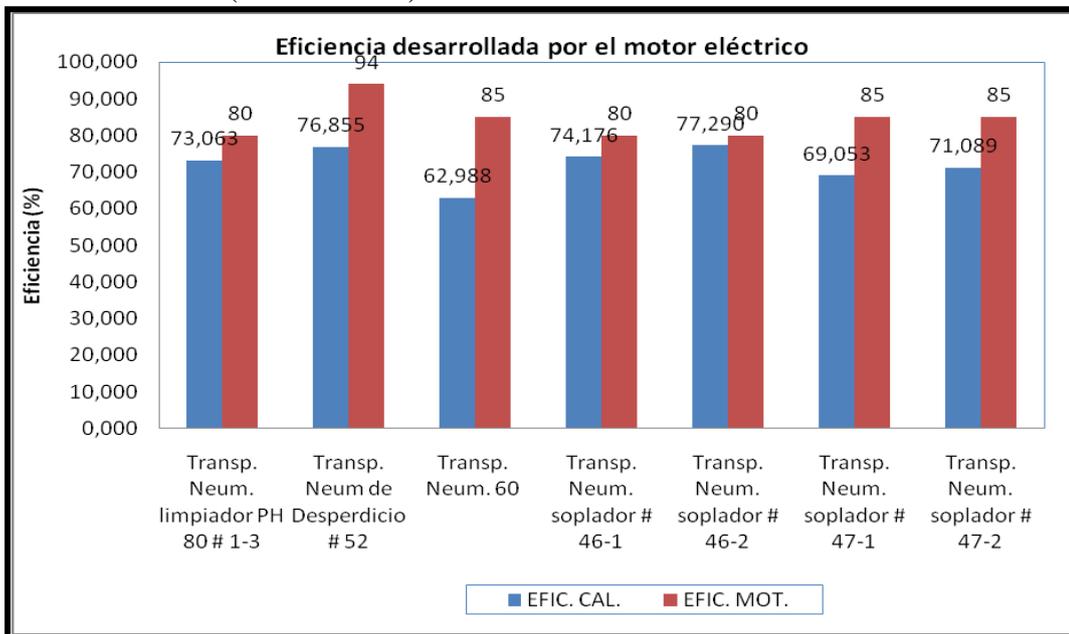
3.2 Evaluación de las Mediciones Energéticas y la Eficiencia Desarrollada por los Motores Eléctricos de los Transportadores Neumáticos.

Como se muestra en el gráfico 3.2 las eficiencias desarrolladas por cada motor eléctrico de los transportadores neumáticos se encuentra por debajo de la seleccionada, según el fabricante para su funcionamiento 100 % de carga, esto indica que no se han estado realizando de forma eficiente los mantenimientos y

reparaciones planificadas, trayendo como consecuencia el aumento de la corriente eléctrica y la disminución de tensión y el factor de potencia, ver tabla 3 anexos. Los valores de pérdidas de eficiencias más críticos los presentaron el transportador de desperdicio # 52 con un 17.2 %, el # 60 con un 22.1 % y el # 47-1 con un 16.47 % respectivamente.

GRÁFICO 3.2

RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DESARROLLADA POR LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LAS MÁQUINAS DE TRANSPORTE NEUMÁTICOS CALCULADA (EFIC. CAL.) Y LA DEL MOTOR SEGÚN FABRICANTE (EFIC. MOT).



