

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO DEL CAMBIO DE
TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELECTRICOS EN
TANDEM DE MOLINOS DEL INGENIO LA TRONCAL.”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización:

- **POTENCIA**
- **ELECTRONICA Y AUTOMATIZACION INDUSTRIAL**

Presentada por:

Álvaro Enrique Cueva Urgiles

Luis Ángel Molina Idrovo

José Manuel Matute Fernández

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A mi Padre Celestial, que con su amor y bondad guiaron mi camino por las sendas del conocimiento.

Mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que incondicionalmente me brindaron su apoyo y de manera muy especial a mis queridos padres Rigoberto Cueva y Guadalupe Urgiles por ser ejemplos de sacrificio, constancia, dedicación y por inculcarme siempre el deseo de superación en el campo profesional, ético y moral.

Álvaro Enrique Cueva Urgiles.

AGRADECIMIENTO

Al Señor nuestro Dios, por haber nacido en un hogar lleno de cariño y comprensión.

Agradezco a todos mis maestros quienes desde pequeño me formaron en el plano ético y técnico, un agradecimiento especial a mi padrino Carlos Campozano por su apoyo desinteresado en varias etapas de mi vida, al Ing. Holger Cevallos Director de la Tesis por su ayuda invaluable.

José Matute Fernández

AGRADECIMIENTO

A Dios, nuestro creador, por haberme dado la vida y la felicidad de compartir un hogar amoroso.

Agradezco a todas las personas que en el transcurso de la vida me han sabido orientar con sus sabios consejos en el camino del bien, especialmente a mis queridos padres Rosa Idrovo y Alfonso Molina .Un agradecimiento especial al Ing. Holger Cevallos Director de la Tesis por su ayuda invaluable.

Luis Molina Idrovo

DEDICATORIA

A Dios y a mis Padres Rigoberto y Maria, por haberme dado la oportunidad de obtener esta meta en mi vida profesional.

Con infinito amor a mis Padres.

Álvaro Enrique Cueva Urgiles.

DEDICATORIA

A mi madre Bella María, por su cariño y apoyo incondicional, a la memoria de mi padre Manuel por su ejemplo de amor y respeto hacia su familia.

A mis padres.

José Manuel Matute Fernández

DEDICATORIA

A mi esposa Esthela, a mis hijas: Luisa y Shirley que son el motivo de mi vida, a mí querida madre Rosa y a la memoria de mi padre Alfonso quien siempre vivirá en mi corazón.

Luis Molina Idrovo

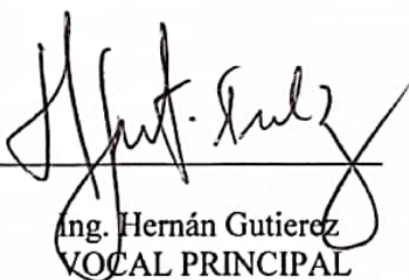
TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Holger Cevallos
SUBDECANO DE LA FIEC



Ing. Holger Cevallos
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Hernán Gutierrez
VOCAL PRINCIPAL



Ing. Juan Gallo
VOCAL PRINCIPAL

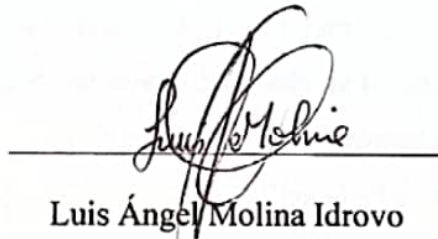
DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

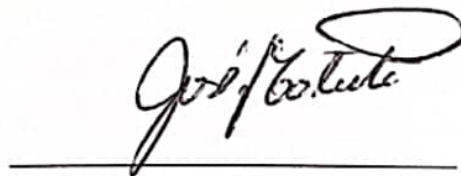
(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Álvaro Enrique Cueva Urgiles



Luis Ángel Molina Idrovo



José Manuel Matute Fernández

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar las ventajas técnicas y la rentabilidad económica que se obtienen al realizar el cambio de turbinas de vapor por motores eléctricos en el tandem de molinos en el Ingenio La Troncal. Enfocándose principalmente en el aumento de excedentes de energía eléctrica.

