



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Eléctrico.

TÍTULO: Determinación del Comportamiento del Consumo específico de Energía en el Proceso de Molienda de la Empresa “Cmdte. René Ramos Latour” de Nicaro.

Diplomante: Yunior Arias Ledesma

Tutores Dr. Reynaldo Laborde Brown
Ing. Alberto Reyes Sablón

Declaración de autoridad

Yo: Yunion Arias Ledesma

Autor de este trabajo de Diploma tutorado por el Ing. Alberto Reyes Sablón y el Dr. Reynaldo Laborde Brown certifico la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

Yunion Arias Ledesma
(Autor)

Ing. Alberto Reyes Sablón.
(Tutor)

Dr. Reynaldo Laborde Brown
(Tutor)



Pensamiento.

“ Las creaciones del avance del mundo y el futuro pertenecen a aquellos que se adentran en las oportunidades ante de que estas sean evidentes. ”

Albert Einstein.

Dedicatoria

Dedico mi trabajo de diploma en primer lugar a mi familia, a quien me han apoyado a lo largo de toda mi vida y que son los que en realidad son merecedores de este logro tan importante en mi vida.

Muy especial a mis padres Maritza Ledesma Acanda y Rafael Ricardo Arias Hernández, a quienes siempre estaré agradecido por todo el apoyo y la confianza por ser ellos los inspiradores y la fuerza inagotable para la culminación de este trabajo y con ello el inicio de mi nuevo proyecto de vida como profesional al servicio de la revolución.

A todos mis amigos por su apoyo por la confección de este trabajo.

Yunior Arias Ledesma

Agradecimiento

Agradezco a la Revolución por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

Un agradecimiento especial a mis padres Rafael Ricardo Arias Hernández y Maritza Ledesma Acanda que tanto se han esforzado para que yo pudiera llegar hasta aquí.

A mi familia que me apoyaron durante el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a mis compañeros y amigos que me han servido de apoyo espiritual y siempre estuvieron dispuestos a darme la mano para que mi trabajo fuera exitoso.

Gracias a los compañeros de la Empresa "Comdte Rene Ramos Latour " Nicaro quienes me brindaron toda la ayuda que necesite con la información y por la colaboración en la conformación de este proyecto.

También agradecer a los profesores y tutores por toda la ayuda, sus conocimientos y por la confianza depositada en el éxito de este trabajo.

Resumen

En el presente trabajo de diploma se realiza un estudio sobre la determinación del comportamiento del consumo específico de energía en el proceso de molienda de la Empresa Cmdte Rene Ramos Latour de Nicaro. El objetivo fundamental fue determinar el consumo de energía en los molinos A y B y los Ventiladores del Sepol A y B, equipos que se instalaron en la empresa en el año 1998 que aunque es tecnología de punta no dejan de explotarse ineficientemente. La metodología a seguir que utilizamos para desarrollar la investigación radica en análisis estadístico empleado por Microsoft Excel a través de curvas. El consumo de energía tiende a disminuir. Si se logra aminorar el consumo específico de electricidad de los molinos y los ventiladores Sepol se obtendrán beneficios económicos para la empresa.



SUMMARY

Presently diploma work is carried out a study on the determination of the behaviour of the specific consumption of energy in the process of mill of the Company Cmdte René Ramos Latour of Nicaro

. The fundamental objective was to determine the energy consumption in the mills TO and B and the Fans of the Sepol TO and B, teams that settled in the company in the year 1998 that although it is tip technology they don't stop to be exploited inefficiently. The methodology to continue that we use to develop the investigation it resides in statistical analysis used by Microsoft Excel through curved. The energy consumption spreads to diminish. If it is possible to reduce the consumption I specify of electricity of the mills and the fans Sepol economic benefits they will be obtained for the company.

TABLA DEL CONTENIDO.

No.	Contenido	Pág.
1	Introducción	1
2	Objetivo del Trabajo	2
3	Objetivo Específico	2
4	Formulación del Problema	2
5	Hipótesis	2
6	Resultados Esperados	2
7	Tareas de Investigación	3
8	Análisis Bibliográfico	3

CAPÍTULO 1 Marco Teórico Conceptual

No.	Contenido	Pág.
1.1	Breve reseña histórica de la Empresa “Cmdte René Ramos Latour”	4
1.2	Fundamentación teórica	5
1.2.1	Molinos	5
1.2.2	Movimientos de la carga de bolas	5
1.2.3	Partes Principales de un molino	7
1.2.4	Factores que afectan la eficiencia de molienda	8
1.2.5	Volumen del llenado del molino	8
1.2.6	Circuito cerrado de molienda y clasificación	9
1.2.7	Ventilador del Sepol	10
1.2.8	Conclusiones	17

CAPÍTULO 2 Métodos y Materiales

No.	Contenido	Pág.
2.1	Introducción	18
2.2	Descripción del proceso tecnológico de la Empresa “Cmdte René Ramos Latour”	19
2.3	Diseño de investigación	24
2.4	Materiales y Equipos	25
2.5	Técnica Experimental	31
2.6	Conclusiones	35

Capítulo 3 Resultados

No.	Contenido	Pág.
3.1	Introducción	36
3.2	Resultados	37
3.2.1	Consumo de energía eléctrica del SEN por áreas de los meses abril y mayo/2011	37
3.2.2	Distribución en por cientos (%) del consumo promedio de electricidad del SEN por áreas	38
3.3	Análisis general de las características física –química del mineral alimentado a los molinos A y B	39
3.3.1	Composición físico –química del mineral que se alimenta a los molinos A y B	39
3.4	Comportamiento Energético del consumo específico (We) con respecto a la Productividad (Q)	41
3.4.1	Comportamiento del Consumo Específico de Energía (We) vs Productividad (Q) del Molino A por turno de trabajo	41
3.4.2	Comportamiento del Consumo Específico de Energía (We) vs Productividad (Q) del Molino B por turno de trabajo	43
3.5	Comportamiento de las Potencia Promedio Diaria de los Molinos y los Ventiladores	45
3.5.1	Comportamiento de la Potencia Promedio de los molinos A y B y los Ventiladores A y B por Turnos de Trabajo	46
3.6	Alimentación desde el SEN a la Empresa del Níquel "Cmdte René Ramos Latour	51
3.6.1	Subestación La Pasa: Entrada de la ECRRL	51
3.7	Análisis de los resultados	52
	Valoración Económica para el Molino A y Molino B	52
3.9	Análisis Económico en función del Consumo Específico de Energía Eléctrica (We) y la Productividad (Q)	53
3.10	Conclusiones	56
	Recomendaciones	58
	Referencias Bibliográficas	59
	Anexos	



1.1 Introducción general.

La gestión energética es un objetivo fundamental en la labor empresarial de nuestro país, teniendo en cuenta el propósito del uso racional de todas las formas de energías como consecuencia de los altos precios de los combustibles en el mercado internacional, aspecto este que se agrava en nuestro caso por las condiciones de nuestro país y económicamente bloqueado por la mayor potencia económica y militar del mundo. Han sido numerosos los llamados de las altas direcciones de nuestro país para cada empresa, instituto social, vivienda etc. se toman las medidas de ahorro de energía por cuanto las condiciones internacionales no favorecen la adquisición de los combustibles necesarios para el desarrollo intenso de todas las actividades que hoy demanda nuestra sociedad. Mediante el contacto con el personal que trabaja en el área de los molinos nos percatamos de que no existe una planificación de la disminución de consumo de los diferentes portadores, aunque si se controlan, lo cual permitiría realizar una estrategia para lograr una disminución paulatina del consumo de estos necesarios recursos. Desde nuestra óptica investigativa consideramos que con la realización de un estudio de los equipos consumidores energéticos como los molinos y ventiladores revertiría la situación actual en torno al uso racional de la energía





Objetivo del trabajo

Determinar el comportamiento del consumo específico de energía en el proceso de molienda y en los principales agregados electromecánicos asociados a este proceso.

Objetivos específicos:

- 1-Obtener las características energéticas experimentales de cada uno de los molinos de bolas.
- 2-Obtener las características energéticas experimentales de cada uno de los ventiladores asociados al proceso de molienda.
- 3-Determinar el consumo específico de energía promedio actual del proceso de molienda y su comportamiento.

Formulación del Problema

Con la actual investigación, es la posibilidad de establecer un control mas seguro y eficiente de los portadores energéticos en la unidad de molienda, así como la planificación y reducción de los gastos por un control objetivo de estos, obtener y comparar los datos actuales de los recursos de la planta y planificar correctamente el consumo para lograr una mayor eficiencia en esta área de la empresa.

Hipótesis:

Realizando una investigación aplicando métodos estadísticos sobre la influencia que puede tener en el consumo específico de energía en el proceso de moliendas factores tales como: el por ciento de humedad la características del mineral. Y granulometría inicial de entrada a los molinos. Se podía hacer una fundamentación técnica de utilidad de un mejor control y mejoramiento del indicador Consumo específico de Energía Eléctrica.

Resultados Esperados:

- 1-Informe detallado con los resultados obtenidos sobre el estudio del comportamiento del consumo específico de energía en el proceso de molienda, desglosado por cada uno de los principales agregados electromecánicos que intervienen en el proceso (molinos y ventiladores).
- 2-Conjunto de recomendaciones para el control y disminución del consumo específico de energía en el proceso de molienda.





Tareas de investigación

- 1-Investigación bibliográfica
- 2-Levantamiento de todo el equipamiento eléctrico perteneciente al proceso de molienda.
- 3-Medición de las principales magnitudes eléctricas del equipamiento electromecánico asociado al proceso de molienda.
- 4- Obtención de la base de datos y procesamiento de la información.

Análisis bibliográfico

Para obtener algunos elementos de procedimientos y técnica experimental consultamos 3 trabajos de investigación realizada en el área de molienda dos de ellos realizados en la Empresa “Cdte. Rene Ramos Latour” y uno en la Empresa “Cdte. Ernesto Che Guevara” de Moa.

En el primer trabajo, es el mejoramiento del sistema de control automático de los molinos de bolas de una cámara existente en ese momento. Un trabajo muy bueno desde el punto de vista técnico. Con este trabajo se logro hacer más eficiente la operación en estos molinos, pero no se determino el comportamiento del consumo específico de los molinos y ventiladores, que es el objetivo fundamental de nuestro trabajo aplicado a los molinos de otra tecnología (doble cámara).

En el segundo trabajo, Gonzáles realiza un análisis del comportamiento energético de una unidad de molienda, este análisis se realiza con determinación de las características energéticas del molino y ventilador de circulación antes y después de añadirles las bolas. Gonzáles cumple con el objetivo fundamental del trabajo, pero con los resultados obtenidos no podemos hacer un análisis profundo del proceso de molienda.

Otro trabajo de diploma consultado en la Empresa “Cdte. Ernesto Che Guevara” de Moa del año 2002 el autor fue Carlos Manuel Rojas y realizo una simulación del proceso de molienda de la laterita a escala de laboratorio e industrial. Realmente en este trabajo no se trato el comportamiento energético de este proceso que es el tema que se desarrollara.





CAPÍTULO 1 Marco Teórico Conceptual

1.1 Breve reseña histórica.

En Marzo de 1942 comenzó la construcción en Nicaro de la primera planta de obtención de Níquel a partir de las lateritas. El motivo de la construcción de la fábrica fue el aumento de la demanda del Níquel como metal estratégico para la Segunda Guerra Mundial. La puesta en marcha y la primera producción de óxido de Níquel se produjo en diciembre de 1943.

Al terminar la S.G.M., al bajar el precio del Níquel, la planta fue cerrada en marzo de 1947.

Al producirse la guerra en Corea en 1951, se rehabilitó la planta y reinició su operación en 1952.

En los años 1955 a 1956, la planta fue ampliada un 75 % la capacidad inicial de diseño, para hacer la operación económicamente atractiva.

En septiembre de 1960 la planta es nacionalizada, pasando a manos del estado cubano a partir de 1976 se inició un proceso de rehabilitación tecnológico general de la planta, con el objetivo de efectuar la reparación y modernización total de los equipos fundamentales.

En el año 1977 se efectúan una serie de estudios en laboratorios de un centro de investigaciones en La Habana, para definir una tecnología para la separación del Cobalto. Los resultados se aplicaron en pruebas a escala piloto en Nicaro para construir luego una planta demostrativa y construir una planta de separación a escala industrial.

En 1981 se adquiere una nueva unidad de molienda (la Nro. 7).

En 1982 la planta alcanza la mayor producción de su historia.

A partir de 1983 se comienza la separación del Cobalto con una instalación provisional diseñada y construida en Nicaro.

En 1996 se comienza a aplicar petróleo aditivo al mineral en la Planta de Preparación de Mineral, posterior al secado y antes de la molienda, con lo cual se hace posible eliminar la Planta de Gas para el gas reductor de los hornos de reducción.

También en 1996 se moderniza completamente la Planta de Hornos quedando sólo 11 hornos de los 22 que existían, a los cuales se les aplica la tecnología de avanzada PRIOR. Paralelamente se le moderniza el sistema de transporte neumático desde Silos a las tolvas de los hornos.





En junio de 1988 entra en operación una Nueva Planta de Molienda que sustituye totalmente a la antigua planta, quedando de ella en operación sólo la Unidad Nro. 7, junto a las 2 nuevas unidades de tecnología de doble cámara de molienda.

Como podemos ver, a lo largo de la historia de la fábrica, se ha efectuado un trabajo de ampliación, rehabilitación y modernización, introduciéndose en ella los logros de la ciencia y la técnica.

1.2 Fundamentación Teórica.

1.2.1 Molinos

La molienda es la última etapa del proceso de comunicación, en esta etapa las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto y abrasión ya sea en seco o como una suspensión o como una suspensión en agua (pulpa). La molienda se realiza en molinos de forma cilíndrica que giran alrededor de su eje horizontal y que contiene una carga de cuerpos sueltos de molienda conocidos como “medios de molienda”, los cuales están libres para moverse a medida que el molino gira produciendo la conminación de las partículas del mineral. En el proceso de molienda partículas de 5 a 250 mm son reducidas en tamaño a 10 -300 micrones, aproximadamente, dependiendo del tipo de operación que se realice.

El propósito de la operación de molienda es ejercer un control estrecho en el tamaño del producto y por esta razón frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de una buena recuperación de la especie útil. Por supuesto, una submolienda de mineral resultara un producto que es demasiado grueso y una sobre molienda innecesaria reduce el tamaño de partículas del constituyente mayoritario (generalmente la ganga) y puede reducir el tamaño de partículas del componente minoritario (generalmente el mineral valioso) bajo el tamaño requerido para la separación mas eficiente. Además se pierde mucha energía, que es cara, en el proceso. Es importante destacar que la molienda es la operación mas intensa de energía del proceso del mineral.

1.2.2 Movimiento de la Carga en Molinos.

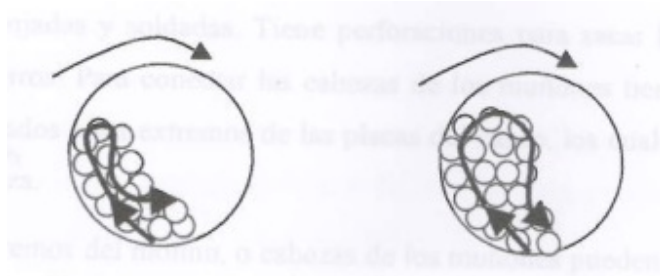
Una característica distintiva de los molinos rotatorio es el uso de los cuerpos de molienda que son grandes y pesados con la relación a las partículas de mineral, pero pequeñas con relación al volumen del molino, y que ocupan menos de la mitad del molino.



Cuando el molino gira, los medios de molienda son elevados en lado ascendente del molino hasta que se logra una situación de equilibrio dinámico donde los cuerpos de molienda caen en cascada y en catarata sobre la superficie libre de los otros cuerpos, alrededor de una zona muerta donde ocurre poco movimiento hasta el “pie” de la carga del molino, como se ilustra en la figura:

- a) Rotación alrededor de su propio eje.
- b) Caída en cascada, donde los medios bajan rodando por la superficie de los otros cuerpos como muestra en la figura 1a.
- c) Caída en catarata que responde a la caída libre de los medios de molienda sobre el “pie” de la carga como se muestra en la figura 1b.

Figura 1.1



La magnitud del levantamiento que sufren los medios de molienda depende de la velocidad de rotación del molino y de revestimiento del molino. A velocidades relativamente bajas o con revestimiento liso, los medios de molienda tienden a rodar hacia el pie del molino y la comunicación que ocurre es principalmente abrasiva. Esta caída en cascada produce molienda mas fina con gran producción de polvo y aumento del desgaste del revestimiento. A velocidades mayores los cuerpos de molienda son proyectados sobre la carga para describir una serie de parábolas antes de aterrizar en el “pie” de la carga. Esta caída en catarata produce comunicación por impacto y un producto más grueso con menos desgaste de revestimiento.



La velocidad crítica del molino es la velocidad mínima a la cual la capa exterior de medios de molienda se adhiere a la superficie interior del cilindro debido a la fuerza centrífuga. A esta velocidad la fuerza centrífuga es justo balanceada por el peso de los medios de molienda. Normalmente el rango de trabajo es entre 70 a 80% de la velocidad crítica.

Estructura cada tipo de molino consiste de un casco cilíndrico, con revestimientos renovables y una carga de medios de molienda. El tambor es soportado en muñones huecos fijos a las paredes laterales de modo que pueda girar en torno a su eje. El diámetro del molino determina la presión que puede ejercer el medio en las partículas de mineral y mientras mayor es el tamaño de la alimentación mayor necesita ser el diámetro. La longitud del molino, junto con el diámetro, determina el volumen y por consiguiente la capacidad del molino.

1.2.3 Partes Principales de un Molino

Casco: El casco del molino está diseñado para soportar impactos y carga pesada y está construido de placas de acero forjadas y soldadas. Tiene perforaciones para sacar los pernos que sostienen el revestimiento. Para las cabezas de los muñones tiene grandes flanges de acero generalmente soldados a los extremos de las placas del casco, los tienen perforaciones para apenarse a la cabeza.

Extremo: Los extremos del molino, o cabezas de los muñones pueden ser hierro fundido gris o nodular para diámetros menores de 1m. Cabezas más grandes se construye de acero fundido, el cual es relativamente liviano y puede soldarse.

Revestimientos: La forma del revestimiento es de mucha importancia al hora de determinar la forma de la molienda. Existen diversos tipos de revestimientos las cuales se combinan en diferentes partes del molino, en dependencia del tipo de mineral que ingresa en la zona de molienda.

En la zona anterior del molino (primera cámara de molienda) el revestimiento es levitador, caracterizado por el perfil alto del mismo, con el objetivo de comunicar mayor energía a la carga



de bolas e intensificar el régimen de catarata, mejorando el trabajo de molienda para las partículas de mayor tamaño.

En la zona posterior del molino (ó segunda cámara), el revestimiento tiene un perfil más bajo ó es ondulado con el objetivo de que predomine el régimen de cascada. En los molinos de doble cámara el revestimiento tiene la característica de clasificar las bolas según su tamaño, de mayor a menor en dirección a la descarga del molino, de esta forma se logra mejorar la movilidad del mineral a lo largo del molino y elevar la efectividad de la molienda.

1.2.4 Factores que Afectan la eficiencia de la Molienda.

Varios factores afectan la eficiencia del molino de bolas. Entre ellos se encuentra el material a triturar, el por ciento de humedad del mineral con que llega a este, el deterioro de las bolas, Grosor del producto grado de desmenuzamiento del mineral.

La eficiencia de la molienda depende del área superficial del medio de molienda. Luego las bolas deberían ser lo mas pequeña posible y la carga debería ser distribuida de modo tal que las bolas mas grandes sean justo lo suficientemente pesada para moler las partículas mas grandes y mas duras de la alimentación. Una carga balanceada consistirá de un amplio rango de tamaño de bolas y las bolas nuevas agregada al molino generalmente del tamaño más grande requerido. Las bolas muy pequeñas dejan el molino con el mineral molido.