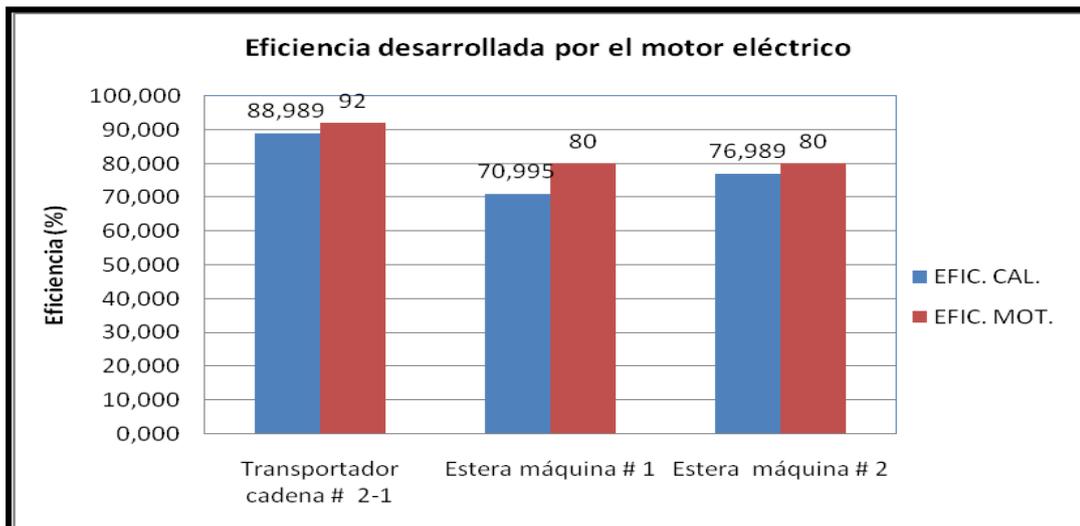
3.3 Evaluación de las Mediciones Energéticas y la Eficiencia desarrollada por los Motores Eléctricos de los Transportadores de Tablillas y Cadenas.

Como se muestra en el gráfico 3.3 las eficiencias desarrolladas por cada motor eléctrico de los transportadores de tablillas y cadenas se encuentra por debajo de la seleccionada, según el fabricante para su funcionamiento 100 % de carga, esto indica que no se han estado realizando de forma eficiente los mantenimientos y reparaciones planificadas, trayendo como consecuencia el aumento de la corriente

eléctrica y la disminución de tensión y el factor de potencia, ver tabla 5 anexos. EL valor de pérdida de eficiencia más crítico lo presenta el transportador de tablilla # 2 con un 9 % aproximadamente.

GRÁFICO 3.3

RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DESARROLLADA POR LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LAS MÁQUINAS DE TRANSPORTE DE TABLILLAS Y DE CADENAS CALCULADAS (EFIC. CAL.) Y LA DEL MOTOR SEGÚN FABRICANTE (EFIC. MOT).



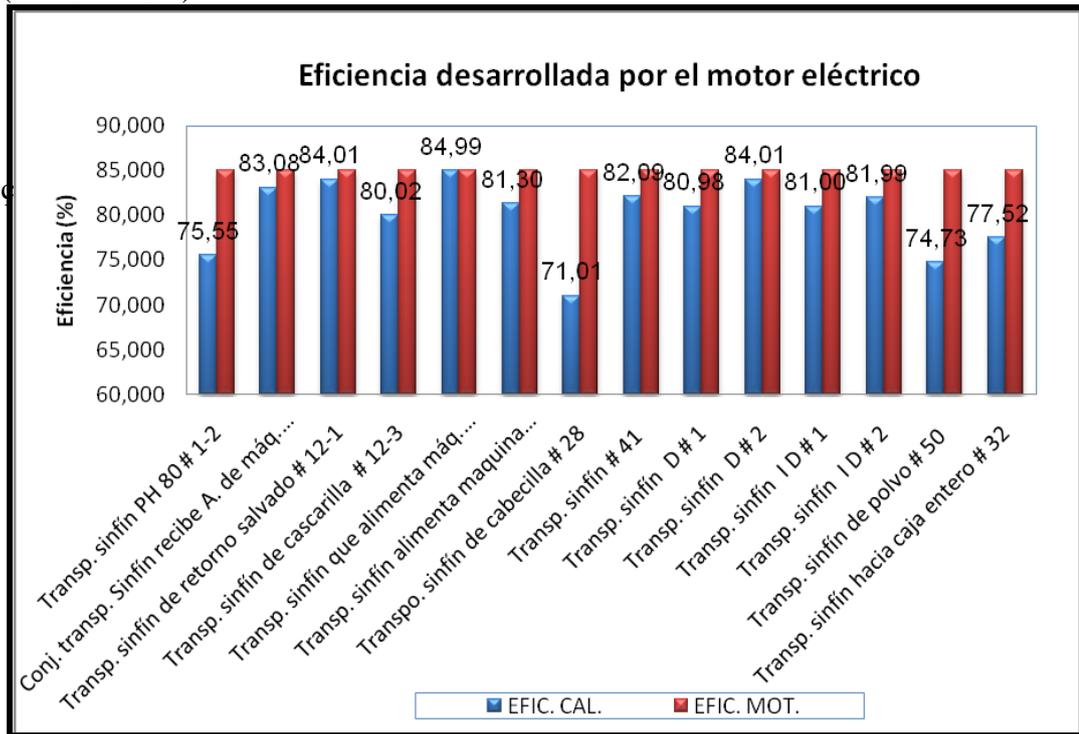
3.4 Evaluación de las Mediciones Energéticas y la Eficiencia Desarrollada por los Motores Eléctricos de los Transportadores Sin-Fin.