El capítulo 1 explica la necesidad que tiene el ingenio de incrementar su producción de excedentes, utilizando de mejor manera el vapor generado por la central térmica, debido a su condición de autoprodutor de energía eléctrica y su participación en la venta de excedentes en el MEM.

El capítulo 2 expone los fundamentos teóricos de las máquinas y equipos involucrados en la realización del proyecto.

En el capítulo 3 se analiza la justificación de la realización del proyecto basándose en balances de vapor y energía enfocándose en ventajas técnicas que se obtendrán con la realización del mismo.

El capítulo 4 es una descripción detallada de todos los equipos y máquinas eléctricas instaladas para la realización del proyecto.

En el capítulo 5 se hace un análisis utilizando los índices económicos del VAN y TIR para determinar la rentabilidad del proyecto a ejecutarse.

INDICE GENERAL.

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE PLANOS

INTRODUCCION

1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

1.1 COGENERACION.....	1
1.1.1 COMBUSTIBLE NO CONVENCIONAL.....	2
1.1.2 AUTOPRODUCTOR DE ENERGIA ELECTRICA.....	2
1.1.3 OPORTUNIDAD DE VENTA DE ENERGIA AL MEM.....	3
1.2 TANDEM DE MOLINOS.....	5
1.3 EFICIENCIA Y AHORRO DE ENERGIA.....	7
1.3.1 MEJOR UTILIZACIÓN DE LOS EQUIPOS EXISTENTES.....	7
1.3.2 UTILIZACION DE RECURSOS ANTES DESECHADOS.....	8
1.3.3 MAYOR PRODUCCIÓN DE ENERGIA UTILIZANDO RECURSOS YA EXISTENTES.....	8
1.4 MEJORAS EN EL FUNCIONAMIENTO DE TANDEM DE MOLINOS.....	9
1.4.1 MEJORAR CONTINUIDAD Y AUMENTAR EL RITMO DE MOLIENDA.....	9

1.4.2 CONTROL TOTAL DE TORQUE Y VELOCIDAD.....	10
1.4.3 MEJORAS EN EL AMBIENTE DE TRABAJO.....	10
1.4.4 REGISTRO PRECISO DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN TANDEM DE MOLINOS.....	11

2. MARCO TEORICO

2.1 MOTORES DE ALTA EFICIENCIA.....	12
2.1.1 EFICIENCIA DE UN MOTOR.....	14
2.1.2 CRITERIO PARA ELECCION DEL MOTOR.....	15
2.1.3 PERDIDAS ELECTRICAS Y MECANICAS.....	15
2.1.4 ESTIMACION DEL NIVEL DEL AHORRO ENERGETICO.....	19
2.2 LOS VARIADORES DE VELOCIDAD Y EL AHORRO DE ENERGIA.....	22
2.2.1 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN.....	22
2.2.2 VENTAJAS DEL USO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD.....	27
2.3 TURBINAS DE VAPOR	29
2.3.1 TIPOS DE TURBINAS DE VAPOR.....	30
2.3.2 OPERACIÓN DE LA TURBINA.....	30
2.3.3 EFICIENCIA MECANICA.....	32
2.4 PREPARACION Y MOLIENDA DE CAÑA DE AZUCAR.....	32
2.4.1 CONDUCTORES DE CAÑA.....	32
2.4.2 PREPARACION DE CAÑA.....	33
2.4.3 LAS MASAS.....	34

2.4.4 POTENCIA REQUERIDA.....	35
2.4.5 CONTROL DE PARÁMETROS.....	36
2.5 PRODUCCION DE VAPOR.....	37
2.5.1 CALDERAS A 300 PSI.....	38
2.5.2 CALDERA A 600 PSI.....	40