1.2.5 Volumen del llenado del molino.

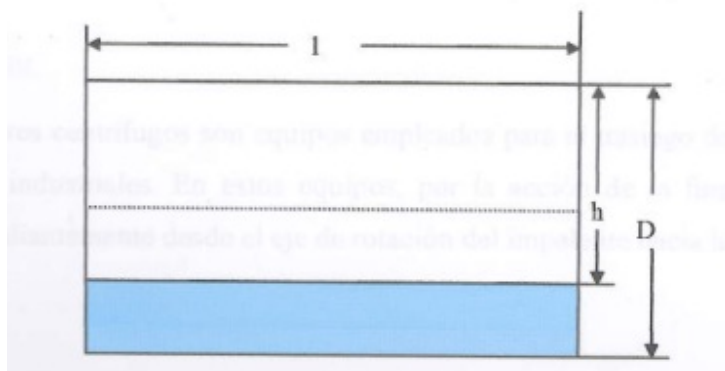
El volumen o nivel de las cargas de bolas esta relacionada con la dureza del mineral y tonelaje de alimentación que puede tratar el molino para un mismo grado de molienda. Por ejemplo, un aumento del tonelaje a tratar involucrar un menor tiempo de residencia, lo que se compensa con una mayor carga de bolas, a fin de aumentar la probabilidad de contacto entre las bolas y mineral. Lo mismo sucede frente a un mineral que representa una mayor dureza.

La carga de bola de expresa usualmente como un porcentaje del volumen del molino que es ocupado por las bolas. El calculo de la fricción o nivel del llenado para un molino en forma cilíndrica puede hacerse una vez que se conoce la altura desde la superficie de la carga hasta el tope del molino. Denominamos h la altura y d el diámetro interno del molino, como tal se muestra en la figura:





Figura 1.2



El volumen del molino ocupado por la carga está dado por el área del segmento achurado multiplicado por el largo interno del molino y la relación matemática con la que se determina el % del llenado de bolas :

$$\% \text{carga bolas} = 113 - 126 \cdot h/d$$

Normalmente los molinos con descarga por rebalse operan con un volumen aparente de 45 a 50 % del volumen total del molino, realizando carguios periódicos para recuperar aquellas gastadas durante la operación de molienda.

1.2.6 Circuito Cerrado de Molienda y Clasificación

La molienda en circuito cerrado es el más común para los procedimientos de minerales. Este tipo de circuito consiste en uno o más molinos y clasificadores, produciendo en forma eficiente un producto con un tamaño máximo controlado y con un mínimo de material sobre molido.

El material molido que descarga el molino es separado por el clasificador en una fricción fina y una gruesa. En la operación en circuito cerrado no se intenta alcanzar toda la reducción de tamaño en una pasada por el molino. Por el contrario el énfasis se concentra en tratar de sacar el material del circuito tan pronto alcanza el tamaño requerido.



El material retornado al molino por el clasificador se conoce como la carga circulante y su peso se representa como porcentaje del peso de alimentación nueva al circuito.

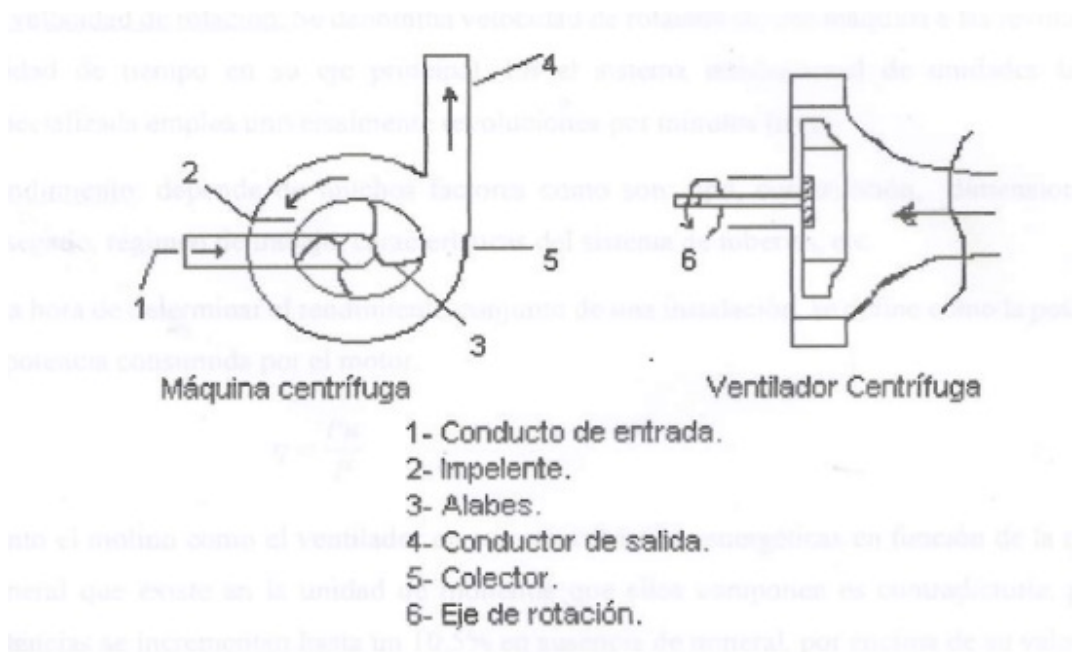
La molienda en circuito cerrado disminuye el tiempo de residencia de las partículas en cada paso por el molino y también la proporción del material fino en el molino comparado con molienda en circuito abierto. La sobre molienda del material se trata de evitar en general para minimizar la producción de partículas excesivamente finas que frecuentemente interfieren con los procesos de recuperación del metal.

1.2.7 Ventilador del Sepol

Los ventiladores centrífugos son equipos empleados para el trasiego del aire, gases o partículas en instalación industrial. En estos equipos, por la acción de la fuerza centrífuga el fluido es desplazado radiante desde el eje de rotación del impelente hacia la periferia. Durante este recorrido, los alabes del impelente le transmiten energía en forma de presión y velocidad al fluido.

Parte de esta última es transformada en presión en el colector que le rodea al impelente ya que altas velocidades provocan pérdidas por fricción y disminuye la eficiencia del equipo.

Figura 1.3 Esquema de las partes que conforman el ventilador.



Los principales parámetros que permiten caracterizar el equipo centrífugo son:

- La carga (H)
- La capacidad (Q)
- La velocidad de rotación (n)
- El rendimiento (η)

La carga: Es uno de los parámetros que caracteriza la cantidad de energía que la máquina le transmite al fluido al pasar por el, por lo tanto corresponde numéricamente igual a la diferencia entre la energía que posee el flujo a la salida y la que poseía al entrar a esta.

La Capacidad: Se define como el volumen que es capaz de entregar la máquina por unidad de tiempo a través de los conductos de descarga. Este volumen se expresa en función de los parámetros de presión y de la temperatura del fluido de la sección de la máquina, o referido a condiciones de referencia establecida previamente.



La velocidad de rotación: Son las revoluciones por unidad de tiempo en su eje principal. En el sistema internacional de unidades la literatura especializada emplea universalmente revoluciones por minutos (rpm).

Rendimiento: Depende de muchos factores como son: construcción, dimensiones, fluido, trasegó, régimen de trabajo, características del sistema de tuberías, etc.

A la hora de determinar el rendimiento conjunto de una instalación, se define como la potencia útil y la potencia consumida por el motor.

$$\eta = \frac{P_u}{P}$$

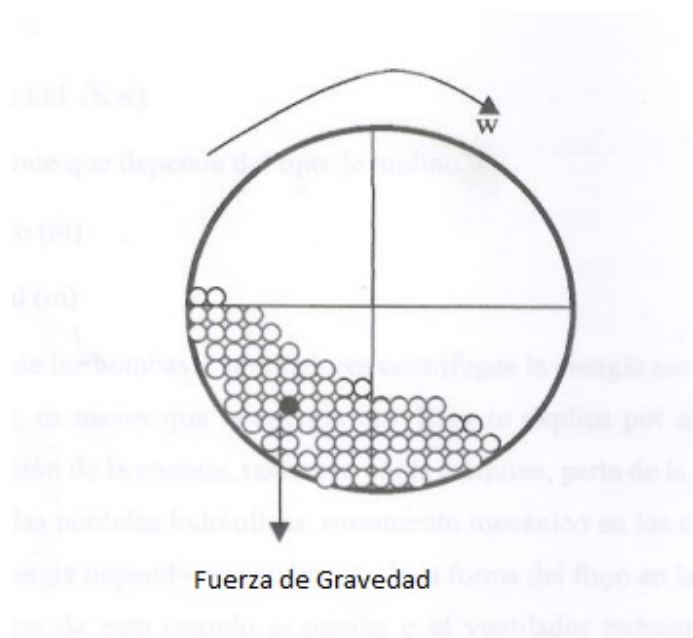
Tanto el molino como el ventilador en sus características energéticas en función de la cantidad de mineral que existe en la unidad de molienda que ellos componen es contradictoria, porque sus potencia se incrementa hasta un 10,% en ausencia del mineral, por encima de su valor medio de trabajo, por esta contradicción tienen explicación valida y es fundamental, cuando no existe mineral el ventilador aumenta su gasto volumétrico debida a que tendrá que desplazar una mayor cantidad de aire, en un volumen mayor por esta ausencia de mineral, por lo que el trabajo del motor será a plena carga con un consumo de energía grande, no así cuando hay mineral, que este solo crea una turbulencia para sacar el mineral del molino y su potencia es promedio.

El molino por otra parte crece su consumo energético con la poca presencia de mineral en el sistema debido al cambio de la situación dinámica que se produce entre las masas de bolas y el tambor del molino en uno y otro caso.

Por esto caso es conveniente y necesario evitar que las unidades de molienda trabajen sin mineral aun por un corto tiempo para que sea aprovechada la energía eléctrica de forma más racional.

En los molinos de bolas existen varios parámetros técnicos y operativos que hay que ser riguroso cuando se trabajen con ellos porque cualquier desviación con respecto a las recomendaciones del fabricante inciden directamente sobre el consumo de energía y por tanto en la eficiencia del mismo. Por ejemplo, el llenado de las cargas de bolas debe de estar alrededor del 40-50% del volumen del tambor y de diferentes tamaños. En caso de estar por debajo de estos valores el consumo de energía aumentaría ya que el centro de gravedad de la carga estaría más cerca de la periferia y la fuerza desarrollada por el hacinamiento principal sería mayor. Observe en la siguiente figura:

Figura 1.4



En caso que el molino por alta humedad en el mineral u otra variación de sus características se embote, pues bajaría el consumo de energía producto a que la fuerza de gravedad sería más hacia el centro por lo que la eficiencia de la molienda sería baja. A medida que la productividad del molino esté en los valores de su capacidad máxima el consumo específico de energía sería menor.



La potencia útil del molino de bolas va ser proporcional a la frecuencia de rotación del tambor. Por otra parte se dice que una velocidad de rotación permanente y con un grado determinado de su llenado de bolas, el molino consume la misma potencia independiente de la cantidad del mineral que se alimente en una unidad de tiempo, es decir el % de llenado de la cámara prácticamente se mantiene permanente y el centro de gravedad de la carga de la carga no cambia su posición con respecto al eje del molino y por consiguiente la potencia conserva su valor constante.

La energía consumida por el molino va crecer a medida que se desgaste el revestimiento a causa del aumento del diámetro de trabajo del tambor, de aquí se deduce que estos dos parámetros van a ser proporcionales, es decir, a medida que el diámetro del tambor sea mayor pues mayor sería la potencia consumida.

La potencia útil del molino en dependencia de sus dimensiones se determina según la fórmula:

$$P = K \times D \times L$$

Donde:

P-Potencia útil (KW)

K-Coeficiente que depende del tipo de molino

D-Diámetro (m)

L-Longitud (m)

En el caso de las bombas y el ventilador centrífugo la energía suministrada por el motor al árbol de la máquina, es mayor que la energía útil. Esto se explica por el hecho de que en el proceso de la transformación de la energía, realizado por la máquina, parte de la energía se pierde inevitablemente a causa de las pérdidas hidráulicas, rozamiento mecánico en los cojines y las empaquetaduras. El gasto de energía depende esencialmente de la forma del flujo en las cavidades de la máquina. Como consecuencia de esto cuando el ventilador trabaja prácticamente en vacío surgen corrientes torbellinos en el interior, las cuales requieren de un mayor gasto de energía, de trabajar con la máxima carga pues ocurriría todo lo contrario.





La potencia que la máquina del ventilador entrega al fluido se denomina potencia útil (P_u) y se determina por la siguiente expresión:

$$P_u = \frac{\rho \times G \times Q \times H}{1000} = \frac{Q \times P \times \rho}{1000} (Kw)$$

Donde:

Q-Gasto real que entrega la máquina (m³/s)

H-Carga real de la máquina (m)

ρ - Densidad de fluido (Kg/m³)

g-Aceleración de la gravedad (m/s²)

P-Presión creada por la máquina (pa)

Productividad se habla del KWh. Generado, se entiende como el producto final; cuando se encuentra la productividad del KWh., se refiere al resultado posterior a un procedimiento de estudio e investigación ceñido a una metodología con base en indicadores confiables, donde se debe tener en cuenta la calidad del producto como parte del proceso en análisis. Al hallar la productividad, se descubre explícita la definición de calidad, pues no se trata de “producir por producir”, sin tener como base unas reglamentaciones y procedimientos acordes con el producto final.

No se puede hablar de productividad sin asociarlo a la calidad del producto, que para la generación de energía tienen en cuenta la disponibilidad de las centrales, sobre todo en las horas críticas (horas pico) donde la demanda se acrecienta y el usuario final (o Sistema de Transmisión Nacional) requiere una cantidad determinada, que las centrales deben despachar consecuentemente.

Se define productividad como la relación entre el producto generado y los factores productivos utilizados para ello. Considerando esa definición general del concepto de productividad, es posible medir la productividad de los molinos en particular a través de indicadores de



productividad. Si se quiere escribir en términos matemáticos, el indicador más simple y general para escribir la productividad sería el siguiente:

$$\text{Productividad}(Q) = \frac{\text{Cantidad de mineral}(T)}{\text{Tiempo de producción}(H)}$$

La información de la calidad de mineral que entra a los molinos fue tomada a través de una pesa romana ubicada en la entrada del mismo.

Luego para el cálculo del consumo específico de energía conociendo el factor de productividad tenemos que:

$$W_E = \frac{W}{Q} (Kwh / t)$$

Donde: We: Consumo específico de energía

W: Consumo de energía (Kwh.)

Q: Productividad (t/h)

Teniendo la productividad (Q) de las unidades de molienda y el consumo específico de energía (We) podemos determinar la característica energética, que no es más que la relación entre ambas variables y que gráficamente nos daría una curva para hallar la correlación existente.



1.2.8 Conclusiones.

En este capítulo confeccionamos el esquema metodológico de la investigación para el desarrollo exitoso de nuestro trabajo, en el cual se hace referencia del objeto de la tesis y los objetivos específicos, así como la elaboración de las tareas encaminadas a dar respuesta a estos objetivos. Realizamos una breve descripción del proceso tecnológico de las plantas con mayor importancia hasta terminar con la planta de preparación del mineral de la empresa donde se analiza profundamente su flujo tecnológico.

Se describe las características de los Molinos de Bolas y los Ventiladores Centrífugos, además hicimos un breve comentario de la reseña histórica de la Empresa Cmdte. “Rene Ramos Latour”.





CAPÍTULO 2 Métodos y Materiales

2.1 Introducción

Partiendo del primer capítulo que es la metodología de la investigación damos inicio a este capítulo que son los métodos y materiales, en el abordaremos sobre la descripción del flujo tecnológico en el proceso de molienda. Hablaremos de diseño de investigación, de los materiales y equipos que utilizamos para las mediciones, de la técnica experimental, entre otros materiales que utilizamos para la confección de dicho capítulo.





2.2 Descripción del proceso tecnológico de la Empresa “Cmdte Rene Ramos Latour”

La Planta Metalúrgica Consta de 5 Plantas de producción fundamentales en el proceso, estas son:

- *Planta de Preparación de Mineral (Secado y Molienda)
- *Planta de Hornos y Reducción
- *Planta de Lixiviación y Lavado
- *Planta de Separación de Cobalto
- *Planta de Recuperación de Amoniaco y Sínter.

A la fábrica llega la materia prima de dos grandes yacimientos: Mina Martí y Mina Pinares de Mayarí, ambas a cielo abierto. El mineral se extrae con palas de arrastre y excavadoras, transportándose en grandes camiones de 30 y 40t de capacidad, hasta unas plataformas de donde se deposita, de aquí con la ayuda de buldózer se cargan los carros volquetas que son trasladado por vía férrea al depósito exterior de la Planta de Preparación de mineral.

- Planta de Preparación de Mineral (Secaderos y Molinos)

El mineral húmedo procedente de las dos minas, recepcionado del depósito exterior, es homogeneizado y posteriormente dosificado al proceso de secado, para la cual se cuenta con 4 grúas indias y alimentadores móviles.

E la sección del secado hay instalado 7 secadores, seis en operación y uno en reparación o reserva; son de tipo rotatorio, de acero sin refractario con divisiones interiores para conseguir el mejor contacto gas –mineral y obtener elevada eficiencia en el secado. Posteriormente pasa al proceso de molienda obteniéndose un producto terminado con una fineza menor de 0.074 mm, este mineral seca y molido pasa por medio de bombeo neumático a los Silos de almacenaje que suministran establemente a la planta de Hornos de Reducción.



- Planta de Hornos de Reducción.

El mineral se somete a un proceso de reducción en hornos de hogares múltiples para convertir el níquel y el cobalto, presentasen el mineral como óxidos y silicatos, al estado metálico y de esta forma estar listo para la lixiviación en el proceso de carbonato amoniacal. Existen, después el proceso de modernización con cámaras PRIOR, 11 hornos y cada uno posee cámaras de combustión que queman el petróleo para garantizar las temperaturas requeridas.

El mineral una vez reducido se transporta desde la descarga del hogar 16 hasta el enfriador por un reductor rotatorio tubular. Este enfriador se encuentra parcialmente sumergido en una piscina con agua para lograr bajar la temperatura del mineral reducido, que es descargado a una canal inclinada que recibe licor de la planta de la lixiviación y lavado para preparar la pulpa que se alimenta de este circuito.

- Planta de Lixiviación y Lavado.

La pulpa que llega a los tanques de contacto alcanza una relación líquido sólido de 5 a 1. Esta pulpa se agita para homogeneizarla y luego bombearla hacia el distribuidor rotatorio que alimenta las series de lixiviación en varias etapas en los turboaeradores. En los turboaeradores se inyecta aire para garantizar la lixiviación selectiva del Níquel y el Cobalto y la oxidación del Hierro. La pulpa aireada pasa a las etapas de lixiviación y lavado a contracorriente. En el lavado, el licor amoniacal viene desde la quinta etapa enriqueciéndose en Níquel hasta la primera etapa donde se separa por reboso y forma el licor producto, el cual es bombeado a la Planta de Separación de Cobalto.

Los sólidos que sedimentan pasan desde la primera hasta la quinta etapa, entregando el Níquel al licor y son extraídos por bombeo desde el fondo de cada tanque. Las colas finales son enviadas a la Planta de Recuperación de Amoníaco.

- Planta de Separación de Cobalto.

El licor producto procedente de lixiviación pasa por los reactores tubulares donde se les suministra Hidrosulfuro de Amonio el cual provoca la precipitación del Cobalto con una proporción de Níquel. Una porción de este sólido formado se recircula al reactor (como semilla)



para mejorar la efectividad de la precipitación con menor consumo de reactivo. La pulpa formada pasa a un sedimentador y desde este es bombeada al área donde el sólido es separado del licor por filtración. El licor clarificado es bombeado a la Planta de Recuperación de Amoníaco.