Como se muestra en el gráfico 3.4 las eficiencias desarrolladas por cada motor eléctrico de los transportadores sin-fin se encuentra por debajo de la seleccionada, según el fabricante para su funcionamiento 100 % de carga, esto indica que no se han estado realizando de forma eficiente los mantenimientos y reparaciones planificadas, trayendo como consecuencia el aumento de la corriente eléctrica y la disminución de tensión y el factor de potencia, ver tabla 7 anexos. Los valores de pérdidas de eficiencias más críticos los presentaron el transportador Sin-Fin PH 80 # 1-2 con un 9.45 %, el Conjunto transportador Sin-fin recibe arroz de máquina

separadora # 14 con un 8.92 %, el transportador sin-fin hacia caja arroz entero # 32 con un 10.48 % y el transportador sin-fin de polvo # 50 con un 13.27 % respectivamente.

GRÁFICO 3.4

RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DESARROLLADA POR LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LAS MÁQUINAS DE TRANSPORTE SIN-FIN CALCULADAS (EFIC. CAL.) Y LA DEL MOTOR SEGÚN FABRICANTE (EFIC. MOT).



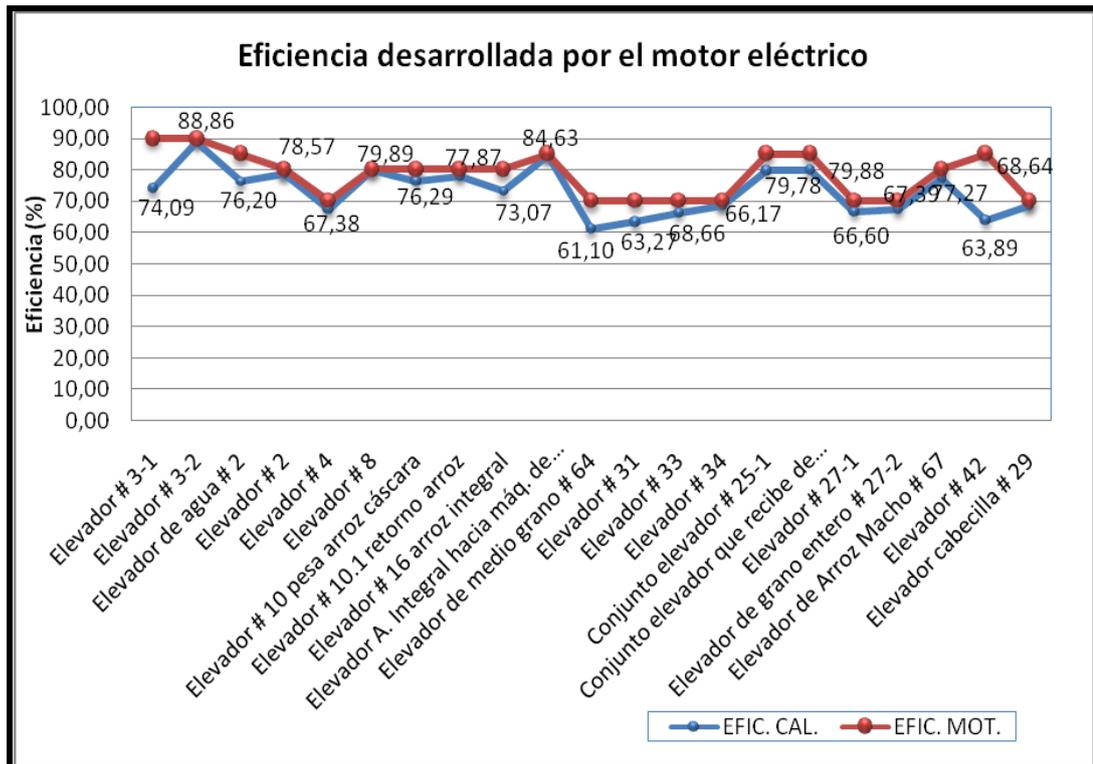
3.5 Evaluación de las Mediciones Energéticas y la Eficiencia Desarrollada por los Motores Eléctricos de los Transportadores de Cangilones.