3. ANALISIS TECNICO

3.1 BALANCE DE VAPOR.....	42
3.1.1 CONSUMO DE VAPOR DE LOS TURBOGENERADORES.....	45
3.1.2 CONSUMO DE VAPOR DE LAS TURBINAS DE MOLINOS.....	48
3.1.3 INCREMENTO DEL VAPOR PARA GENERACION ELECTRICA.....	52
3.2 BALANCE DE ENERGIA.....	53
3.2.1 ENERGIA PRODUCIDA POR LOS TURBOGENERADORES.....	53
3.2.2 ENERGIA CONSUMIDA POR FABRICA.....	54
3.2.3 INCREMENTO DE LA VENTA DE EXCEDENTES AL MEM.....	56
3.2.4 ENERGIA PARA MOTORES ELECTRICOS DE MOLINOS.....	58
3.3 FUNCIONAMIENTO DEL TANDEM DE MOLINOS.....	59
3.3.1 CONTROL DE VELOCIDAD.....	60
3.3.2 CONTROL DEL PAR.....	61
3.3.3 VENTAJAS E INCONVENIENCIAS.....	62

4. DESARROLLO DEL PROYECTO DE ELECTRIFICACION DE MOLINOS

4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO.....	63
4.1.1 SELECCIÓN DE MOTORES ELECTRICOS Y SISTEMAS DE CONTROL.....	64
4.1.2 CUARTO ELECTRICO.....	68
4.1.3 MALLA A TIERRA.....	69
4.1.4 TRAZADO DE CANASTILLAS FUERZA Y CONTROL.....	70
4.1.5 CABLEADO DE FUERZA Y CONTROL.....	70
4.1.6 CABLEADO DE TIERRAS.....	73
4.1.7 PROTECCIONES ELECTRICAS.....	73
4.1.8 DIAGRAMA UNIFILAR.....	76
4.1.9 PRUEBAS ELECTRICAS.....	76
4.1.10 PARAMETRIZACION DE VARIADORES DE VELOCIDAD.....	76
4.1.11 LOGICA DE CONTROL DEL MOLINO.....	77
4.1.12 ENLACE CON SISTEMA DE CONTROL DELTA V.....	78
4.1.13 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA.....	79
4.2 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS.....	80
4.2.1 METALCLAD.....	81
4.2.2 CENTRO CONTROL MOTORES PICADORAS CAÑA.....	84
4.2.3 CENTRO CONTROL MOTORES MOLINOS.....	86
4.2.4 VARIADORES DE VELOCIDAD.....	87
4.2.5 TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO.....	92
4.2.6 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CUARTO ELECTRICO.....	93
4.2.7 SISTEMAS AUXILIARES.....	94

4.2.8 MOTORES ELECTRICOS.....	95
4.2.9 PUPITRES DE MANDO.....	98

5. ANALISIS ECONOMICO Y FINANCIERO DEL PROYECTO.

5.1 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD ECONOMICA.....	99
5.1.1 ESCENARIOS DE ESTUDIO.....	99
5.1.1.1 INGRESOS POR VENTA DE ENERGIA EN LOS PROXIMOS 12 AÑOS.....	100
5.1.1.2 COSTOS ANUALES.....	103
5.1.2 FLUJO DE CAJA.....	106
5.1.2.1 INGRESOS POR VENTA DE EXCEDENTES DE ENERGIA.....	107
5.1.2.2 COSTO DEL PROYECTO.....	108
5.1.2.3 DEPRECIACIONES.....	111
5.1.2.4 IMPUESTOS.....	113
5.1.2.5 UTILIDAD.....	113
5.1.2.6 AHORRO POR MEJORAS EN EL SISTEMA DE MOLIENDA.....	114
5.1.2.7 CALCULO DEL VAN Y TIR.....	116
5.2 RESULTADOS.....	117

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE FIGURAS

Fig. # 1.1 Tándem de Molinos.