- Planta de Recuperación de Amoníaco y Sinter

El licor producto es suministrado a las torres de destilación de licor por la parte superior. Por la parte inferior de la torre se suministra vapor de agua de baja presión. Con el aumento de temperatura del licor, el amoníaco (NH_3) y parte del dióxido de carbono (CO_2) se evaporan y son arrastrados por el vapor de agua. Las colas son tratadas de igual forma en las torres de destilación de colas. Estos gases son extraídos por la parte superior de las torres y pasan por los precalentadores de licor y de colas y a la salida de estos pasan por un condensador enfriado con agua. El amoníaco obtenido pasa al sistema de torres de absorción y Carbo natación, donde se absorbe CO_2 procedente de los gases de la Planta Eléctrica y el amoníaco y parte del CO_2 de la destilación del licor y las colas.

La pulpa de Carbonato básico de Níquel obtenida de la destilación del licor, por la parte inferior de las torres, es enviada a los sedimentadores. Las colas finales producto de la destilación son bombeadas al dique de almacenaje de colas.

El carbonato básico de Níquel espesado con un 15 a 18 % de sólidos es filtrado y el sólido se alimenta a los hornos de calcinación. En los hornos se calcina el carbonato en atmósfera oxidante a 1200 °C de temperatura, dando como producto final Óxido de Níquel mas Óxido de Cobalto ($\text{NiO} + \text{CoO}$).

El $\text{NiO} + \text{CoO}$, el carbón antracita, el polvo de $\text{NiO} + \text{CoO}$, y el polvo fino de retorno fuera de especificación de tamaño, son almacenados en tolvas. Desde estas tolvas se adicionan a una correa en proporciones específicas para ser mezclados y homogeneizados. Esta mezcla homogénea se humedece y se dosifica a una estera sobre una capa de relleno con partículas de más de 38 mm de tamaño para formar una cama de material de 216 mm de espesor. Esta estera se mueve a una velocidad de 20 a 28 cm. / min. y pasa por debajo de un quemador de encendido para aumentar la temperatura superficial a 1200 - 1450 °C y después penetra en la





cámara de combustión. En la cámara se produce una succión por debajo lo cual provoca que todo el material de la cama se encienda y se queme para obtener una torta de sinter de Ni + Co y una parte de NiO + CoO.

Esta torta se tritura en dos etapas para obtener un producto final exportable de <38 mm y >6,35 mm.

Los productos de >38 mm o <6,35 mm son realimentados al proceso de Sinterización como relleno o finos de retorno respectivamente.

Flujo tecnológico de proceso de molienda

Para una mejor comprensión del trabajo haremos una detallada explicación del proceso de molienda con el principio y funcionamiento de los equipos principales.

El mineral secado a una humedad de 4-5%, es descargado por los secaderos a las correas caliente CC-1oCD-1 las cuales lo transportan hasta descargarlos a los elevadores de cubo que lo depositan en la tolva de recepción del mineral en los molinos. Cerca de la descarga de mineral del Secadero 7, fuera de la zona tapada, se añade el petróleo aditivo en proporción de 25 a 27 kg/t. La proporción es controlada automáticamente en función de la calidad del mineral que es pasado en la romana.

El mineral de níquel pretriturado es extraído de la tolva inicial mediante cintas dosificadores gravimétricos y alimentados a los dos molinos tubulares mediante las bandas transportadoras. El Molino tubular se compone de dos cámaras de molienda 1 tiene lugar la fragmentación gruesa del mineral de níquel con ayuda de los cuerpos moledores. Cuando el molino gira, el mineral que se alimenta es atrapado entre los cuerpos moledores y bajo la acción de la presión y fricción entre las bolas, además el efecto de los choques con las bolas y el revestimiento, va siendo reducido su tamaño. En esta cámara los revestimientos tienen efecto levantador y las bolas grandes se encargan de reducir el tamaño a las rocas mayores y de mayor dureza. La molienda es combinada por percusión, aplastamiento y auto molienda de las rocas mas blandas por las mas dura. Durante la marcha de la molienda a medida que el mineral avanza en el interior del molino, el tamaño de las partículas es cada vez menor hasta que alcanza el



diagrama de descarga y sale a través de las ranuras. Las partículas más finas y ligeras son arrastradas por el flujo de aire hacia la descarga.

En la 2 cámara los revestimientos son ondulados y las bolas de menor tamaño, por lo que predomina la molienda por fricción y aplastamiento. El mineral adquiere características del producto final a medida que avanza a lo largo del molino ayudado por la corriente de aire.

Para que los cuerpos moledores no dañen el cilindro del molino, este está provisto de un revestimiento de placas de vendaje. Al final de la primera cámara, el mineral molido pasa con la corriente de aire, a través de las ranuras de la pared divisoras, a la carcasa del dispositivo de descarga central, las partes finas del material son succionadas por el ventilador de filtro hasta el separador del estático. Mientras que las más gruesas caen hacia la descarga de material molido y es transportado hasta el separador de alto rendimiento SEPOL, donde tiene lugar otra separación del material grueso y fino.

El 25% del material proviene del SEPOL se alimenta de la cámara 1 y el 75% se alimenta de la cámara 2, el material pasa de nuevo a través del dispositivo de descarga central común al SEPOL.

Por la descarga central del molino tubular, el material procedente de ambas cámaras de molienda pasa a través del aerodeslizador al elevador de cangilones y este a su vez descarga mediante otro aerodeslizador al separador de alto rendimiento SEPOL, el fluidor está equipado con un colector de cuerpos extraño para proteger el rotor del separador de alto rendimiento. Este proceso de la cámara 2 se produce a circuito cerrado hasta que el material adquiera las características de finezas requeridas, más de 83% menor de 0.074mm.

El material granulado va parar al centro del separador de alto rendimiento sobre un plato dispersor, que distribuye el material uniformemente en el recinto separador, donde el material es separado en fino y grueso mediante la acción de las fuerzas de inercia y flujos, mediante de una chaveta inversora, la corriente de gruesos se puede desviar a la cámara 1 y 2.

El material fino es transportado a los ciclones con la corriente de aire y luego pasa a la tolva de producto final. El ventilador del molino airea las dos cámaras del molino tubular, la corriente de aire cargada de polvo llega tras abandonar el molino, al separador estático STATOPOL, el cual



separa el polvo grueso de la corriente de aire. Esta corriente de aire con polvo, a la salida del STATOPOL llega al Filtro de Mangas. Durante la operación del filtro, el aire va pasando a través de los poros de la tela, dejando las partículas de polvo adheridas a la superficie exterior, formando una torta de mineral. Para el trabajo de limpieza de las mangas, sobre cada fila de mangas va situado un tubo de soplado con un orificio sobre cada manga. Cada cierto tiempo, en dependencia de la presión diferencial del filtro, se va abriendo la válvula de diagrama que permite el paso de un flujo de aire comprimido de 4 a 6 bares, por cada uno de los tubos de soplado, saliendo el aire en forma de chorro por los orificios situados sobre las mangas. Este aire produce un golpe que pliega la manga, por lo que la torta de mineral formada sobre la superficie de la tela se desprende y el mineral cae en forma de cascada hasta la tolva de recepción. El polvo es extraído de la tolva de recepción por medio de transportador de tornillo sinfín a través de una esclusa. Una vez el mineral estando en la tolva de producto final es bombeado con bombas Fuller auxiliado con aire comprimido hasta el depósito de la Planta de Hornos.

2.3 Diseño de investigación.

Para la realización de este trabajo de investigación primeramente partimos de la formulación del problema y luego con la elaboración de los objetivos específicos y las tareas concretas comenzamos a desarrollar el tema.

De inicio se realizó un levantamiento de los datos de chapas y otras características de los molinos y los ventiladores que interviene en el proceso de molienda. Como el objetivo del trabajo es valorar el comportamiento del consumo específico de energía en el proceso de molienda, pues verificamos la cantidad de instrumentos de medidas instalados, fundamentalmente contadores de energía activa y nos percatamos que no había utensilios de mediciones. Para hacer un estudio más profundo instalamos un analizador de red en el motor del accionamiento principal de los molinos de bolas y en los ventiladores del sepol del mismo. Ahora bien las mediciones realizadas nos permitieron confeccionar una base de datos y las características del mineral alimentado.





2.4 Materiales y Equipos

La constitución del mineral laterítico se compone de una mezcla de limonita (de carácter terroso) y de serpentinas parcialmente descompuestas y duras.

La limonita aparece como tierra suelta o en terrones de color amarillo; por su parte el material serpentinito presenta toda la gama desde mineral terroso hasta fracciones de rocas duras de diversos tamaños.

Relacionaremos la caracterización de la materia prima (mineral) que se muele, todas las características principales de los equipos que interviene en este proceso de molienda, así como los que se utilizaron para la recopilación y confección de toda la base de datos necesaria de este trabajo. La materia prima que se alimenta al proceso de molienda proviene de una minería selectiva donde participan varios frentes y que a través del proceso de cribado y homogeneización del mineral logramos la calidad requerida, es decir, con 1.14% de Fe, 10% de sílice, 7% de magnesio y hasta un 30% de humedad predominamos el mineral limonítico.

Molinos de bolas Tubular (A y B)

El molino de bolas tubular esta formado por un cuerpo cilíndrico de acero, debido en la zona central por dos tabiques de acero rasurado con una malla circular central y entre ambas ventanas la descarga. El molino esta revestido interiormente de placas de acero, escalonadas en la primera cámara y onduladas en la segunda. En la parte interior de cada cámara se encuentra las bolas de acero para la molienda. El cuerpo del molino se desliza sobre dos patines de cojines en cada extremo con la lubricación de aceite a presión. En ambos lados del molino se encuentran situadas las boquillas de alimentación. El molino se hace girar por un piñón y corona dentada accionados por un motor y un reductor.





Tabla 2.1 Distribución de las cargas de bolas en el molino según su tamaño

Tamaño de bolas	Primera Cámara			Segunda Cámara			Molino	Total
mm	carga en ton	%Peso	%m3	Car,t	%Peso	%m3	Carga en ton	%
100	3	9.38	0.65	0	0	0	3	4.49
90	3	9.38	0.65	0	0	0	3	4.69
80	6	18.75	1.30	0	0	0	6	9.38
70	6.5	20.31	1.45	0	0	0	6.5	10.16
60	7	21.88	1.54	0	0	0	7	10.94
50	6.5	20.31	1.41	10	31.25	2.17	16.5	25.78
40	0	0	0	10	31.25	2.15	10	15.62
30	0	0	0	12	37.5	2.58	12	18.75
Total	32		6.95	32		6.84	64	

Datos de los molinos de bolas A y B:

- Capacidad: 100 t/h
- Velocidad de giro de los molinos: 17.71rpm
- Fabricante: SIEMENS
- Serie o Tipo: 1S1-504-6-HA90Z
- Motor: Asíncrono
- Corriente: alterna
- Potencia: 950 kW
- Un: 6300- Y V
- In: 108 A
- Velocidad: 1187 rpm
- Fase: 3Φ
- Factor de potencia: 0.85
- Frecuencia: 60 Hz
- Protección: 55
- Tipo de Rotor: Bobinado Y, In- 451 A
- Tipo de Rodamiento: Delantero: UN 228, Trasero: UN-226





-Peso: 5700 Kg

-Posición de Trabajo: IM-B3

Separador de alto rendimiento (SEPOL)

El Separador es un equipo formado por un cuerpo cilíndrico cónico revestido interiormente por placas de material resistente al desgaste en las zonas en contacto activo con el mineral. En la parte superior posee una entrada para el mineral y en la parte interior posee un rotor para la clasificación del mineral. En la zona superior, lateralmente, posee una entrada tangencial tipo caracol para el aire de clasificación, procedente de un ventilador. Debajo del rotor se encuentra el canal de salida del aire más el mineral fino con cuatro salidas laterales hacia los respectivos ciclones. En la parte inferior posee una tolva para la recepción del material grueso dotado de una compuerta doble pendular para la salida del mineral que impide la libre entrada de aire en sentido contrario.

Características de los ventiladores (SEPOL)

-Fabricante: SIEMENS

-Serie o Tipo: LA1-352 6HE 90Z

-Motor: Asíncrono

-Corriente: alterna

-Potencia: 252 Kw.

-Un: 6300- Y

-In: 30 A

-Velocidad: 1182 rpm

-Fase: 3Φ

-Cos φ: 0.83

-Frecuencia: 60 Hz

-Protección: 54

Tipo de Rotor: Jaula

-Tipo de Rodamiento: Delantero: 6219 C3, Trasero: 6219 C3

-Peso: 1500 Kg.

-Posición de Trabajo: IM-B3





Características del equipo de medición.

Se utilizó un Analizador de redes Programable interlogger de 8 canales (versión 1.3).

Especificaciones del equipo:

Tipos de redes a medir:

1 fase 2 hilos ,1 fase 3 hilos, 3 fases 3 hilos (triángulo) ,3 fases 4 hilos (estrella), 2 ½ elementos vatimétricos.

Mediciones:

- Lecturas de mínima, máxima y medias instantáneas, 4 corrientes y tensiones.
- Frecuencia instantánea (canal 1).
- Valor medio de las potencias activa, reactiva, aparente y factor de potencia para 3 canales.
- Valor instantáneo de la DTA (tensión), DTA (corriente), componente armónico hasta el 31° (corriente), memorización de la forma de onda para tres canales.
- Demanda.
- Análisis gráficos y tabulares de todas las lecturas, incluyendo los cálculos de magnitudes angulares para los armónicos de corriente y tensión.

Rango de medidas:

- Tensión 240/600V (+25% de sobretensión).
- Corriente 1V (admisible pinzas de 5 a 3000A).
- Frecuencia 45 a 65Hz.

Relación tensión/corriente

- Ajustable hasta 50.000:1.

Precisión

- Tensión (0.5% de la lectura).
- Corriente (0.5% de la lectura).
- Frecuencia (0.5% de la lectura).



Velocidad de muestreo

- 128 muestra por ciclos.

Memoria

- Tarjeta de memoria RAM de hasta 2MB.

Capacidad

- RAM interna de 128 KB.

Tratamiento

- Circular una vez saturada.

Comunicaciones

- RS 232, 9600 baudios.
- Tarjeta SRAM, PCMCIA.

Alimentación

- Se autoalimenta de la línea desde 80 hasta 750V.
- Batería interna 6V

Condiciones de servicio

- Desde -20°C hasta 50°C.
- Desde 0 hasta 90% de humedad relativa sin condensación.

Dimensiones

- 25x25x18 cm.

Peso

- 5.5 Kg.

Necesidades para el Software

- Data trend para Windows versión 1.31 o superior.



- PC de 25 Mhz 80386 o compatible, coprocesador matemático
- Memoria RAM mínima de 4MB, Windows 3.1 o mejor.
- Espacio mínimo de 4 MG en el disco duro.
- Monitor.
- Teclado.

Características del Software.

Este software empleado para descargar los datos desde el analizador es el Data Trend versión 8.4, este nos brinda las posibilidades de analizar los datos y exportarlos en Excel. Algunos de los datos que podemos descargar son:

Corriente:

Que no es más que número de cargas que atraviesan normalmente la sección transversal en la unidad del tiempo y se conoce como intensidad de corriente eléctrica. Y se mide en Ampere (A).

Tensión:

Es el trabajo por unidad de carga realizado por el dispositivo que recibe el nombre de voltaje diferencial de potencial y se mide en Volt (V).

THD:

Es la relación entre el valor eficaz de las componentes de armónicos de tensión o intensidad y el correspondiente valor fundamental.

Armónicos:

Son distorsiones de las ondas senosoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal, a materiales ferromagnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal.



Factor de potencia:

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente del circuito, es una medida del grado de aprovechamiento de la energía eléctrica.

La potencia:

Es el trabajo realizado por unidad de tiempo. En caso eléctrico, se mide por el desplazamiento de cargas eléctricas a través de un campo (fuerza) eléctrico.

También se utilizó el EROS que es un Sistema de Supervisión y Control de Proceso, es un Software que realiza varias funciones dentro del entorno de dirección del proceso. Tiene en cuenta todas las características de las variables de medidas y realiza un potente tratamiento estadístico y determinístico de la misma. Cada variable pertenece a un dispositivo que en el caso de las variables externas pueden asociarse al autómatas o tarjeta de medición que acoplado a la red industrial, es el encargado de informar a la PC su valor. El EROS registra corriente, temperatura, presión, tonelaje entre otras mas variables.

En los análisis para la caracterización granulométrica del mineral de alimentación a los molinos se utilizaron dos tamices de 100 y 200 Mesh de fabricación japonesa, una balanza digital en gramos (hasta 3100 g) y un horno estufa de hasta 180 °C, además los pomos de las muestras de 100 ml c/u.

2.5 Técnica Experimental

Los procedimientos que se tuvieron presente para obtener los consumos de energía activa de los molinos y los ventiladores, donde se instaló el analizador de redes, fueron los siguientes:

Se instalaron 2 TC de 150/ 5 A, aquí la relación de transformación sería de 30 y el potencial que alimenta el motor es 6300 V, para el analizador utilizamos 110V, pues entonces la relación de transformación sería 57.2727. La lectura se multiplica por 30 y 57.27, es decir 1718.18 y obtendríamos el consumo de energía. Para el ventilador sepol la relación del potencial sería la misma por lo tanto la diferencia se multiplicaría por 859.09. La metodología para los equipos de





medidas digitales montados en las pizarras solamente con las diferencias de lecturas nos daría el consumo de energía activa en ese intervalo de tiempo.

Proceso para el tamizado

En la caracterización del mineral alimentado a los molinos tuvimos que realizar un muestreo en los turnos analizados para realizar el análisis de granulometría ya que normalmente lo que se analiza es la humedad de entrada y el % de carbón de petróleo adictivo. En esto utilizamos los siguientes procedimientos de laboratorio con la ayuda de un químico analista.

Esta muestra que designan como D-20 es el mineral secado y se toma en electroimán de la correa caliente cada 2 horas. Se hace un compósito de 8 horas el cual el cual contiene alrededor de 300g de muestra. Homogenizar manualmente en el mismo pomo durante 203 minutos, de aquí se toman 10g para análisis de humedad. Esta muestra se lleva a la estufa por espacio de 3 horas.

Se toman 50g de la muestra para el análisis de la fineza.

De la muestra previamente preparada se toma una porción conveniente y se pasa a través de las mallas deseadas. El por ciento de fineza en cada malla es determinado pesando la porción retenida de la muestra.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1-Pesar 50g de la muestra, transferirla a una malla+100mesh (0.150mm) ala que se ha insertado directamente debajo de la malla +200mesh(0.074mm).Lavar la muestra con agua por 203 minutos, agitando constantemente hasta que se aprecien que no pasan mas partículas a través de la malla+100mesh.

2-Remueva la malla +100mesh y repita el procedimiento de lavado con la malla+200.Después del lavado, transfiera la muestra retenida en ambas mallas a un recipiente adecuado con la ayuda de pequeñas porciones de agua y seque en la estufa a 110 °C hasta peso constante. Enfriar en desecadora y pesar.





Cálculos:

$$\% \text{Fineza(malla} + 100) = \frac{A \times 100}{P}$$

$$\% \text{Fineza(malla} + 200) = \frac{B \times 100}{P}$$

$$\% \text{Fineza(malla} - 200) = 100 - (\% \text{ malla} - 100) + (\% \text{ malla} + 200)$$

Donde:

A → peso de la muestra retenida en la malla +100 en gramos

b → peso de la muestra retenida en la malla +200 en gramos

P → peso total de la muestra

Análisis Estadístico y utilización del Microsoft Excel

En la mayoría de los trabajos de investigación se hace necesario analizar la relación existente entre dos o más variables cuando se analizan una serie de datos, esto se llama correlación. Nosotras en nuestro trabajo utilizamos esta técnica estadística aplicando línea de tendencia en la opción grafico del Microsoft Excel para determinar las relaciones existentes entre el consumo específico de energía y los indicadores de producción. Lo ideal sería expresar esta relación mediante una expresión algebraica que sea capaz de interrelacionar las variables entre si. Sin embargo, es casi imposible encontrar una función que se ajuste perfectamente a la serie de datos recopilados, por lo tanto se debe buscar el “Modelo de Mejor Ajuste” que indique la tendencia de las diferentes variables consideradas.