Como se muestra en el gráfico 3.5 las eficiencias desarrolladas por cada motor eléctrico de los transportadores de cangilones se encuentra por debajo de la seleccionada, según el fabricante para su funcionamiento 100 % de carga, esto indica que no se han estado realizando de forma eficiente los mantenimientos y reparaciones planificadas, trayendo como consecuencia el aumento de la corriente

eléctrica y la disminución de tensión y el factor de potencia, ver tabla 9 anexos. Los valores de pérdidas de eficiencias más críticos los presentaron el transportador Elevador # 3-1 de arroz paddy con un 15.91 % y el transportador Elevador # 42 de arroz integral con un 21.11 % respectivamente.

GRÁFICO 3.5

RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DESARROLLADA POR LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LAS MÁQUINAS DE TRANSPORTE DE CANGILONES CALCULADAS (EFIC. CAL.) Y LA DEL MOTOR SEGÚN FABRICANTE (EFIC. MOT).



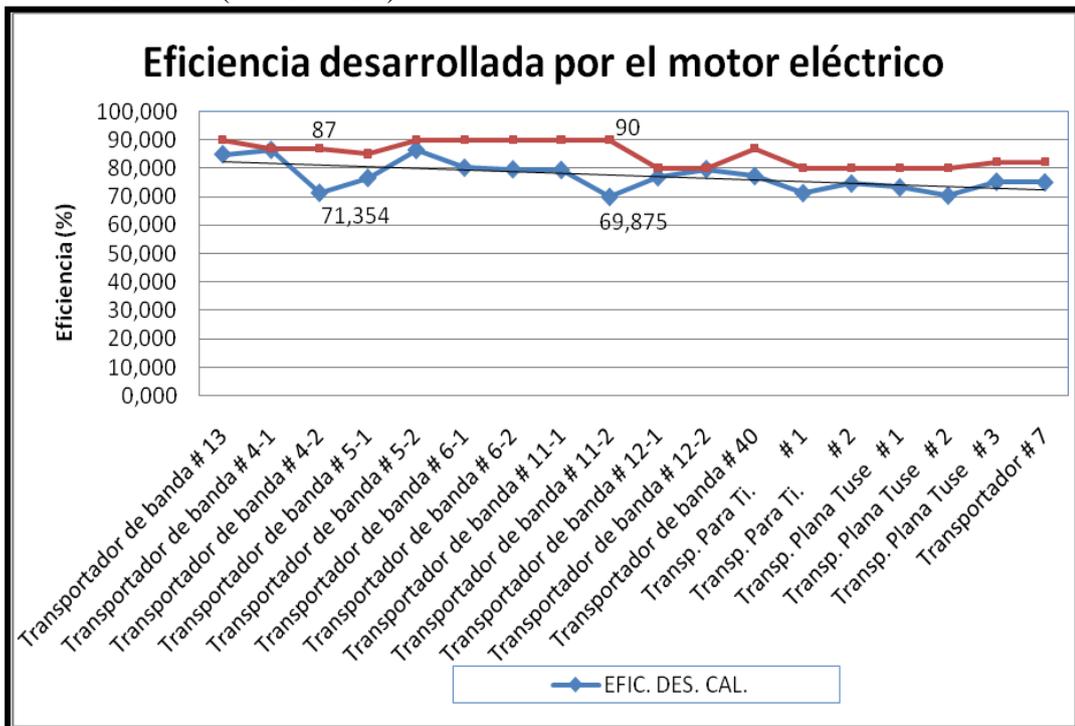
3.6 Evaluación de las Mediciones Energéticas y la Eficiencia Desarrollada por los Motores Eléctricos de los Transportadores de Banda.

Como se muestra en el gráfico 3.6 las eficiencias desarrolladas por cada motor eléctrico de los transportadores de banda se encuentra por debajo de la

seleccionada, según el fabricante para su funcionamiento 100 % de carga, esto indica que no se han estado realizando de forma eficiente los mantenimientos y reparaciones planificadas, trayendo como consecuencia el aumento de la corriente eléctrica y la disminución de tensión y el factor de potencia, ver tabla 9 anexos. Los valores de pérdidas de eficiencias más críticos los presentaron el transportador de banda # 4-2 con un 15.64 %, el transportador de banda # 6-2 con un 10.36 %, el transportador de banda # 11-1 con un 10.58 % y el transportador banda # 11-2 con un 20.12 % respectivamente.