Fig. # 1.2 Esquema básico de un tándem de molinos.

Fig. # 2.1 Curva de Eficiencia Vs %Carga de un motor asincrónico.

Fig. # 2.2 Curva de eficiencia Vs potencia de un motor asincrónico.

Fig. # 2.3 Diagrama de bloque de un variador de velocidad estándar.

Fig. # 2.4 Forma de onda de Voltaje y Corriente de salida de un variador PWM.

Fig. # 2.5 Turbina de Vapor.

Fig. # 2.6 Esquema de funcionamiento de una turbina de vapor.

Fig. # 2.7 Regulación de una turbina de contrapresión.

Fig. # 2.8 Esquema típico de conductores de caña.

Fig. # 2.9 Molino típico de 4 masas.

Fig. # 2.10 Partes de una Caldera a 300 PSI.

Fig. # 3.1 Transmisor de flujo de vapor de Caldera 1.

Fig. # 3.2 Balance de vapor sin electrificar molinos.

Fig. # 3.3 Flujo de vapor del ingenio La Troncal.

Fig. # 3.4 Relación de potencia generada Vs flujo de vapor.

Fig. # 3.5 Relación de Toneladas de vapor Vs Potencia de salida de una turbina a contrapresión de molinos del ingenio La Troncal.

Fig. # 3.6 Relación de Toneladas de vapor Vs Potencia de salida de una turbina a contrapresión de picadoras del ingenio La Troncal.

Fig. # 3.7 Balance de vapor con electrificación de molinos.

Fig. # 3.8 Venta de excedentes de energía sin electrificación de molinos.

Fig. # 3.9 Venta de excedentes de energía con electrificación de molinos.

Fig. # 4.1 Lazo Control de Nivel del Shute del Molino # 1.

Fig. # 4.2 Metalclad.

Fig. # 4.3 CCM picadoras de caña.

Fig. # 4.4 CCM molinos.

Fig. # 4.5 Vista frontal de un Drive ACS1000 ABB.

Fig. # 4.6 Diagrama elemental del Drive ACS1000 ABB.

Fig. # 4.7 Distribución de armario drive ASC1000.

Fig. # 4.8 Transformador de aislamiento.

Fig. # 4.9 Esquema de Circulación del aire en el interior del drive.

Fig. # 4.10 Unidad Aire Acondicionado.

Fig. # 4.11 Motor eléctrico de molinos.

Fig. # 4.12 Pupitre de mando control de motores de molinos.

INDICE DE TABLAS

TABLA # 1.1 Crecimiento de generación anual.

TABLA # 1.2 Precio de Energía con recursos renovables.

TABLA # 3.1 Producción de vapor Ingenio La Troncal.

TABLA # 3.2 Despacho real de vapor.

TABTLA # 3.3 Características de Turbinas de los Turbo generadores.

TABLA # 3.4 Consumo de vapor de los Turbo Generadores.

TABLA # 3.5 Producción de Energía (MWH).

TABLA # 3.6 Consumo energía en una hora típica de zafra sin electrificar molinos.

TABLA # 3.7 Consumo de energía en una hora estimada con electrificación de molinos.

TABLA # 3.8 Venta de excedentes de energía sin electrificar molinos.

TABLA # 3.9 Venta de excedentes de energía con electrificación de molinos.

TABLA # 4.1 Potencia y velocidad de turbinas a vapor y reductores de velocidad de cuchillas picadoras.

TABLA # 4.2 Potencia y velocidad de turbinas a vapor y reductores de velocidad de molinos.

TABLA # 4.3 Datos de potencia, velocidad y voltaje requerido en motores de picadoras de caña y molinos.

TABLA # 4.4 Potencia Nominal del proyecto de electrificación de molinos.

TABLA # 4.5 Distribución del cable de fuerza.

TABLA # 4.6 Características técnicas del Metalclad.