Se deberá entonces a los métodos estadísticos, a fin de poder terminar la ecuación o modelo que permita obtener la tendencia en términos generales de una serie de datos, en virtud del incremento o disminución que tendrá una variable en función de la otra u otras.





A estos métodos se reconoce también como Regresión simple, cuando se trate correlacionar dos variables (una independiente y una dependiente) y la Regresión Múltiple, cuando se trate de correlacionar una variable independiente y “n” variables dependientes.

En nuestro caso la variable dependiente es el consumo específico de energía y los indicadores: por ciento de humedad, contenidos de Fe, Ni; Co, petróleo aditivo, granulometría y otros factores, los tomaremos como las variables independientes.

Se utilizará para el cálculo de los coeficientes de correlación, los valores calculados, los coeficientes de determinación y los ajustes de curva, la hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Para el caso de ajuste de las curvas usaremos el método del mínimo cuadrados cuya tendencia será potencial de orden 2, este método consiste en determinar los parámetros de la curva, de manera que la suma de los cuadrados de las diferencias mencionadas sea la mejor posible.





2.6 Conclusiones.

En este capítulo hacemos una breve descripción del proceso tecnológico de la planta. Luego relacionamos la característica técnica y eléctrica de los molinos de bolas y los ventiladores que intervienen en el proceso de molienda del mineral e instrumentos utilizados para las mediciones. Además se explica la relación que existe entre la características del mineral alimentado y el consumo energético en dicho proceso, así como algunos conceptos que se tienen en cuenta al realizar este trabajo y se explica la técnica experimental que usaremos para llegar a los resultados que nos hemos propuesto con el objetivo de este trabajo.





Capítulo 3 Resultados

3.1 Introducción

En este capítulo hablaremos sobre los resultados que obtuvimos mediante las mediciones realizadas en los diferentes equipos que son los ventiladores y molinos en el proceso de molienda. Aquí veremos su comportamiento por turno de trabajo y diario, también veremos el consumo específico, su productividad y las valoraciones económicas.





3.2 Resultados

En la empresa productora del níquel, a partir del proceso Caron, una de las plantas de producción que más consume energía eléctrica es precisamente el área de preparación del mineral (secaderos y molinos). Para confirmar lo anterior se recopiló durante los meses de abril y mayo el consumo de electricidad de SEN de algunas áreas de la empresa, el resto consume de la generación propia de la termoeléctrica (Aproximadamente 11 MW).

3.2.1 Consumo de energía eléctrica del SEN por áreas de los meses abril y mayo/2011.

Tabla 1.

Áreas	Meses				Promedio del Porcentaje (%)	Promedio del Consumo
	Consumo de Energía		Porcieto del consumo			
	Marzo (Kwh)	Abril (Kwh)	Marzo(%)	Abril(%)		
Preparación del Mineral	2251.9	2406,3	36.9	42.6	39.7	2329.1
Hornos de Reducción	562.2	632.7	9.2	11.2	10.2	597.4
Lixiviación y Lavado	916.7	572.2	15	10.2	12.6	744.4
Cobalto	45.8	22.6	0.8	0.4	0.6	34.2
Tratamiento de Agua	513.3	587.5	8.4	10.4	9.4	550.4

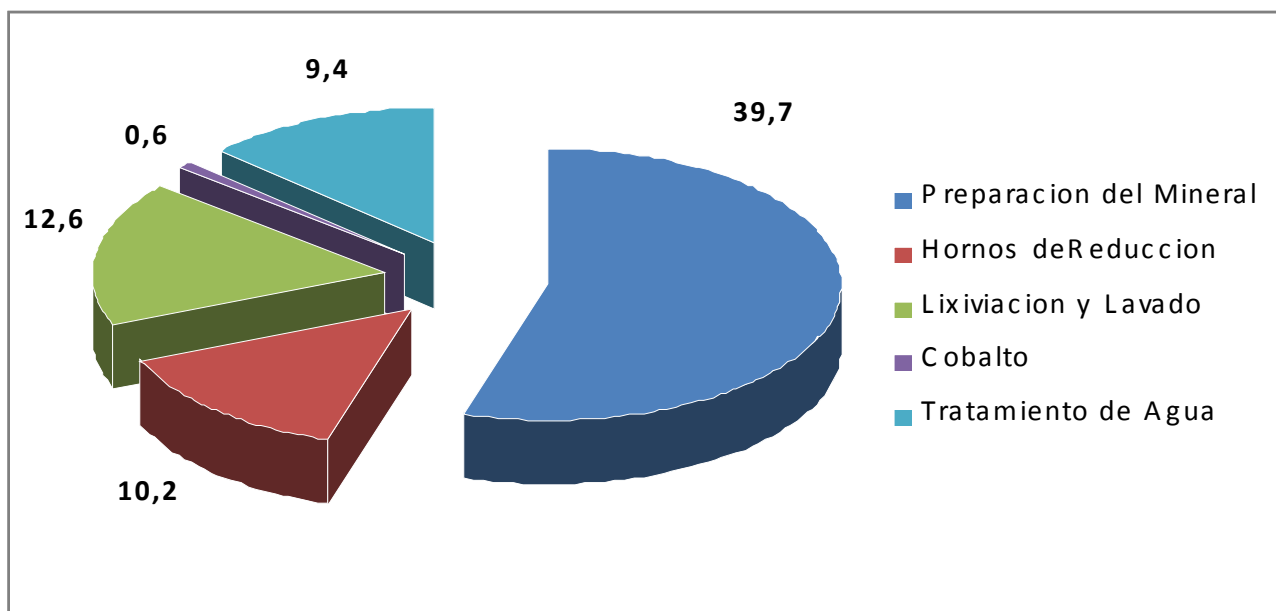
Como se muestra en la tabla 3.1 podemos observar que los consumos de electricidad de las áreas consumidoras mantienen valores estables, es decir con pequeñas variaciones en el periodo analizado.

Partiendo del análisis del consumo promedio de energía eléctrica de dos meses, se lleva a cabo la distribución porcentual representada en el gráfico que se muestra a continuación.



3.2.2 Distribución en por cientos (%) del consumo promedio de electricidad del SEN por áreas.

Grafico No 1.



Haciendo un análisis en la subestación de la pasa que alimenta la empresa, se toman como referencia los dos alimentadores A1 y A2 que llevan a cabo todo el suministro de energía eléctrica de la planta de secadero y molinos

Tomando como referencias la potencia activa del alimentador (A1) se logra saber lo que representa en potencia de energía en el proceso de molienda con respecto al total de la planta de preparación del mineral.

Potencia Activa Molienda	Potencia Activa resto de la planta	Potencia Activa Total
A1 (KW)	A2 (KW)	A1+A2 (KW)
2957	2941	5898

El área de molienda como se puede apreciar en la potencia registrada en el alimentador A1, representa el 50% del consumo de la planta de Preparación del mineral.



3.3 Análisis general de las características física –química del mineral alimentado a los molinos A y B

Las características del mineral que se alimenta a los molinos de bolas tienen mas contenido de limonita que serpentina de esto se deduce que los molinos tienen una granulometría promedio 41.6% de la malla 0.150 mm 10.1 % de 0.074 y el 39.7 % es de un mineral con características de producto final que menor 0.074. quiere decir que si la planta de secadero contara con un sistema de colección y transportación de polvo mas eficiente este mineral no llegara al proceso de molienda. La ley del níquel promedio 23% I, el hierro 34, la sílice 23 el magnesio 31, y la humedad del mineral 23, estos parámetros como se observa en la tabla No 2 no tienen grandes variaciones.

La Granulometría promedio del mineral una vez procesado es de 56% de la malla 0.150mm 10% de la malla 0.074 mm y 2% de la malla menor que 0.074. En fineza del producto final hubo variaciones por debajo del 34 % en la malla menor 0.074 mm que es normalmente donde se opera este parámetro en nuestro proceso de molienda.

3.3.1 Composición físico – química del mineral que se alimenta a los molinos A y B.

Tabla No 2.

Fecha	Turno	Granulometría del Mineral Alimentado			Producto Final			Composición Química del Mineral Procesado				
		0,150	0,074	-0,074	0,15	0,074	-0,074	Ley Ni	Ley Fe	Si O2	Mg	H2O
1 de May	7AM a 7PM	43,2	10	31,5	6	10,2	84	1,12	42,4	9,5	4,9	4,4
	7PM a 7AM	35,8	14,4	42,8	6,5	9,9	82,9	1,14	43,2	9,5	6	3
2 de May	7AM a 7PM	34,4	10	39,6	5	9,5	85	1,15	41	10	5,8	4,2
	7PM a 7AM	45,2	11,6	36	7,1	12	83,4	1,13	43,8	10,2	5,4	4
3 de May	7AM a 7PM	44	9,8	38,9	6,6	10,4	85,2	1,16	41,6	9,8	6	3,6
	7PM a 7AM	45,6	11	32,8	4,9	10	83,4	1,15	43,8	8	4,2	6
4 de May	7AM a 7PM	40,4	10,4	43,6	5,2	9,4	83	1,12	44,6	9,4	5	4,4
	7PM a 7AM	45,2	11,2	42	6,4	12,2	84,2	1,15	41,8	7,8	6	4,2
5 de May	7AM a 7PM	40,5	9,2	35,8	4,2	9,1	83,6	1,17	44	8,6	4,8	3,9
	7PM a 7AM	44	8	33,6	4,3	9,4	84,2	1,15	44,2	10,4	5,1	4,3
6 de May	7AM a 7PM	39,6	14,2	40,1	4,4	10	85,4	1,13	46,1	8,8	4,6	4,4
	7PM a 7AM	40,1	9,8	43,4	5	10,2	84	1,16	43,8	10,6	5,2	4,6



7 de May	7AM a 7PM	34,4	13,2	41,6	6,6	12,1	79,8	1,1	44,2	7,8	4	3,8
	7PM a 7AM	49,4	9,4	47,4	5,7	9,5	83,1	1,14	45	8,4	4,6	4,3
8 de May	7AM a 7PM	49,8	11,2	42,4	5,3	10,5	83,6	1,18	42,9	9,5	4,8	5
	7PM a 7AM	41,6	7,8	35,6	6,3	10,3	85,4	1,16	41,6	8,3	5,2	6
9 de May	7AM a 7PM	46	8,2	38,2	5,8	11,2	80,9	1,09	43,1	8,1	4,7	3,9
	7PM a 7AM	39,2	11	31,5	6,2	11,2	84,1	1,09	44,2	7,9	4,4	4,5
10 de May	7AM a 7PM	51,5	10,6	42,8	5,3	10,4	82,2	1,15	44,4	7,7	4,4	4,1
	7PM a 7AM	38,8	8,4	41,2	6	9,6	82,7	1,14	45,1	10	4,6	4,1
11 de May	7AM a 7PM	39,6	10,6	43,8	5,4	10	84,2	1,12	46	8,9	4,2	5
	7PM a 7AM	46	8,6	42,8	6,1	9,2	77	1,08	44,4	9,1	4,6	4,4
12 de May	7AM a 7PM	40,2	11,2	31,2	4	11,2	82,9	1,08	44,3	7,6	4,6	5,1
	7PM a 7AM	51,3	13	38,2	5,2	10	81,6	1,14	46,6	9,5	4	4
13 de May	7AM a 7PM	33,6	9,4	37,8	4,8	9,2	83,4	1,16	44,5	8,8	4,4	3,9
	7PM a 7AM	44	10	44,9	5,7	9,4	81,7	1,1	44,4	10	4,7	3,6
14 de May	7AM a 7PM	38,6	7,2	45	4,6	9,6	84,3	1,09	44,7	9	4,6	4,4
	7PM a 7AM	35	10,4	46	6,3	9,5	83,3	1,12	45,6	8,2	4,5	4,4
15 de May	7AM a 7PM	39,6	10	44,9	9,9	9,8	82,7	1,16	43,8	7,4	4,4	4,9
	7PM a 7AM	45	11,2	42,1	6,6	10	82	1,18	44,6	8,6	4,4	4,1
16 de May	7AM a 7PM	48,5	8,6	43,8	8,5	12,6	83,9	1,16	43,4	9,8	4	3,7
	7PM a 7AM	36,4	7,4	45,5	9,4	11,6	80	1,07	43,1	9,5	5,5	4,7
17 de May	7AM a 7PM	56	10	43	5,4	10	79,4	1,16	45	10,4	4,2	4,3
	7PM a 7AM	42,8	11,2	41,9	4,8	9,4	84,9	1,09	43,6	10,2	4,2	3,4
18 de May	7AM a 7PM	37,8	11,4	42	4,4	9,2	82	1,1	44,8	10	4,8	3,8
	7PM a 7AM	45,6	6,8	39,6	4,4	9,5	85	1,11	43,1	8,6	4,1	4,3
19 de May	7AM a 7PM	40,9	9,8	43,4	6	12,6	85,4	1,12	43,2	8,5	4,6	4,1
	7PM a 7AM	54,9	11,5	44,6	7,5	10,8	84,4	1,13	43,9	8,4	4,4	4
20 de May	7AM a 7PM	39,4	14,2	43	6,2	9,5	83,9	1,16	44,9	8	4,4	3,9
	7PM a 7AM	42,8	11	43,1	5,8	9,3	85,1	1,17	42,1	9,6	4,5	4
Promedio		42,6	10,3	40,6	5,8	10,2	83,1	1,13	43,9	9	4,7	4,3



3.4 Comportamiento Energético del consumo específico (W_e) con respecto a la Productividad (Q).

Empleando el método de las curvas, se grafica el consumo específico de energía en función de la productividad de los molinos A y B en el periodo desde 1 al 19 de mayo de año 2011. Se observa que a medidas que la productividad aumenta el consumo específico disminuye y viceversa. Con el aumento de la productividad se obtiene un menor costo pues los índices de consumo se reduce y el proceso de molienda es más eficiente. En la tabla No 4 y No 5 aparece el consumo promedio de los molinos A y B.

A continuación aparecen los gráficos que demuestran el comportamiento real de los molinos A y B con relación a la influencia que tiene la productividad con respecto al consumo específico de estos en el periodo de mediciones realizadas.

3.4.1 Comportamiento del Consumo Específico de Energía (W_e) vs Productividad (Q) del Molino A por turno de trabajo.

Tabla No 3.

Productividad (Q)	Consumo Especifico (W_e)
(t/h)	KWh/t
67,77	10,35
70,59	8,59
73	8,72
73,33	9,57
73,75	8,58
74,63	8,81
75,83	8,78
76,66	5,34
77,91	9,25
78,33	7,86
79,16	8,88
89,05	7,86





Grafico No 2.

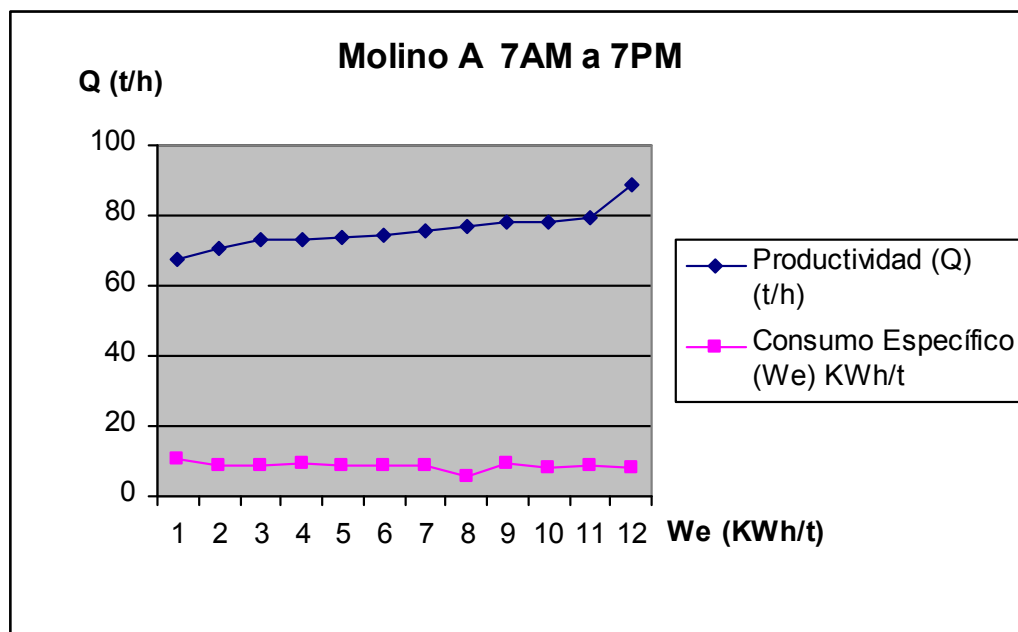
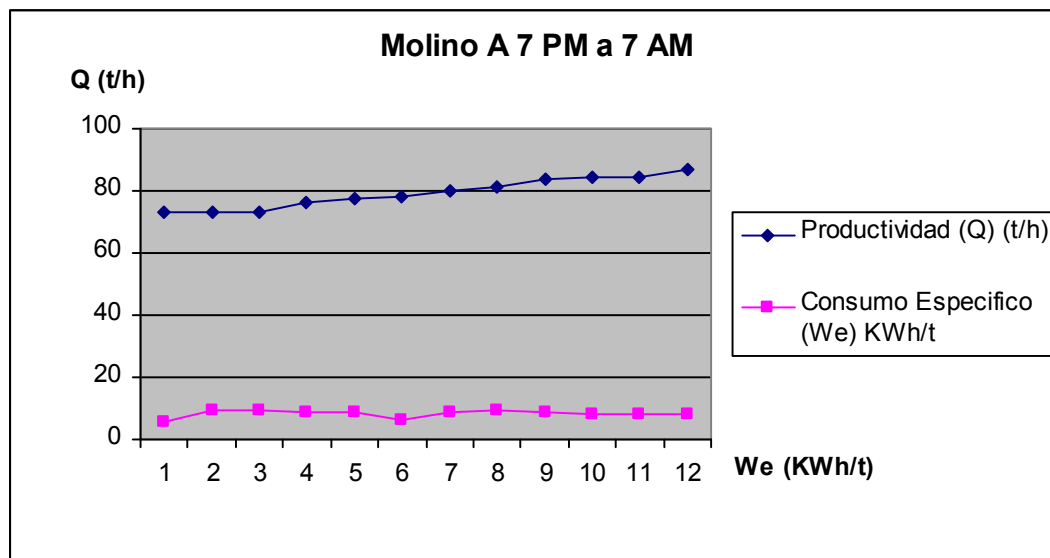


Tabla No 4.

Productividad (Q) (t/h)	Consumo Especifico (We) KWh/t
72,97	5,44
73	9,44
73,01	9,42
76,25	8,47
77,45	8,44
78,03	6,03
80,03	8,73
81,25	9,15
83,68	8,55
84,16	8,36
84,58	8,27
86,66	8,13



Grafica No 3.



3.4.2 Comportamiento del Consumo Específico de Energía (We) vs Productividad (Q) del Molino B por turno de trabajo.

Tabla No 5.

Productividad (Q) (t/h)	Consumo Especifico (We) KWh/t
75,83	8,4
76,66	6,92
77,04	7,8
77,91	8,22
78,73	8,42
79,2	6,88
79,33	7,95
80	7,96
82,23	6,28
83,41	6,24
86,19	6,74
92,44	7,5



Grafica No 4.