GRÁFICO 3.6

RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DESARROLLADA POR LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LAS MÁQUINAS DE TRANSPORTE DE BANDA CALCULADAS (EFIC. CAL.) Y LA DEL MOTOR SEGÚN FABRICANTE (EFIC. MOT).



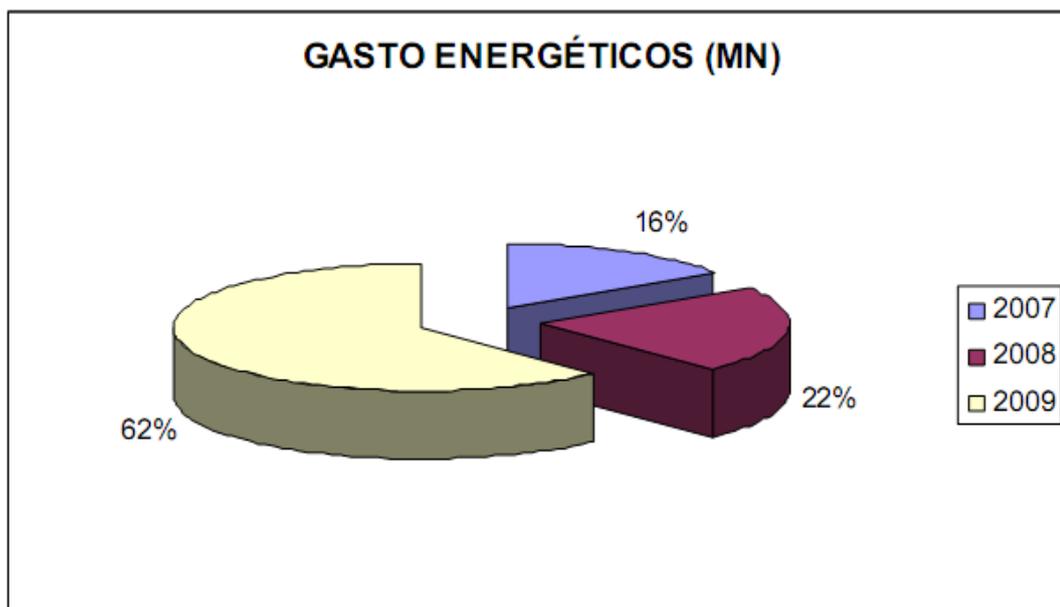
Valoración Económica

En el gráfico 4.1 se muestran los gastos de energía eléctrica de los años 2007, 2008 y 2009 respectivamente, donde se aprecia que los mismos van en acenso debido fundamentalmente por el aumento de la producción de arroz molido, la

deficiente calidad de la energía y las bajas eficiencias de los equipos (motores eléctricos).

GRÁFICO 4.1

COMPORTAMIENTO DE LOS COSTOS ENERGÉTICOS SEGÚN LOS AÑOS 2007,2008 Y 2009, DEL MOLINO DE ARROZ CAYAMA.



En la tabla 4.1 se muestra los gastos de energía eléctrica incurridos en el año 2009 donde \$ 25968.82 son producto a las penalizaciones por factor de potencia.

TABLA 4.1

GASTOS ENERGÉTICOS INCURRIDOS EN LOS AÑOS 2007, 2008 Y 2009 EN EL MOLINO DE ARROZ “CAYAMA”.

Año	GASTO ENERGÉTICOS (MN)
2007	12918
2008	18246
2009	60118,97

CONCLUSIONES.

1. Los motores eléctricos de las máquinas de transportadoras evaluadas poseen una eficiencia desarrollada por debajo de la eficiencia elegida por los fabricantes de estos a 100 % de carga.
2. La calidad de la energía eléctrica es deficiente debido fundamentalmente por la disminución de la tensión y el factor de potencia, así como el aumento de la intensidad de la corriente eléctrica y las energías reactivas.
3. La eficiencia de trabajo de los motores evaluados se considera regular, ya que en la mayoría de los casos están por debajo del 10 % de pérdida.

RECOMENDACIONES.

1. Instalar banco de capacitores para compensar las cargas por el aumento de las energías reactivas.
2. Cambiar motores de baja eficiencia de trabajo por motores de alta eficiencia.
3. Sustituir conductores en mal estado técnico.
4. Aplicar correctamente los mantenimientos planificados.