TABLA # 4.7 Características técnicas de los transformadores de aislamiento de drive molinos.

TABLA # 4.8 Características técnicas de motores de picadoras de caña.

TABLA # 4.9 Características técnicas de motores de molinos.

TABLA # 5.1 Ingresos por venta de energía sin electrificar molinos en los próximos 12 años.

TABLA # 5.2 Ingresos por venta de energía con electrificación de molinos en los próximos 12 años.

TABLA # 5.3 Costos de mantenimiento anual sin electrificación de molinos.

TABLA # 5.4 Costos de Operación y Mantenimiento en los próximos 12 años sin electrificación de molinos.

TABLA # 5.5 Estimación de costos de mantenimiento anuales con electrificación de molinos.

TABLA # 5.6 Costos de Operación y Mantenimiento en los próximos 12 años con electrificación de molinos.

TABLA # 5.7 Definición de l flujo de componentes para calculo del Flujo de Caja.

TABLA # 5.8 Ingresos netos por venta de excedentes de energía con la electrificación de molinos.

TABLA # 5.9 Detalle de costos de obras civiles del proyecto de electrificación de molinos.

TABLA # 5.10 Costos de equipos implementados en el proyecto de electrificación de molinos.

TABLA # 5.11 Costo total del proyecto de electrificación de molinos.

TABLA # 5.12 Costos financieros del proyecto de electrificación de molinos.

TABLA # 5.13 Costos por depreciación de equipos.

TABLA # 5.14 Ahorro por mejoras en el sistema de molienda.

TABLA # 5.15 Flujo de caja del proyecto de electrificación de molinos.

INDICE DE PLANOS.

MMILT – 001 IMPLANTACION DEL PROYECTO ELECTRIFICACION DE MOLINOS.

MMILT – 002 CUARTO ELECTRICO.

MMILT – 003 MALLA DE TIERRA.

MMILT – 004 TRAZADO CANASTILLAS DE FUERZA Y CONTROL.

MMILT – 005 CABLEADO DE FUERZA.

MMILT – 006 DIAGRAMA UNIFILAR

MMILT – 007 METALCLAD.

MMILT – 008 CCM PICADORAS DE CAÑA.

MMILT – 009 CIRCUITO FUERZA Y CONTROL DE ARRANCADOR DE MOTOR PICADORAS DE CAÑA

MMILT – 010 CCM MOLINOS

MMILT – 011 CIRCUITO DE FUERZA Y CONTROL DE ARRANCADOR DE MOTOR MOLINOS.

MMILT – 012 CONEXIONES TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO.

MMILT – 013 CONEXIONES DE CONTROL PUPITRE DE MANDO MOLINOS.

MMILT – 014 CORRIENTES DE FALLA

ANEXOS.

Anexo # 1 Cálculo malla a tierra.

Anexo # 2 Selección de conductores eléctricos.

Anexo # 3 Protecciones relay multilin 750.

Anexo # 4 Protecciones relay multilin 469.

Anexo # 5 Protecciones relay multilin 735.

Anexo # 6 Resultado de pruebas eléctricas.

Anexo # 7 Parametrización de Variadores de velocidad.

Anexo # 8 Ofertas motores eléctricos molinos y picadoras de caña.