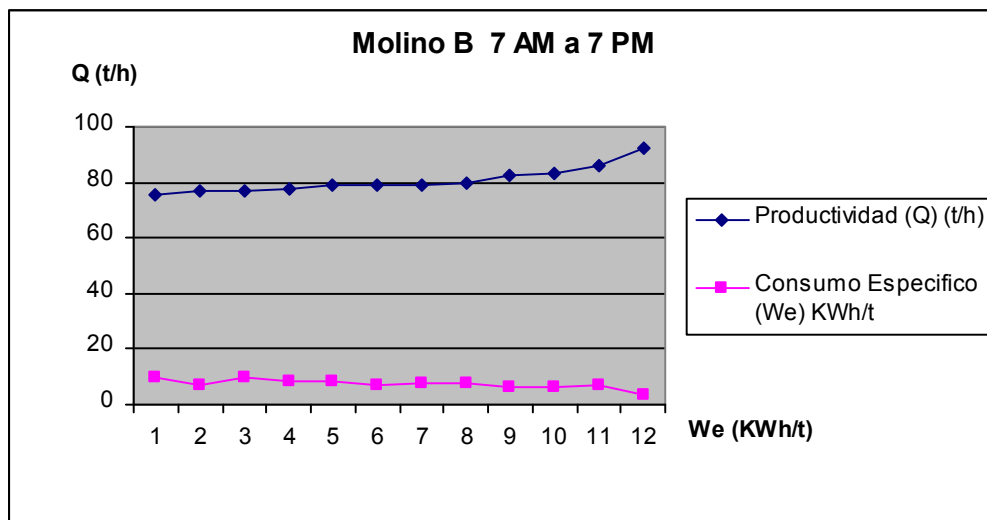
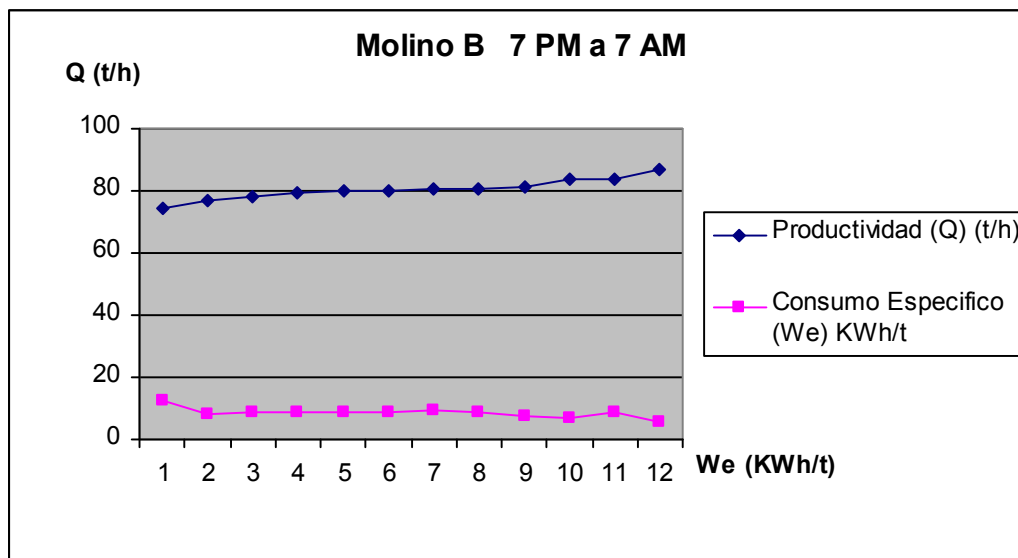


Tabla No 6.

Productividad (Q) (t/h)	Consumo Especifico (We) KWh/t
74,16	9,331175836
76,63	8,404019314
78,33	9,115281501
79,16	9,044972208
79,74	8,728367193
80,04	8,695652174
80,89	8,493015206
80,91	8,738104066
81,31	7,206985611
83,72	8,432871476
83,75	8,501492537
86,96	8,463661454



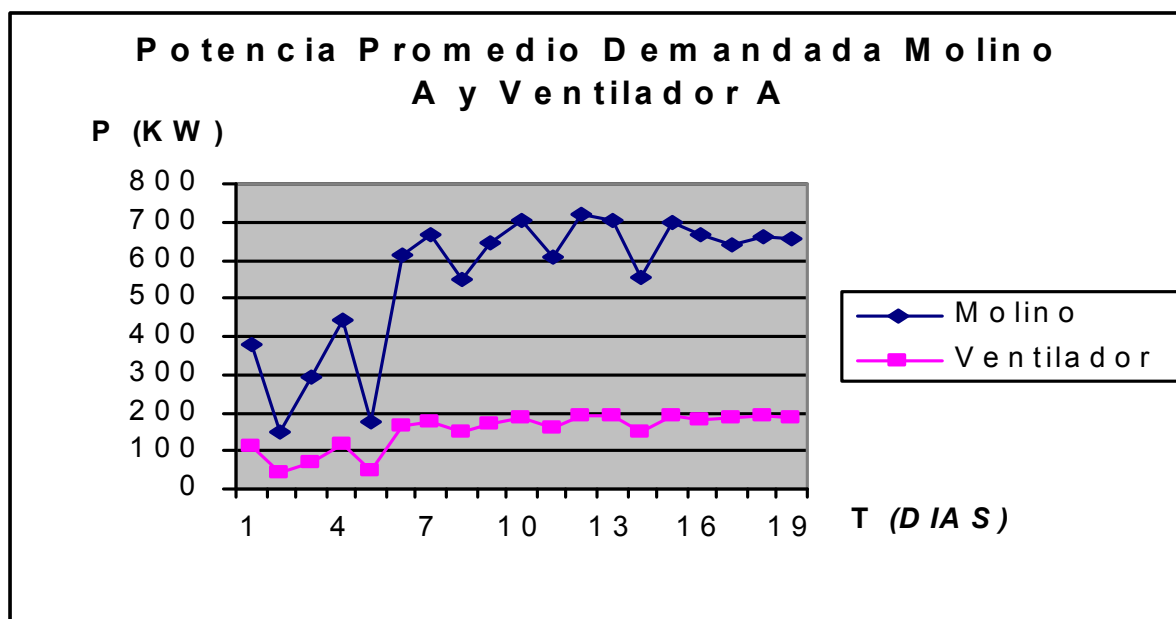
Grafico No 5.



3.5 Comportamiento de las Potencia Promedio Diaria de los Molinos y los Ventiladores.

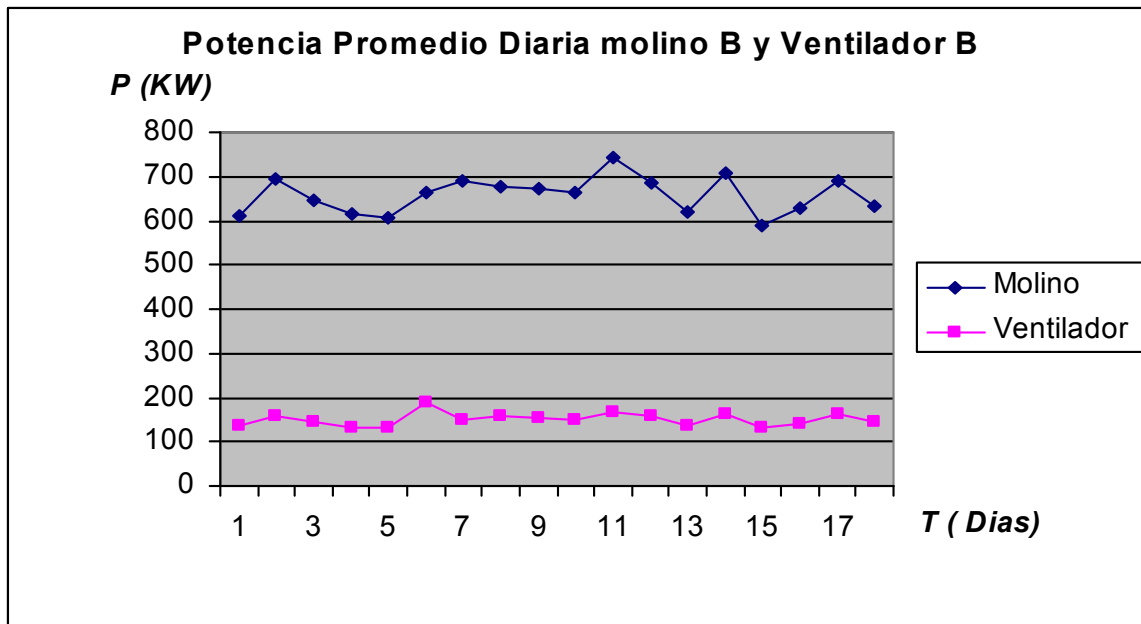
A continuación se refleja el comportamiento de la potencia promedio diaria del Molino A y el ventilador A en el periodo analizado (1 al 20 de Mayo 2011).

Grafico No 6.



A continuación se refleja el comportamiento de la potencia promedio diaria del Molino B y el ventilador B en el periodo analizado (1 al 20 de Mayo 2011).

Grafico No 7.



Teniendo en cuenta el gráficos No.2 y el grafico No.3 en el periodo de tiempo analizado nos percatamos que el Molino B es mas estable que el Molino A. Para el caso de los ventiladores la potencia promedio diaria demandada fue más estable pues este equipo no esta sometido a las variaciones bruscas de carga a las que trabajan los molinos.

3.5.1 Comportamiento de la Potencia Promedio de los molinos A y B y los Ventiladores A y B por Turnos de Trabajo.

A continuación se reflejan en tablas y gráficos el comportamiento por turnos de producción de la potencia promedio de los Molinos y Ventiladores.



Tabla No 7. Turno 7AM a 7 PM (Molino y Ventilador A)

Hora	UM	Potencia Promedio	
		Molino A	Ventilador A
8:00AM	KW	711	199
9:00AM	KW	708	199
10:00AM	KW	701	189
11:00AM	KW	695	189
12:00AM	KW	710	189
1:00PM	KW	700	189
2:00PM	KW	701	189
3:00PM	KW	703	189
4:00PM	KW	705	189
5:00PM	KW	697	189
6:00PM	KW	700	189
7:00PM	KW	698	189

Grafico No 8.

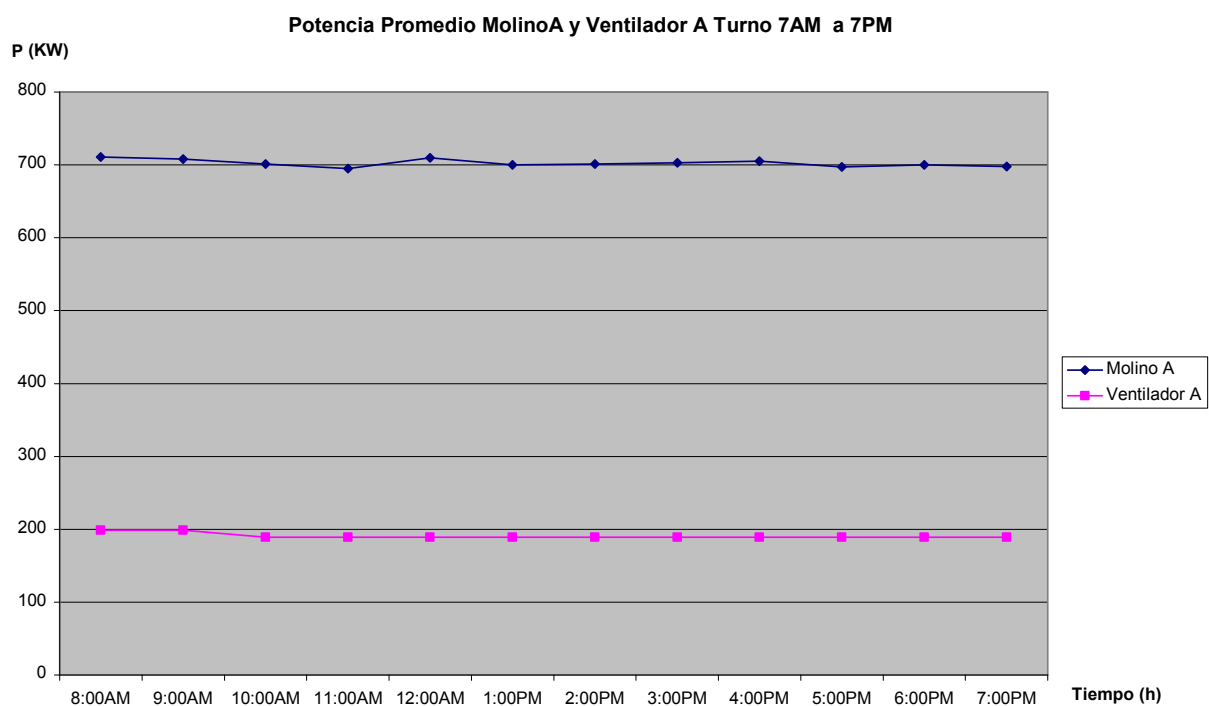




Tabla No 8. Turno 7 PM a 7 AM

Hora	UM	Potencia Promedio	
		Molino A	Ventilador A
8:00PM	KW	698	189
9:00PM	KW	697	189
10:00PM	KW	703	189
11:00PM	KW	698	189
12:00PM	KW	700	189
1:00AM	KW	699	189
2:00AM	KW	700	189
3:00AM	KW	707	189
4:00AM	KW	710	189
5:00AM	KW	692	189
6:00AM	KW	697	189
7:00AM	KW	701	189

Grafico No 9.

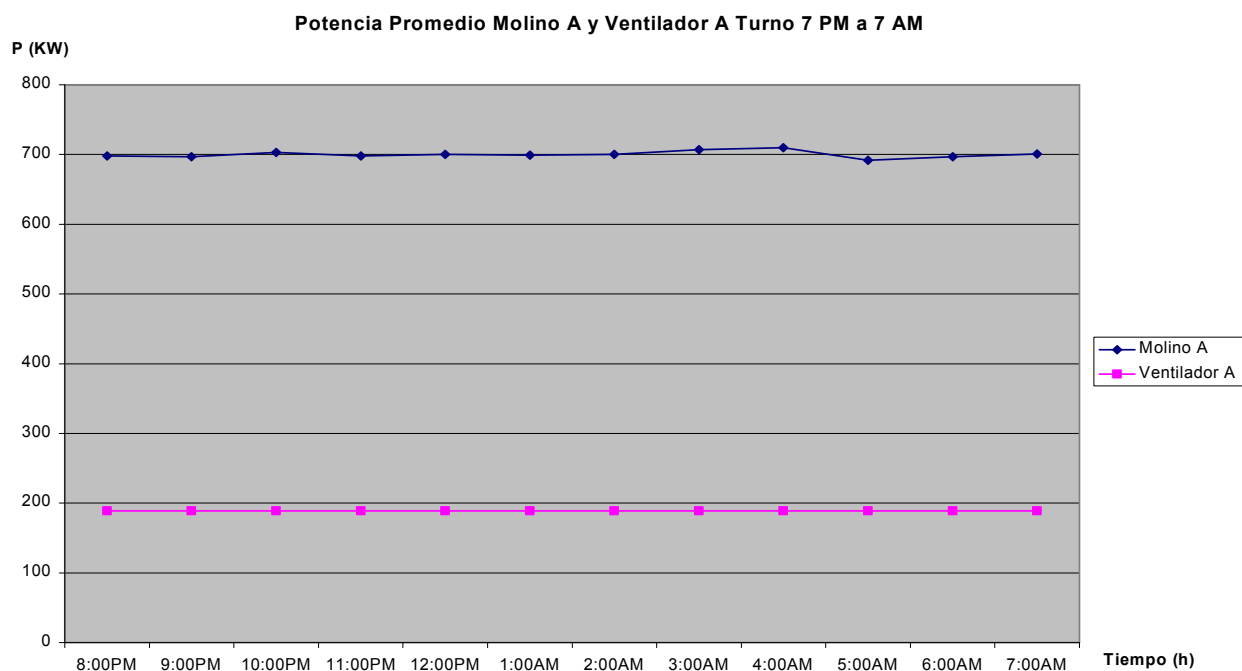




Tabla No 9. Turno 7 AM a 7 PM (Molino y Ventilador B)

Hora	UM	Potencia Promedio	
		Molino A	Ventilador A
8:00AM	KW	711	162
9:00AM	KW	711	162
10:00AM	KW	707	162
11:00AM	KW	709	162
12:00AM	KW	714	162
1:00PM	KW	708	162
2:00PM	KW	710	162
3:00PM	KW	707	162
4:00PM	KW	711	162
5:00PM	KW	710	162
6:00PM	KW	714	162
7:00PM	KW	712	162

Grafico No 10.

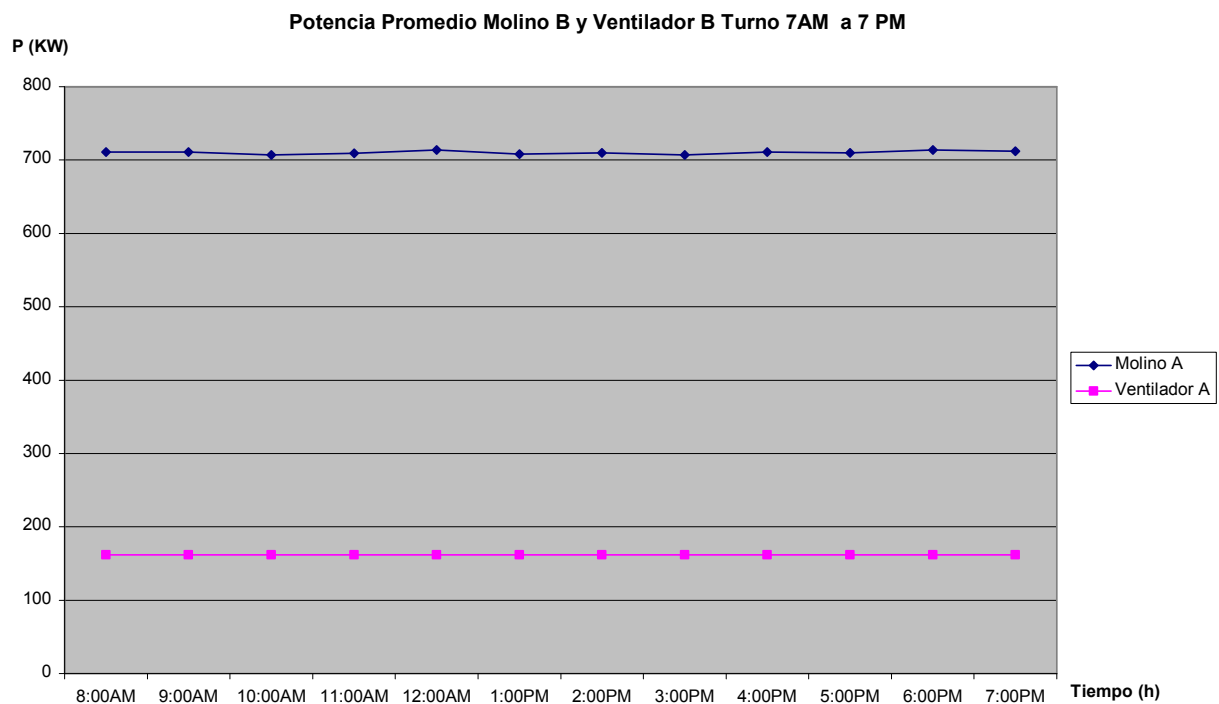
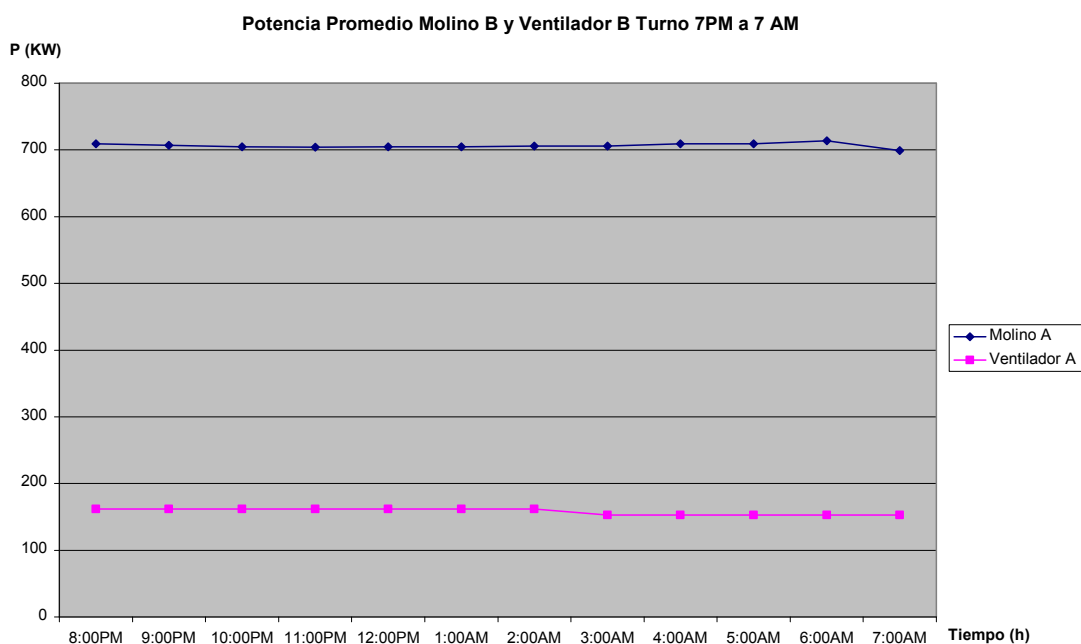




Tabla No 10. Turno 7 PM a 7 AM

Hora	UM	Potencia Promedio	
		Molino A	Ventilador A
8:00PM	KW	709	162
9:00PM	KW	707	162
10:00PM	KW	705	162
11:00PM	KW	704	162
12:00PM	KW	705	162
1:00AM	KW	705	162
2:00AM	KW	706	162
3:00AM	KW	706	153
4:00AM	KW	709	153
5:00AM	KW	709	153
6:00AM	KW	714	153
7:00AM	KW	699	153

Grafico No 11.