BIBLIOGRAFÍAS

1. Shubin V. S. & Pedre C. Diseño de máquinas industriales T. III. La Habana. Editorial pueblo y educación, 1986.- 364 p.-
2. Tarasob u. d. Construcción y cálculo de las máquinas y complejos de transporte. Naúka. Leningrado, 1980.- 225 p.-
3. Vasilieb k. A. & Nikolaieb A. K. Máquinas de transporte. Naúka. Sant-Peterburgo. 2003.- 358 p.-
4. Transporte neumático
<http://www.gruberhermanos.com/documentos/transporte%20neumatico.pdf>.
5. Transporte neumático velocidades promedio y volúmenes de aire para transporte de materiales
http://www.vriventilacion.com/industrial/pdf/cps_cpt_corel/transporte.pdf.
6. Temas de ingeniería para molineros de arroz.
<http://www.conarroz.com/pdf/14ingenieriaparamolinos.pdf>.
7. Informe técnico arroz pilado
www.seace.gob.pe/.../189912301652422radbf168.doc.
8. Mejoras en el proceso productivo y modernización mediante sustitución y tecnologías limpias en un molino de arroz
http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1810-99932007000100005&lng=pt&nrm=iso_pg_0001
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/816/81610105/81610105.html>.
9. Tornillo sinfín: definiciones y formulas
<http://www.baiz.net/es/formulasinfin.html>.
10. Perfeccionamiento del cálculo de las transmisiones por tornillo sin fin a las tensiones de contacto
<http://www.pucp.edu.pe/congreso/cibim8/pdf/05/05-39.pdf>
11. Principio de Arquímedes, espiral de Arquímedes, tornillo de Arquímedes, cráter de Arquímedes, montes de Arquímedes, rima o fisura de Arquímedes
<http://www.uhu.es/ceferino.parra/arquimedes.pdf>

12. Cálculo de transportador sinfín para aceituna
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3976/fichero/tomo+ii%252fv.8.c%e1lculo+de+transportador+sinf%edn+para+aceituna.pdf>.
13. www.monografias.com/trabajos64/construccion-transportadores-tolvas-laboratorios-ingenieria/construccion-transportadores-tolvas-laboratorios-ingenieria.shtml.
14. Copper development asociación inc. (asociación de desarrollo del cobre) publicación de PROCOBRE – Perú.
15. Guía práctica de cálculo: motores eléctricos. (fuente: OLADE – ICAITI).
16. Chapman, Stephen j. “máquinas eléctricas.”, McGraw-Hill.1995.-
17. Sanz j. Feito . “máquinas eléctricas”, prentice hall. 2002.-
18. [Capítulo 1 mejora del factor de potencia y filtrado de armónicos](http://es.wikipedia.org/wiki/factor_de_potencia) "http://es.wikipedia.org/wiki/factor_de_potencia".
19. Diferencias entre cos y factor de potencia. <http://quintoarmonico.no-ip.org/index.php?/archives/7-diferencias-entre-cos-y-factor-de-potencia.html>.
20. Hervas E., “Uso eficiente de la energía eléctrica para la reducción del índice de consumo en kilovatio-hora de producción en compañías cerveceras ambev ecuador”. Tesis de grado, escuela superior politécnica del litoral, facultad de ingeniería en electricidad y computación Guayaquil – ecuador. 2009. -
21. Donald, G. Fink y H. Wayne Beaty . Manual de ingeniería eléctrica, décima tercera edición, tomos I, II, MC GRAW HILL. 1993.-
22. INEE - instituto nacional de eficiencia energética, <http://www.inee.org.br>
23. Tecnología avanzada en sistemas energéticos, s.a. eficiencia energética aplicada, <http://www.energizaonline.com/es/>.
24. Ediagro LTDA . Molinería moderna de arroz equipos, Técnicas generales rev. agosto. 2006.-
25. Najar C., Álvarez j. mejoras en el proceso productivo y modernización mediante sustitución y tecnologías limpias en un molino de arroz. revista industrial data v.10 n.1 lima jan./jun. 2007. issn 1810-9993 versão on-line.formato pdf. 2007.-