INTRODUCCION

La oportunidad de vender excedentes de energía eléctrica mediante una regulación del CONELEC que permite a las plantas generadoras funcionar a base de fuente de energía renovables motiva a dichas centrales a realizar cambios en su infraestructura a fin aprovechar de mejor manera los recursos existentes para incrementar la producción de energía eléctrica. Los Ingenios Azucareros son un ejemplo de autoproducción de energía el combustible utilizado es el bagazo que es el residuo de la molienda, dicho combustible es utilizado por la central térmica donde por lo general existen calderas acutubulares que son las encargadas de generar el vapor para mover las turbinas de la planta moledora y de la central eléctrica. Un cambio importante que se debe realizar en un ingenio azucarero es el reemplazo de turbinas de vapor por motores eléctricos en la sección de molinos, esto se realiza con el fin de enviar el vapor utilizado por dicha sección de la planta hacia la central eléctrica para aumentar la producción de energía, dicho cambio representa una buena utilización del vapor generado por calderas debido a la mejor eficiencia de la turbina del generador eléctrico versus la turbina impulsora de un molino, esto aumentará el consumo interno de energía de la planta pero al mismo tiempo se registra un aumento de excedentes lo cual representa mayores ingresos económicos para dichas centrales. La ejecución de este proyecto requiere realizar una inversión inicial la cual debe ser compensada con la venta de energía eléctrica al MEM. A parte de la ventaja económica que este proyecto representa se obtiene también una ventaja técnica y funcional en el área de molinos, es así que con la realización del proyecto se mejora el ambiente de trabajo y el control en esta sección de la fábrica así como también se facilita el mantenimiento y el ritmo de molienda en el ingenio. En otros países productores de azúcar como Honduras y Guatemala se ha realizado este proyecto obteniéndose resultados favorables. El Ingenio La Troncal es el primer ingenio en el país que se ha propuesto ejecutar este proyecto con el objetivo de elevar su producción de excedentes hasta 14.6 MW.

CAPITULO 1

1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

1.1 COGENERACION ELECTRICA

En un gran número de procesos o plantas industriales existen al menos dos formas dominantes de energía: la térmica y la eléctrica. Comúnmente ellas se tratan en forma separada, es decir, la energía eléctrica se contrata con la distribuidora local y la térmica se produce en el sitio mediante calderas. La idea básica de la cogeneración es aumentar el rendimiento global integrando los dos sistemas energéticos. Como resultado, el sistema combinado es más eficiente y tiene menores costos que realizando la operación de cada recurso energético separadamente. En conclusión, el término cogeneración se utiliza para definir aquellos procesos en los que se produce simultáneamente energía eléctrica (o mecánica) y energía calorífica útil a partir de un sólo combustible.

El Ingenio La Troncal tiene como objetivo principal de su proceso la elaboración de azúcar, y dado a su infraestructura ha estado siempre en capacidad de producir energía eléctrica para su consumo propio.

En el año 2004 el Ingenio La Troncal construyó su propia subestación a nivel de 69 KV con el objetivo de enlazarse al Sistema Nacional Interconectado con la finalidad de entregar al Mercado Eléctrico Mayorista sus excedentes de energía como autoproducción. La próxima fase fue al año siguiente con el incremento de su capacidad de generación con la compra de un turbogenerador a contrapresión de 16.8 MW y finalmente desde el año 2006 se viene planificando la última fase del proyecto de cogeneración eléctrica con la electrificación de los molinos y

picadoras de caña para optimizar el uso del vapor para efectos de aumentar la generación de excedentes de energía eléctrica.

1.1.1 COMBUSTIBLE NO CONVENCIONAL.

En la actualidad hay una gran tendencia a nivel de industrias por la utilización de recursos no convencionales y renovables como fuente de energía primaria. Tal es el caso del bagazo de caña, tamo de arroz, lechuguin, entre otros.

A nivel de ingenios azucareros, del proceso de molienda de caña queda un residuo que es el bagazo, considerado como combustible no convencional y es una biomasa. Este bagazo es utilizado como combustible en las calderas para producción de vapor el cual se utiliza para el proceso de elaboración de azúcar y para la generación de energía eléctrica en tiempos de zafra.

Actualmente el ingenio procesa alrededor de 10600 toneladas de caña por día, de esta cantidad aproximadamente el 28.8 % es bagazo, que contiene en promedio un 50 % de humedad y 2% de pol.