3.6 Alimentación desde el SEN a la Empresa del Níquel "Cmdte Rene Ramos Latour".

El SEN utiliza diferentes líneas de transmisión. En Cuba los principales son los de 100 KV y 220 KV, es por eso que las CTE poseen a la salida varios transformadores de alta potencia que llevan las tensiones a esos valores según el circuito que estos alimenten. Cuando la distancia es demasiado grande entre los CTE y los comunicadores ocurren pérdidas inevitables que aumentan con la distancia y dependen fundamentalmente de la sección de del conductor, el tipo de material con que esta ocurriendo este. Por esta razón la tensión que se transmite desde CTE disminuye de forma considerable.

Para amortiguar estas pérdidas existen varias subestaciones las cuales responden a la red la tensión adecuada.

3.6.1 Subestación La Pasa: Entrada de la ECRRL

Composición de la Subestación La Pasa.

Esta subestación esta formada por dos juegos de paneles de 3.4 KV y dos juegos de 13.8 KV, dos transformadores de 34.5/13.8Kv de 16MVA, que tienen la finalidad de lograr un suministro eléctrico fiable desde el SEN hacia la Empresa del Níquel "Cmdte Rene Ramos Latour".

La alimentación general A1 para la planta de Secaderos y Molinos y esta formado por:

- Interruptor con poder de cierre y corte H976 en HF6.
- Protección multifunción tipo SMOR 1000 B.
- Analizador de redes tipo CMWK.
- Llave de mando para cierre y la apertura del interruptor H976.
- Lámparas de señalización del estado del interruptor H976.
- Botón de desbloqueo de disparo de la protección.

El otro alimentador General A2 para la planta de Secadero y Molino esta formado por:

- Interruptor con poder de cierre y corte H976 en HF6.
- Protección multifunción tipo SMOR 1000 B.





- Analizador de redes tipo CMWK.
- Llave de mando para cierre y la apertura del interruptor H977.
- Lámparas de señalización del estado del interruptor H977.
- Botón de desbloqueo de disparo de la protección.

3.7 Análisis de los resultados

Realizando un estudio del comportamiento del consumo en el periodo analizado en la tabla No referida al comportamiento de las variables investigadas como la Productividad (Q), el consumo de energía (W) y el consumo específico (We), si comparamos los resultados obtenidos con el trabajo realizados al los años posteriores podemos llegar a la siguiente conclusión:

- La productividad alcanzada por el Molino B es mayor a la del Molino A.
- El consumo de energía eléctrica se comporto casi de la misma forma.
- El consumo específico de los molinos tuvo tendencia a arrojar una diferencia de 0.97KWh/t.
- Teniendo en cuenta las conclusiones anteriores se demuestra que el Molino B es mas eficiente que el Molino A.
-

Tabla No 11.

Parámetros	UM	Equipos	
		Molino A	Molino B
W	Kwh.	560,13	651,84
Q	t/h	78,29	79,05
We	Kwh/t	7,29	8,26

3.8 Valoración Económica para el Molino A y Molino B

El consumo de energía eléctrica ha crecido grandemente durante las dos últimas décadas del pasado siglo, valor ligeramente superior al ritmo del crecimiento económico y mas de la tasa de incremento de la población.

El consumo de energía en las diferentes esferas de la sociedad moderna no es uniforme, existen además diferencias en los países industrializados y aquellos subdesarrollados en el sector económico.





La demanda de energía eléctrica contratada por la empresa para los servicios de entrada del SEN a través de la subestación La Pasa es de 18000 KW. La tarifa de cobro aplicada es la A2, según Resolución No.311 del Ministro de Finanzas y Precios.

Para Empresa con tarifas A2 Industrial, el precio KW según los diferentes horarios establece lo siguiente en la tabla No.12 que aparece a continuación:

Tabla No 12.

Horario	Hora	Precio Kwh.
Pico	6:00PM a 10:00 PM 4 horas	0,075 CUC
Madrugada	10:00PM a 6:00 AM 8 horas	0,037 CUC
Día	6:00AM a 6:00 PM 12 horas	0,056 CUC

3.9 Análisis Económico en función del Consumo Específico de Energía Eléctrica (We) y la Productividad (Q).

Tabla No 13.

Molino A			
89,05t/h		7,86KWh/t	
700KWh			
	Día	Mes(30)	Año(365)
Consumo	16800	504000	6132000
Horario Pico	2800	84000	1022000
Costo CUC	210	63000	76650
Horario Madrugada	5600	168000	2044000
Costo CUC	207,2	6216	75628
Horario Día	8400	252000	3066000
Costo CUC	470,4	14112	171696
Total Costo CUC	887,6	26628	323974



Tabla No 14.

Molino A			
74,41t/h		9,46KWh/t	
704Kwh			
	Día	Mes(30)	Año(365)
Consumo	16896	506980	6167040
Horario Pico	2896	84400	1027840
Costo CUC	212,2	6336	77188
Horario Madrugada	5632	168960	2055680
Costo CUC	208,38	6251,52	76060,16
Horario Día	8448	253440	3083520
Costo CUC	473,08	14192,64	172677,12
Total Costo CUC	893,66	26780,16	325925,28

Realizando un análisis en estas dos tablas correspondientes a el Molino A se llega a la siguiente conclusión que logrando el consumo específico de energía de 9.46KWh hasta 7.86KWh se ahorrarían en el año 1951.28 CUC.

Tabla No 15.

Molino B			
92,42t/h		7,5KWh/t	
694KWh			
	Día	Mes(30)	Año(65)
Consumo	16656	499680	6079440
Horario Pico	2776	83280	1013240
Costo CUC	208,2	6246	75993
Horario Madrugada	5552	166560	2076480
Costo CUC	205,42	6162,7	74979,76
Horario Día	8328	249840	7039720
Costo CUC	466,36	13991,04	170224,32
Total Costo CUC	879,98	26399,74	321197,08



Tabla No 16.

Molino B			
75,83t/h		9,5KWh/t	
721 Kwh.			
	Día	Mes(30)	Año(365)
Consumo	17304	519120	6315960
Horario Pico	2884	86520	1052660
Costo CUC	216,3	6489	78949,5
Horario Madrugada	5768	173040	2105320
Costo CUC	213,41	6402,48	77896,84
Horario Día	8652	259560	3157980
Costo CUC	484,51	14535,36	176846,88
Total Costo CUC	914,21	27426,84	333693,22

Haciendo un análisis al Molino B en estas dos tablas se llega a la siguiente conclusión que logrando disminuir el consumo específico de energía eléctrica de 9.5 Kwh/t a 7.5KWh/t se ahorraría el pías al año 12496.14 CUC.

De modo resumen se puede afirmar que si el sistema estuviera más estable en cuanto a la producción, los molinos lograrán una mayor productividad y por siguiente disminuirían aun más sus consumos específicos por lo que e costo de producción seria menor.



3.10 Conclusiones

En este capítulo se analizó a través del gráfico de pastel que el consumo de energía de la planta de Preparación del Mineral representa en el consumo total del SEN de la empresa el 39.7%. También quedó demostrado según sus gráfico según los gráficos de We vs Q y las tablas de mediciones realizadas que tanto el molino A como el molino B trabajan con productividades elevadas, sus consumo específico tienden a disminuir o viceversa.

También se ha llegado a la conclusión mediante el análisis económico que los costos de Kwh del proceso de molienda se hace menor a medidas que la productividad de los molinos este entorno a la capacidad nominal (100t/h).



Conclusiones Generales.

Quedo demostrado que el consumo de energía eléctrica de la planta de Preparación del Mineral representa la Mayor parte de la Empresa. El proceso de molienda ocupa el primer lugar en el consumo de energía eléctrica del resto de todos los demás proceso por donde pasa el mineral laterítico.

Si comparamos los resultados obtenidos con los años anteriores podemos decir que:

- La productividad alcanzada por el Molino B es superior al Molino A.
- El consumo de energía se comporto en ambos molinos casi de la misma forma.
- El consumo específico de energía de ambos molinos arrojo una diferencia de 0.97KWh/t.
- Tendiendo en cuenta la conclusión anterior se demuestra que el Molino B tiene una mayor estabilidad que el Molino A. Esto corrobora con el personal de operación y de los técnicos de la planta.

En el análisis económico quedo demostrado lo siguiente:

- Logrando el consumo específico de energía de 9.46KWh hasta 7.86KWh se ahorrarían en el año 1951.28 USD en el Molino A
- En el Molino B logrando disminuir el consumo específico de energía eléctrica de 9.5 Kwh/t a 7.5KWh/t se ahorraría el país al año 12496.14 USD.





Recomendaciones

- No se debe operar los molinos y los ventiladores ya que esto provoca un aumento del consumo de energía eléctrica en la empresa.
- Mantener el flujo del mineral por encima del 60% para que los molinos no operen con baja productividad ya que esto incrementa el consumo específico de energía.
- Aumentar la eficiencia en los secaderos para que la humedad de salida del mineral se encuentre en los parámetros requeridos.
- Realizar un estudio para un control más eficaz de las cargas de bolas de los molinos.
- Darle continuidad a este trabajo realizando un estudio a los restantes equipos pertenecientes a la Unidades de Moliendas de altos consumos.





REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Chiavenato, Idalberto. [Introducción](#) a la Teoría General de la Administración. 3ra. [Edición](#). Edit. McGraw-Hill. 1992.
- Bertalanffy, Ludwig. Teoría General de Sistemas. Petrópolis, Vozes. 1976.
- Calas Laurencio, Roberto. Mejoramiento del sistema de control automático de los molinos de bolas de la planta de Secaderos y Molinos de la Empresa Rene Ramos Latour. Reynaldo Laborde Brown (Tutor).
- Colectivos de Autores. Trituración, Desmenuzamiento y Cribado del Mineral.
- Turichin, M.A. Mediciones Eléctricas. Editorial Pueblo y educación. 1966.
- Hernández Saldivar, Gaspar. Prueba de máxima productividad sin petróleo adictivo realizada en la Unidad de Molienda B. Centro de Investigaciones Lateríticas.Nicaró.1998.
- Hernández Zaldívar, Gaspar. Determinación de las características químicas y físicas del mineral que se alimenta actualmente en los Molinos. Centro de Investigaciones Lateríticas.Nicaró.1998.
- Vargas Estévez, José Manuel. Comportamiento Energético de Proceso de Molienda en la Empresa Rene Ramos Latour. Reynaldo Laborde Brown (Tutor).Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico .2003.
- Colectivo de Autores. Ahorro de Energía y Respeto Ambiental .Editora Política. Habana.2002.



ANEXOS

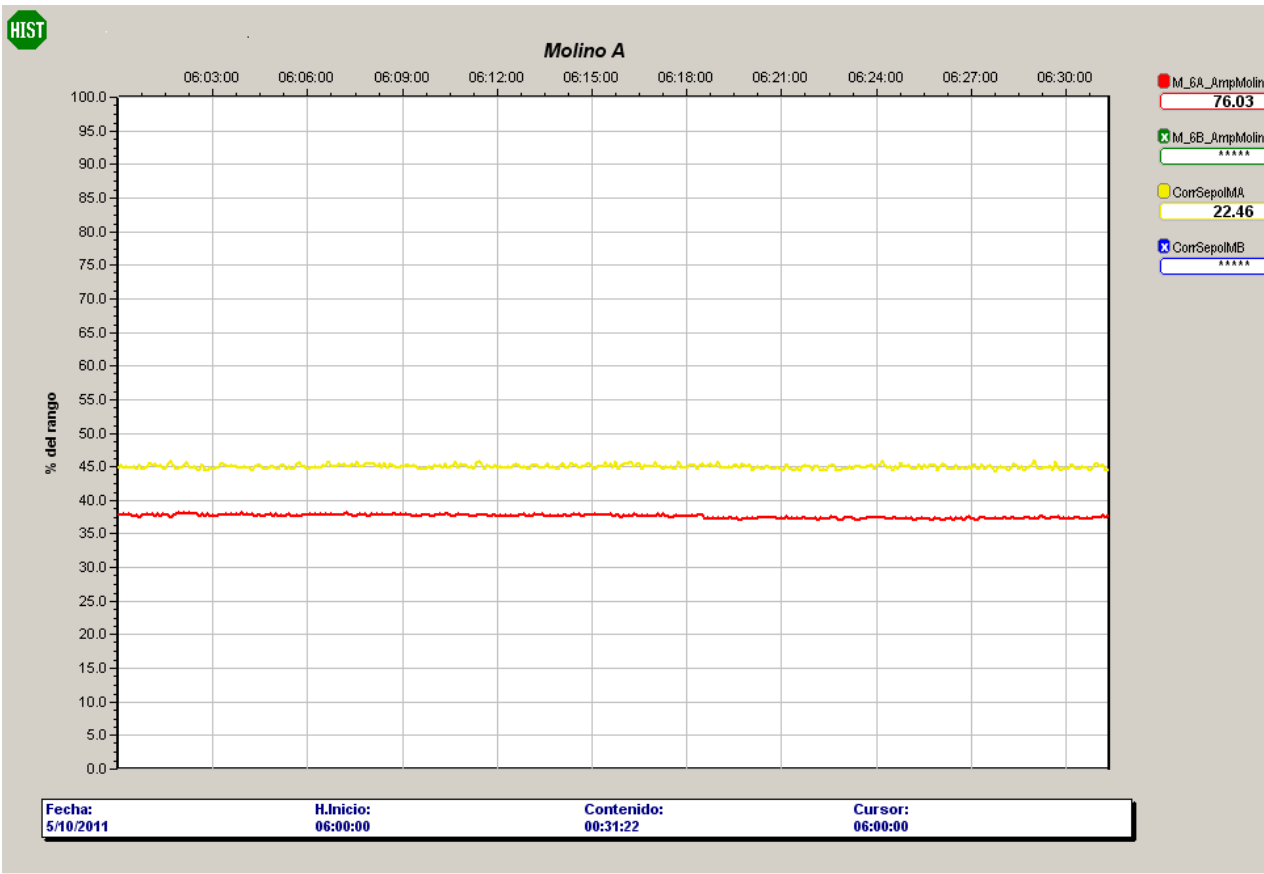
Anexos No 1. Análisis del Consumo Energético en el Molino A y Ventilador A

Turno	Molino A					Ventilador A	
	I (A)	KWh	Producción (T)	Q (t/h)	We(KWh/t)	I (A)	KWh
7AM a 7PM	37	349					
7PM a 7AM	44	413	719	78,41	5,26718531	11,42	103,37
7AM a 7PM	3,54	60	401	89,31	0,67181727	13,24	119,8
7PM a 7AM	25	240	566	77,22	3,10800311	2,01	18,18
7AM a 7PM	12	119	195	79,59	1,49516271	7,37	66,71
7PM a 7AM	50	471	238	78,03	6,03613995	3,62	32,75
7AM a 7PM	63	588	590	81,6	7,20588235	12,66	105,71
7PM a 7AM	31	293	337	79,85	3,66938009	18,03	163,1
7AM a 7PM	0,2	1,94	330	82,5	0,02351515	8,93	74,63
7PM a 7AM	37	397	775	72,97	5,44059202	0,18	1,64
7AM a 7PM	75	700	610	89,05	7,86075239	10,75	89,82
7PM a 7AM	58	538				21,83	197,5
7AM a 7PM	68	637	730	73	8,7260274	16,65	139,91
7PM a 7AM	74	693	1015	84,58	8,19342634	19,51	176,53
7AM a 7PM	43	403	900	75	5,37333333	21,41	178,83
7PM a 7AM	75	699	934	80,03	8,73422467	12,65	114,5
7AM a 7PM	63	641	935	77,91	8,22744192	18,11	180,92
7PM a 7AM	76	744	585	81,25	9,15692308	21,83	163,88
7AM a 7PM	75	702	610	67,77	10,3585657		182,31
7PM a 7AM	76	646	915	76,25	8,47213115	21,41	193,73
7AM a 7PM	56	631	940	78,33	8,05566194	21,41	178,83
7PM a 7AM	74	692	890	74,16	9,33117584	15,8	142,92
7AM a 7PM	77	721	935	77,91	9,25426774	21,16	176,74
7PM a 7AM	77	716	744	83,68	8,55640535	22,16	200,52
7AM a 7PM	75	703	950	79,16	8,88074785	22,33	186,49
7PM a 7AM	76	704	1010	84,16	8,36501901	21,83	197,5
7AM a 7PM	44	410	920	76,66	5,34829116	22	183,7
7PM a 7AM	76	705	1045	86,66	8,13524117	12,74	115,26
7AM a 7PM	75	702	885	73,33	9,57316242	22	183,7
7PM a 7AM	75	700	625	84,58	8,27618822	21,15	191,36
7AM a 7PM	68	633	600	73,75	8,58305085	21	189,96
7PM a 7AM	76	704	725	74,41	9,46109394	19,26	174,28
7AM a 7PM	65	607	735	70,59	8,59895169	21,33	192,98
7PM a 7AM	72	688	910	73,01	9,42336666	19,26	178,48
7AM a 7PM	70	656	790	76	8,63157895	21	194,54
7PM a 7AM	71	666	852	75,83	8,78280364	21	189,96
7AM a 7PM	71	658	421	74,63	8,81682969	21,16	191,47
7PM a 7AM	70	654	885	77,45	8,44415752	21	189,96
Promedio	59,3089474	560,13	729,083333	78,295	7,29273604	21	189,96