26. Hidalgo, G. Manejo del arroz en la industria molinera: normas y procedimientos técnicos. empresa comercializadora de arroz s.a. lima, Perú. 1989.
-
27. Gonzales et al Aplicación del análisis de proceso en las investigaciones tecnológicas de la industria de papel. Congreso iberoamericano de la investigación del papel,2002.- 14 pág.-
28. Reglamento Técnico RTCR 406 Arroz en granza. Especificaciones y métodos de análisis para la comercialización e industrialización n° 34487. 2007.-
29. Edison, NJ., The dranetz field handbook for electrical energy management; dranetz technologies inc, 1992.-
30. Viego et al, "Temas especiales de sistemas eléctricos industriales". Texto básico. Universidad de Cienfuegos, 2006.-
31. De Armas, M.A., "curso breve en calidad de la energía eléctrica" instituto de ingeniería de Mexicali, México, 2004.-
32. De Dios, C. Alberto. Secado de granos y secadoras. Fao. Serie tecnología de postcosecha II, 1996.-
33. Flores, W. Procesamiento de productos tradicionales. Colegio universitario de Cartago. Cartago, costa rica, 1992.-
34. Hall y Salas. Equipo para el procesamiento de productos agrícolas. iica – oea. lima, Perú, 1970.-
35. Meyer, Paltrimieri y Bercijn. elaboración de productos agropecuarios editorial trillas. manuales para educación agropecuaria, México, 1987.-
36. EDIAGRO LTDA, 2006.- Molinería moderna de arroz equipos, técnicas generales agosto 2006 <http://www.conarroz.com/pdf/8molineriamoderna2.pdf>.
37. Transporte neumático velocidades promedio y volúmenes de aire para transporte de materiales
http://www.vriventilacion.com/industrial/pdf/cps_cpt_corel/transporte.pdf.
38. Temas de ingeniería para molineros de arroz
<http://www.conarroz.com/pdf/14ingenieriaparamolineros.pdf>
39. Tornillo sinfín: definiciones y formulas
<http://www.baiz.net/es/formulasinfin.html>.
40. Perfeccionamiento del cálculo de las transmisiones por tornillo sin fin a las tensiones de contacto <http://www.pucp.edu.pe/congreso/cibim8/pdf/05/05-39.pdf>05-39.pdf.

41. Cálculo de transportador sinfín para aceituna
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3976/fichero/tomo+ii%252fiv.8.c%e1lculo+de+transportador+sinf%edn+para+aceituna.pdf>.
42. Hervas E. “Uso eficiente de la energía eléctrica para la reducción del índice de consumo en kilovatio-hora de producción en compañías cerveceras ambev ecuador”. Tesis de grado, escuela superior politécnica del litoral, facultad de ingeniería en electricidad y computación Guayaquil – ecuador, 2009.-
43. Chapman, Stephen j. “Máquinas eléctricas.”, MCGRAW-HILL. 1995.-
44. J. Sanz Feito (2002). “Máquinas eléctricas”, PRENTICE HALL, 2002.-
45. Guía práctica de cálculo: motores eléctricos. (fuente: olade – icaiti).
46. Anuriev, V. S. “Manual del Constructor de Maquinarias”. En tres tomos. Editorial Mashinoestroenie. Moscú, 1982.-
47. Navarrete Pérez Editorial Pueblo y Educación, z, Enrique. “Mantenimiento Industrial”. Tomo II, (Ciudad Habana): Editorial Pueblo y Educación, 1986.-
48. Navarrete Pérez, Enrique. “Mantenimiento Industrial”. Tomo II, (Ciudad Habana): Editorial Pueblo y Educación, 1988.-
49. Oriol Guerra, José M. “Conferencia de Máquinas Transportadoras”, (Ciudad Habana): Editorial Pueblo y Educación, 1988.-
50. Oriol Guerra, José M. “Máquina Transportadora” (Ciudad Habana): Editorial Pueblo y Educación, 1993.-
51. Oriol Guerra, José M. “Máquinas de transporte continuo” Tomo I, (Ciudad Habana): Editorial Pueblo y Educación, 1988.-
52. Reshetov, D. “Elementos de Máquinas”. Uneshtorgizdat, Moscú, 1991.-
53. Ustinienko, B. N. “Fundamentos del diseño de elementos de máquina”. Bishaskola. Jarkov, 1983.- 184 p.-
54. Shubin, V:S: “Diseño de Maquinaria Industrial”. Tomo II ,(Ciudad Habana): Editorial Pueblo y Educación, 1984.-