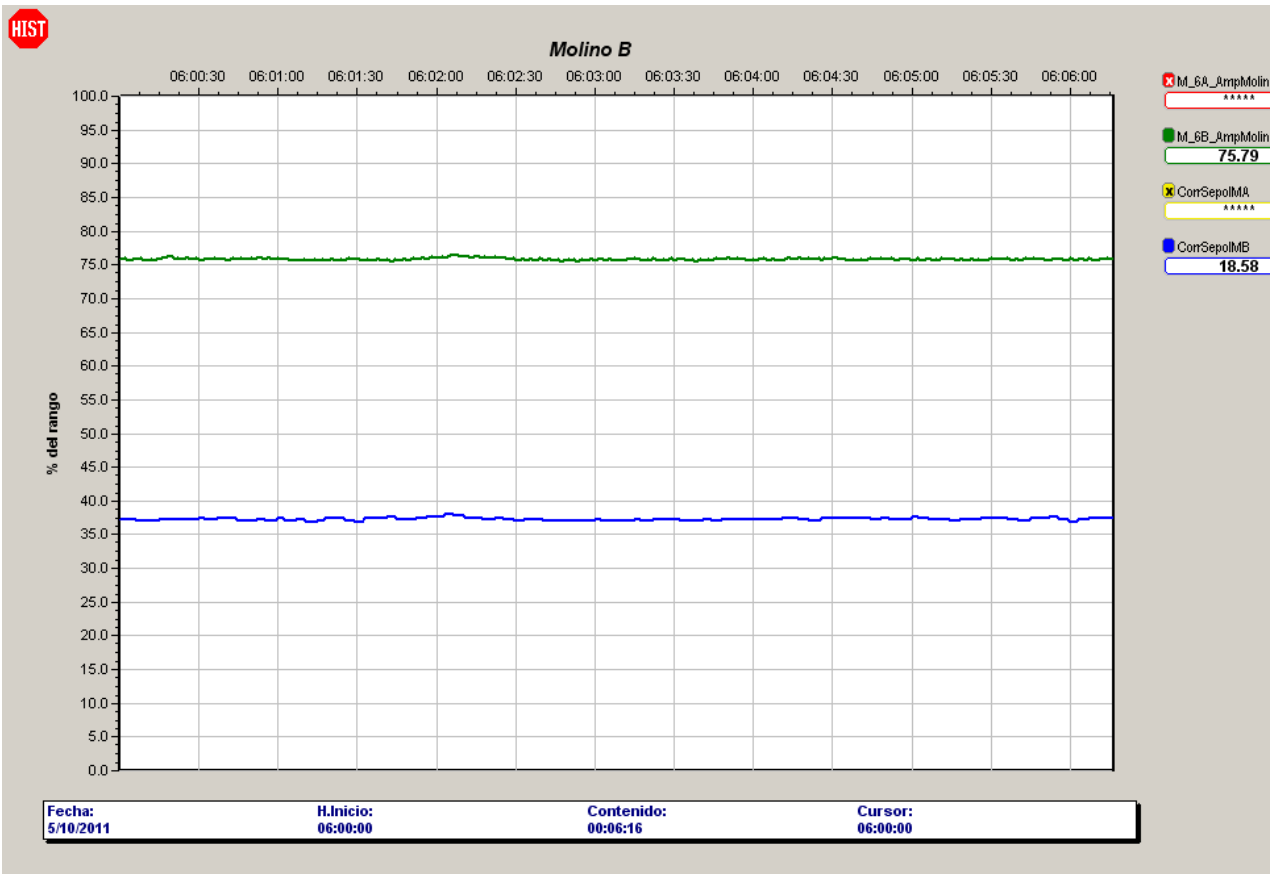
Anexos No 2 Análisis del Consumo Energético en el Molino B y Ventilador B

	Turno	Molino B					Ventilador B	
		I (A)	Kwh.	Producción (T)	Q (t/h)	We(KWh/t)	I (A)	KWh
1de May	7AM a 7PM	56	521	945	83,41	6,24625345	13,15	119,023088
	7PM a 7AM	75	699	940	78,33	8,92378399	17,5	158,307975
2 de May	7AM a 7PM	74	694	795	92,44	7,50757248	17,41	157,554128
	7PM a 7AM	75	696	913	79,74	8,72836719	17,5	158,307975
3 de May	7AM a 7PM	68	637	960	80	7,9625	17,5	158,307975
	7PM a 7AM	70	654	960	80	8,175	16,01	133,691955
4 de May	7AM a 7PM	69	545	853	79,2	6,88131313	16,09	145,586798
	7PM a 7AM	63	586	905	81,31	7,20698561	14,6	121,956289
5 de May	7AM a 7PM	62	581	930	86,19	6,74092122	14,35	129,846463
	7PM a 7AM	69	643	795	76,66	8,38768589	16,01	133,691955
6 de May	7AM a 7PM	55	517	884	82,23	6,2872431	13,11	118,63675
	7PM a 7AM	74	687	930	80,89	8,49301521	17,53	147,32334
7 de May	7AM a 7PM	68	637	910	75,83	8,40036925	26,33	238,21581
	7PM a 7AM	74	691	637	78,35	8,81940013	17,5	146,130438
8 de May	7AM a 7PM	73	683	900	75	9,10666667	17,16	155,292585
	7PM a 7AM	75	696	894	80,04	8,69565217	17,41	145,434579
9 de May	7AM a 7PM	69	641	935	77,91	8,22744192	16,59	150,109883
	7PM a 7AM	77	714	940	78,33	9,1152815	18,23	164,918638
10 de May	7AM a 7PM	75	702	845	74,31	9,44691159	17,58	159,061823
	7PM a 7AM	69	646	915	76,25	8,47213115	17,5	146,130438
11 de May	7AM a 7PM	68	631	910	79,33	7,95411572	15,76	142,578947
	7PM a 7AM	74	692	890	74,16	9,33117584	17,15	155,176608
12 de May	7AM a 7PM	80	746	945	78,75	9,47301587	18,83	174,474825
	7PM a 7AM	79	736	981	86,96	8,46366145	18,75	160,341058
13 de May	7AM a 7PM	71	658	870	78,51	8,38109795	16,59	150,109883
	7PM a 7AM	77	716	950	79,16	9,04497221	18,07	163,526919
14 de May	7AM a 7PM	57	531	920	76,66	6,92668928	13,53	122,405988
	7PM a 7AM	76	712	1005	83,75	8,50149254	18,41	153,78489
15 de May	7AM a 7PM	76	710	880	73,33	9,68225828	18	162,83106
	7PM a 7AM	76	706	935	83,72	8,43287148	17,58	159,061823
16 de May	7AM a 7PM	50	469	885	73,75	6,35932203	11,62	105,176803
	7PM a 7AM	76	707	712	80,91	8,73810407	17,83	161,323365
17 de May	7AM a 7PM	69	646	910	75,83	8,51905578	16,01	144,832951
	7PM a 7AM	75	611	485	74,61	8,18925077	15,18	137,388707
18 de May	7AM a 7PM	71	663	685	78,73	8,42118633	18	162,83106
	7PM a 7AM	77	721	910	75,83	9,50811025	17,75	160,569518
19 de May	7AM a 7PM	64	601	745	77,04	7,80114226	14,35	129,869078
	7PM a 7AM	71	644	843	76,63	8,40401931	17,66	159,81567
Promedio		70,4473684	651,842105	874,921053	79,0547368	8,26200098	16,845526	149,832317

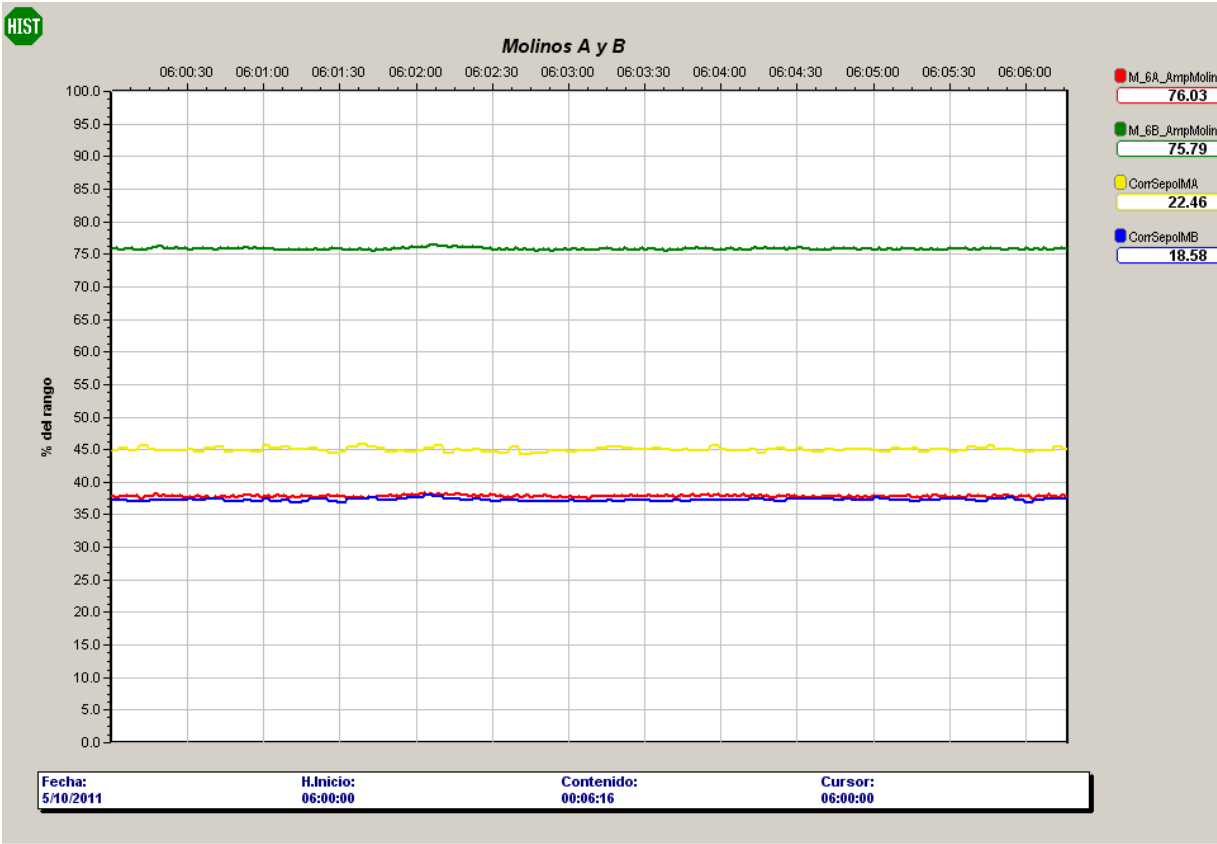
Anexo No 3. EROS



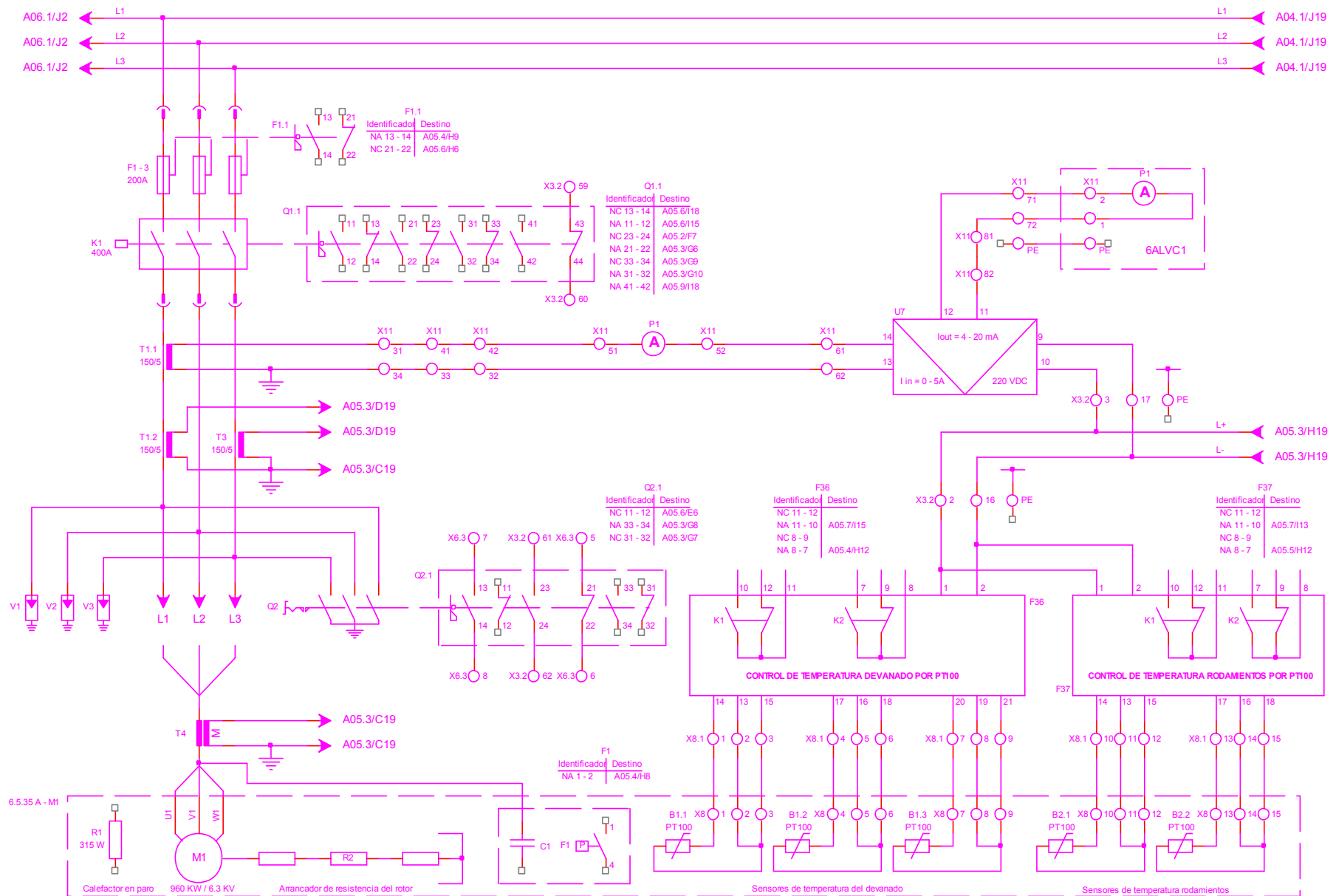
Anexo No 4. EROS



Anexo No 5. EROS



Anexo. 6



Fca

Monday, April 21, 2003

Planta de Molinos

Esquema control del molino 6.5.35 A - M1

Panel +A05

Rene Ramos Latour

Tamaño **A4**

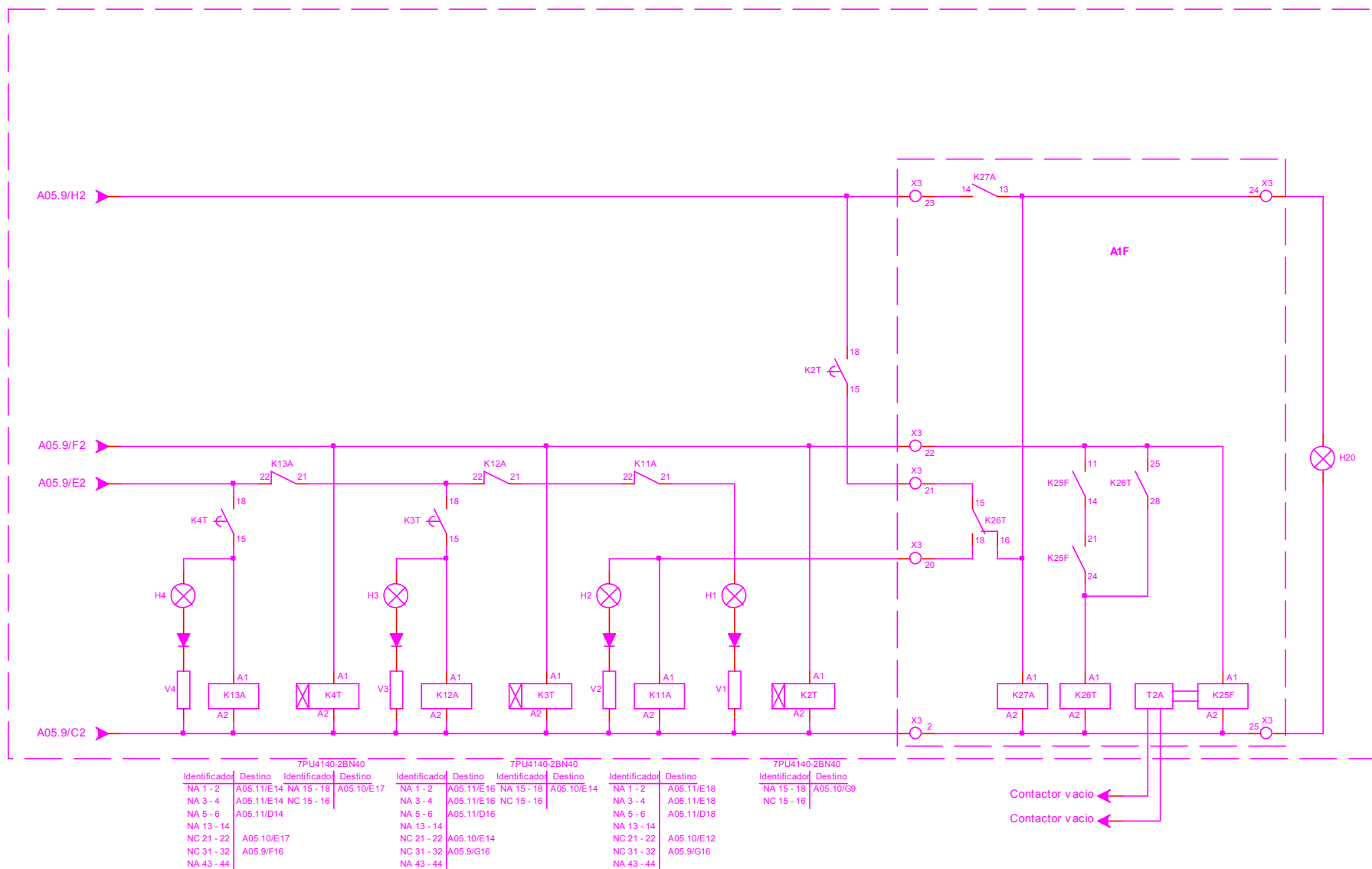
Número de plano **F 6MV1 E52 A05 / 0**

Fecha **Feb / 2003**

Revisión **Final**

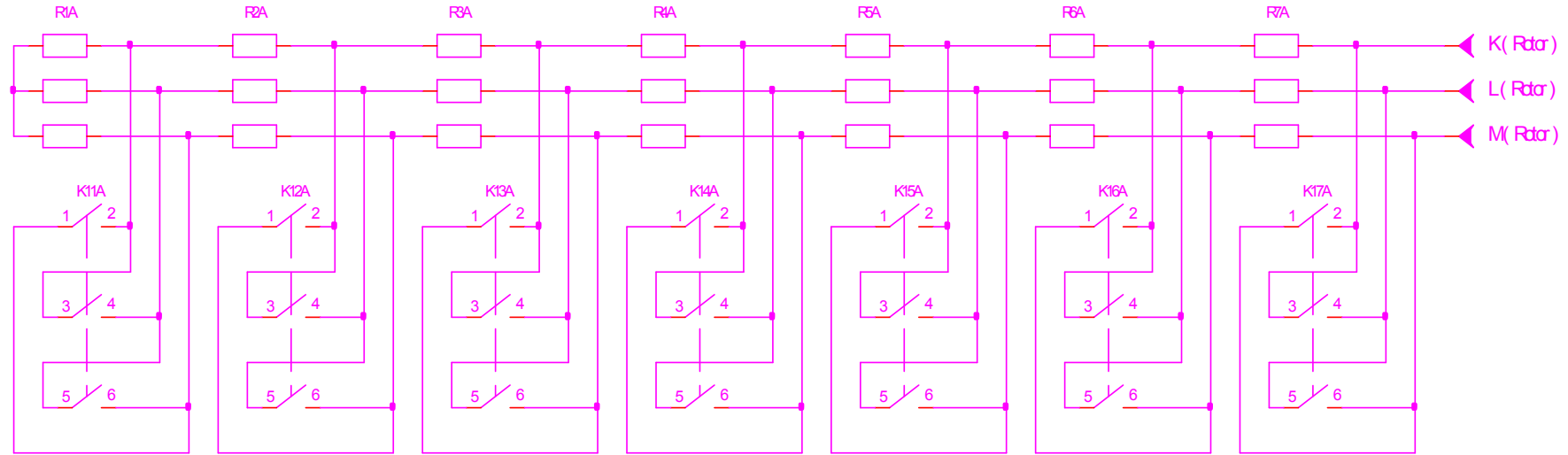
Hoja **A05.1** de **A05.11**

Anexo. 7



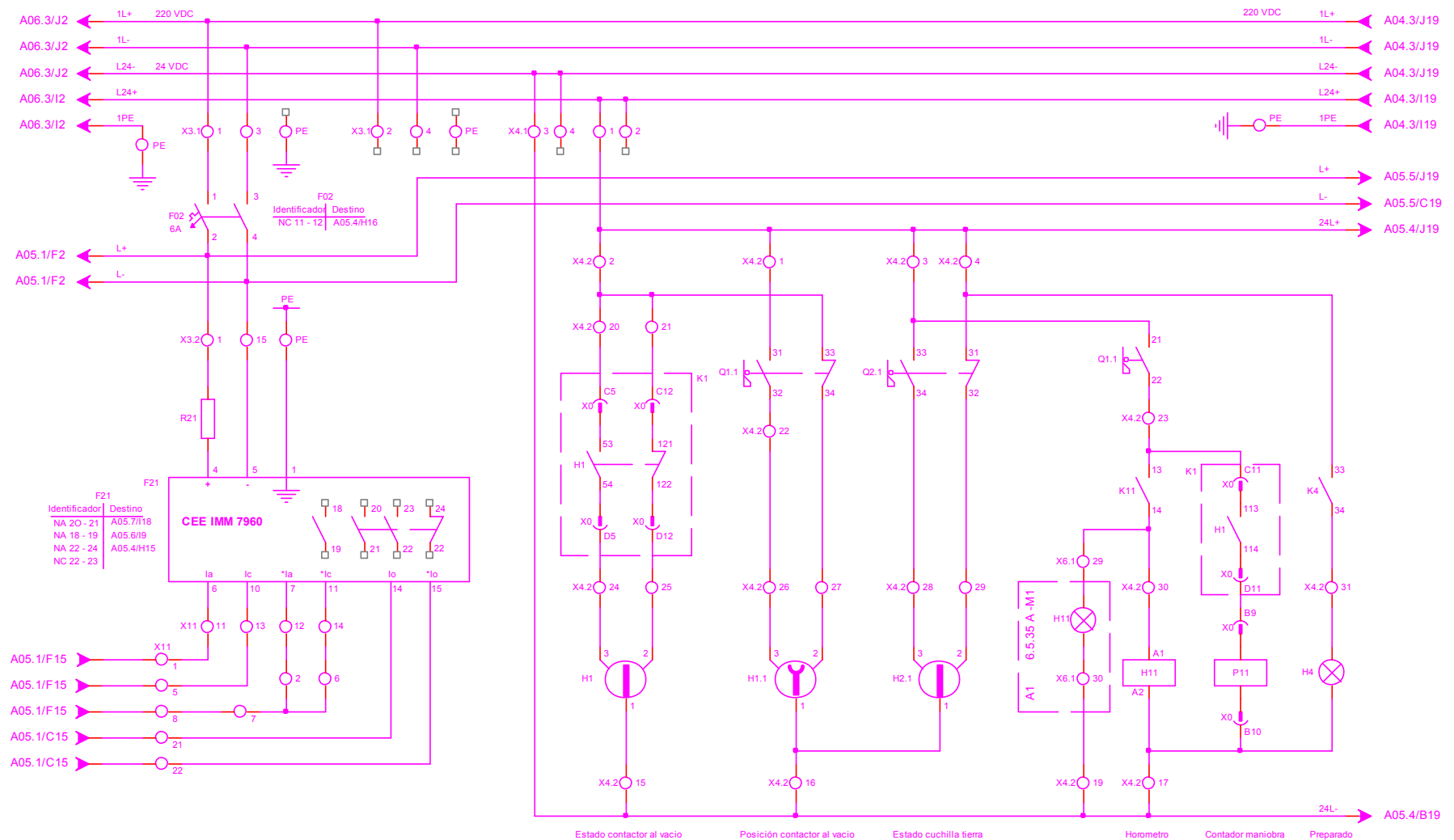
Fca	Planta de Molinos		Panel +A05		Rene Ramos Latour		Fecha	Feb / 2003
	Esquema control del molino 6.5.35 A - M1						Revisión	Final
Monday, April 21, 2003			Tamaño	A4	Número de plano	F 6MV1 E 52 A05 / 0	Hoja	A05.10 de A05.11

Anexo. 8



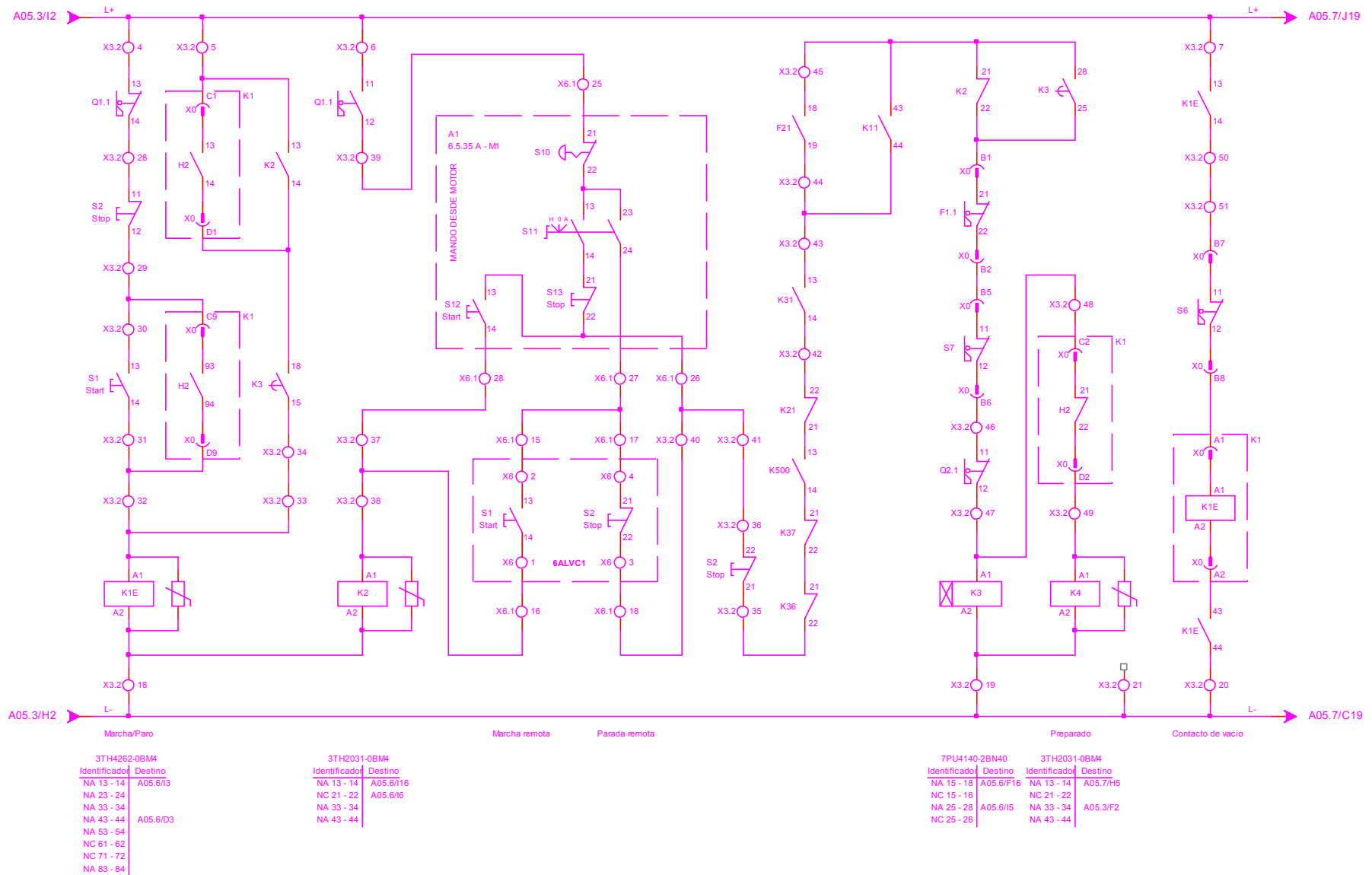
Fca	Planta de Molinos	Panel +A05	Rene Ramos Lator		Fecha Feb/2003
					Revisión Final
Monday, April 21, 2003	Esquema control del molino 6535A-MI		Tamaño A4	Número de plano F 6M/E52/A05 / 0	Hja A05.11 de A05.11

Anexo. 9



Fca	Planta de Molinos		Panel +A05		Rene Ramos Latour		Fecha	Feb / 2003	
	Esquema control del molino 6.5.35 A - M1						Revisión	Final	
Monday, April 21, 2003							Tamaño	A4	Número de plano

Anexo. 10



Fca

Monday, April 21, 2003

Planta de Molinos

Panel +A05

Esquema control del molino 6.5.35 A - M1

Rene Ramos Latour

Tamaño **A4**

Número de plano **F 6MV1 E 52 A05 / 0**

Fecha **Feb / 2003**

Revisión **Final**

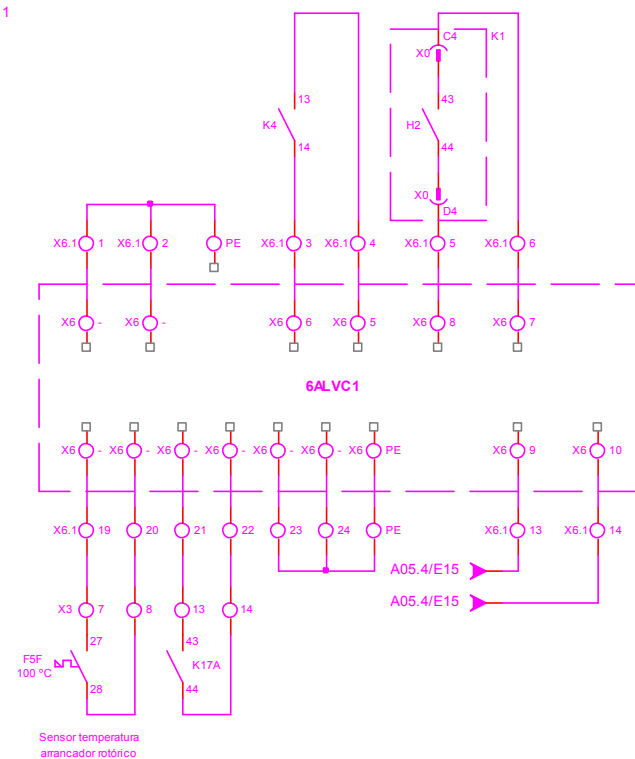
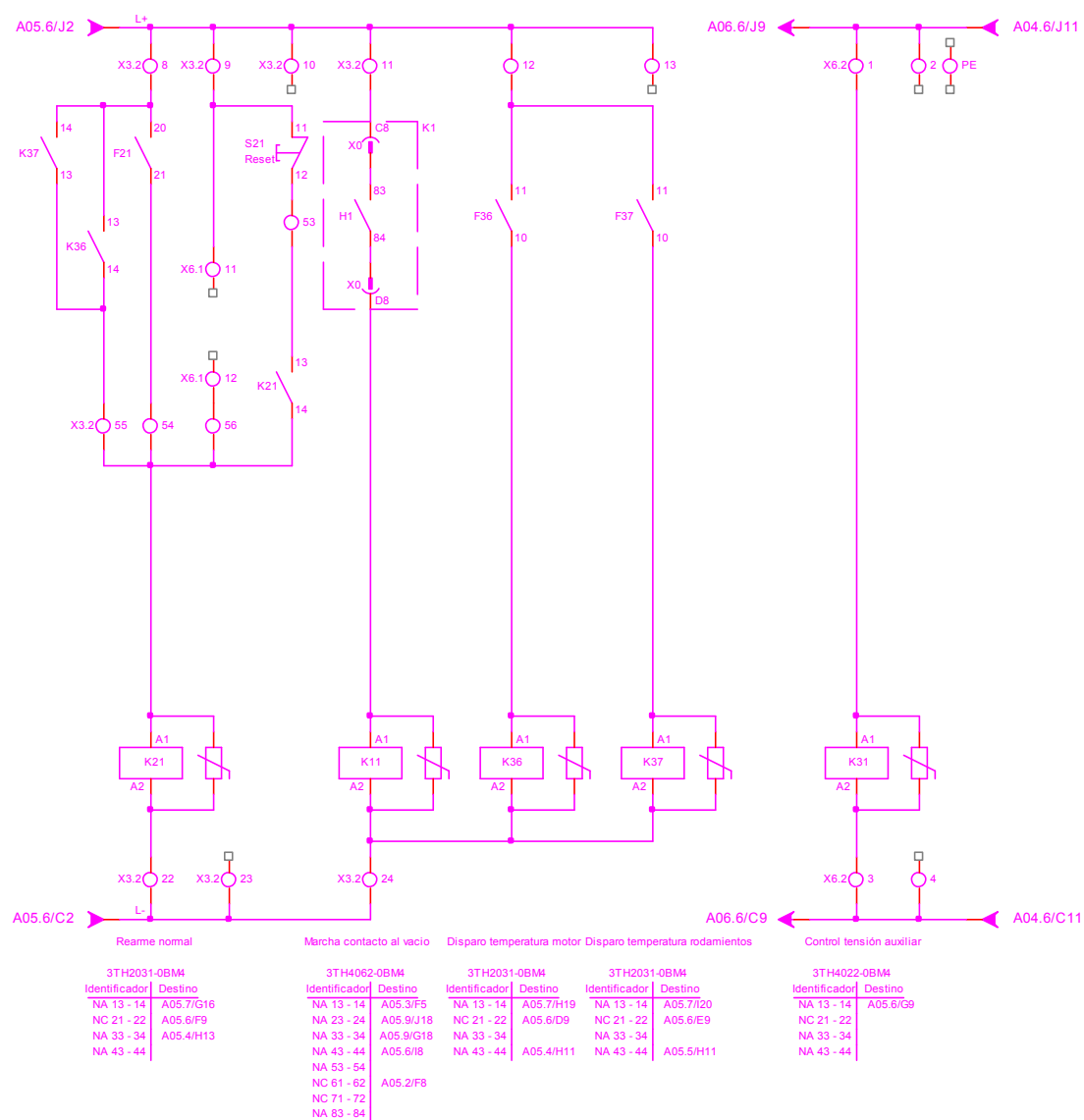
Hoja **A05.6** de **A05.11**



SOLID CONVERTER PDF

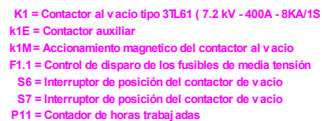
To remove this message, purchase the product at www.SolidDocuments.com

Anexo. 11



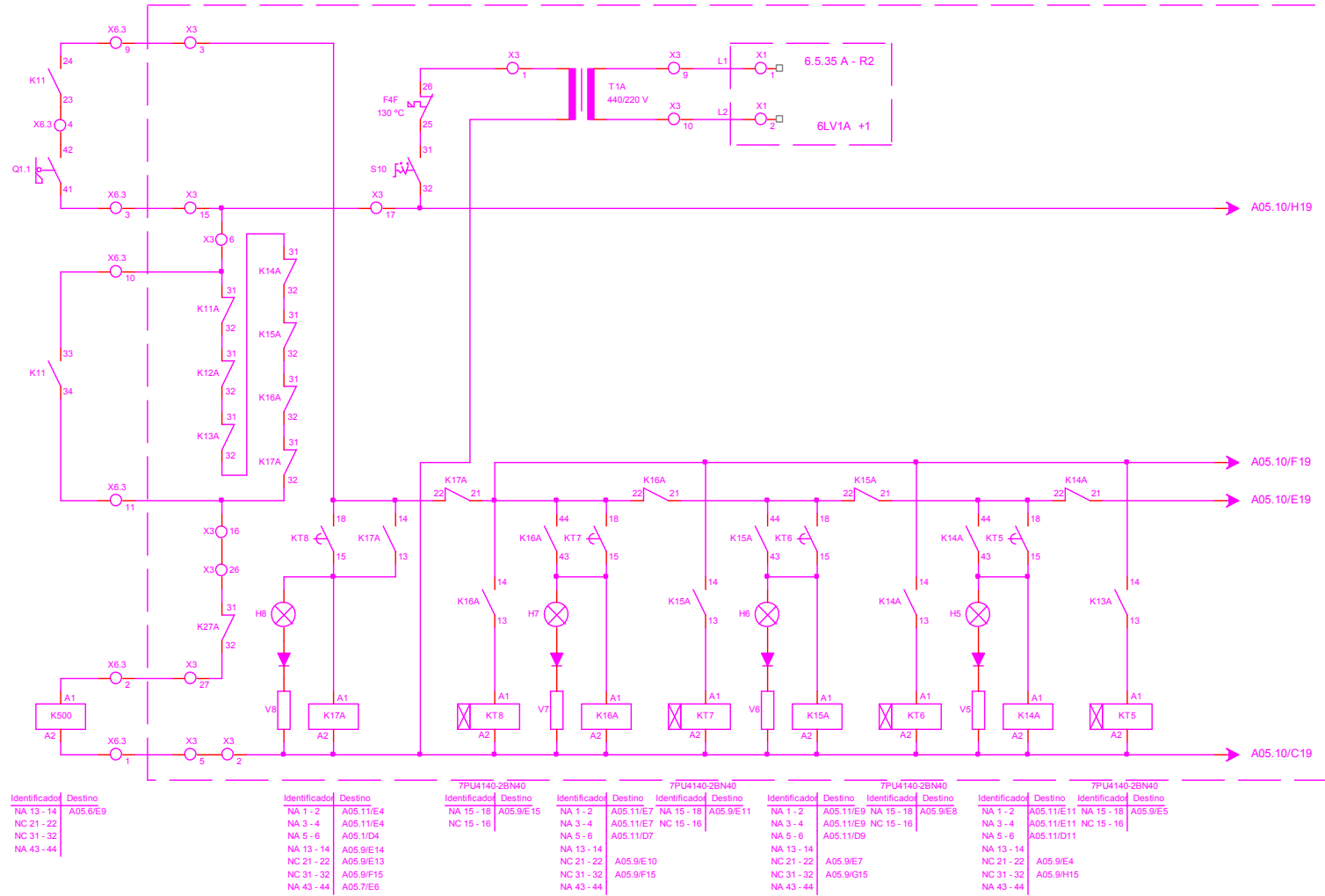
Fca	Planta de Molinos	Panel +A05	Rene Ramos Latour		Fecha	Feb / 2003
					Revisión	Final
Monday, April 21, 2003	Esquema control del molino 6.5.35 A - M1		Tamaño	A4	Número de plano	F 6MV1 E 52 A05 / 0
				Hoja	A05.7	de

Anexo. 12



Fca	Planta de Molinos Esquema control del molino 6.5.35 A - M1	Panel +A05		Rene Ramos Latour	Fecha Feb / 2003
Monday , April 21, 2003					Revisión Final
			Tamaño A4	Número de plano F 6MV1 E52 A05 / 0	Hoja A05.8 de A05.11

Anexo. 13



Fca	Planta de Molinos		Panel +A05	Rene Ramos Latour	Fecha	Feb / 2003
	Esquema control del molino 6.5.35 A - M1 (Modificado)				Revisión	Final
Monday , April 21, 2003			Tamaño	A4	Número de plano	F 6MV1 E 52 A05 / 0
					Hoja	A05.9 de A05.11