1.1.2 AUTOPRODUCTOR DE ENERGIA ELECTRICA.

Según la ley del régimen del sector eléctrico del año 2004 El directorio del CONELEC define como **autoproduccion**: Productor independiente de electricidad que produce energía para su propio consumo, pudiendo tener excedentes a disposición de terceros o del Mercado Eléctrico Mayorista a través del Sistema Nacional Interconectado o de los sistemas aislados. La energía reservada para su consumo propio no podría ser menor al 30% de su producción total de energía.

Actualmente el ingenio cuenta con una capacidad instalada de 34.8 MW distribuidos en 4 turbogeneradores a contrapresión de las siguientes potencias nominales: TG1 y TG2 3 MW, TG3 12 MW y el TG4 16.8 MW.

En la Tabla # 1.1 se indica el crecimiento anual de generación eléctrica desde el año 2004 al 2006 previa a la electrificación de molinos.

ZAFRA	CONSUMO INTERNO MW	EXCEDENTES EN MW	GENER. MW	OBSERVACIONES
2004	6,40	0	6,40	Solamente consumo interno(TG1,TG2,TG3)
2005	6,40	6,60	13,00	Se inicia venta de excedentes(TG1,TG2,TG3)
2006 SIN ELECTRIF MOLINOS	7,00	9,80	16,80	Sin electrificar molinos (TG1,TG2,TG3,TG4)

TABLA # 1.1 Crecimiento de Generación Anual

1.1.3 OPORTUNIDAD DE VENTA DE ENERGIA AL MEM.

La normativa legal específica para auspiciar la cogeneración aún no existe en el Ecuador. Actualmente existe normativa para autoprodutores que venden excedentes de generación en el MEM como se indica en el Art. 59 del Reglamento General a la Ley de Régimen del Sector Eléctrico y en la regulación CONELEC No. 001/02. Además existe normativa legal para auspiciar la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales. Reg. 003/02, teniendo en cuenta que nuestro país, a nivel industrial tiene posibilidades importantes de usar BIOMASA.

En dicha regulación se establece los precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales y se presentan a continuación en la tabla # 1.2

Centrales	Precio (CTV\$/KWH)
Eólicas	10.05
Fotovoltaicas	13.65
Biomasa - Biogás	10.23
Geotérmicas	8.12

TABLA # 1.2 Precio de Energía con recursos renovables.

De acuerdo a la Regulación No. 003/02:

El precio de venta de energía está garantizado por un período de diez años, a partir de la fecha de entrada en generación. Despacho preferente de manera obligatoria de toda la energía eléctrica generada por las centrales que usan recursos renovables no convencionales.

Pago adicional por transporte en caso de requerirse construcción de línea de transmisión.

Según la Ley del Régimen del sector Eléctrico en su artículo 67 aclara:

Liberación de aranceles e impuestos adicionales y gravámenes que afecten la importación de materiales y equipos no producidos en el país. Exoneración de pago del Impuesto a la Renta, durante 5 años a partir de la instalación.

Lo expuesto anteriormente impulsa al desarrollo de proyectos de generación para venta de excedentes, por lo que los tres ingenios azucareros más grandes del país: Valdez, San Carlos y La Troncal comenzaron a invertir en la implementación de equipos para aumentar la capacidad de generación eléctrica.

1.2 TANDEM DE MOLINOS.



FIG. # 1.1 Tándem de Molinos

El tandem esta constituido por 6 molinos y 3 picadoras de caña impulsados actualmente por turbinas de vapor a contrapresión de 1500 HP a una presión de admisión de 300 psi y un escape de 20 psi. La velocidad desarrollada esta comprendido entre 3000 y 4600 RPM

Este sector es la parte principal de la fabrica y de su funcionamiento depende todo el proceso puesto que es el área donde se realiza la extracción del jugo de caña, y es la que proporciona el bagazo que es el combustible para la generación térmica.

Cada molino tiene acoplado a la turbina tres reductores de velocidad: Alta, media, baja, para obtener una velocidad final en las masas de 6 a 7 RPM; en la figura 1.2 se muestra un esquema básico que representa el tandem de molinos.

La caña una vez que es desfibrada, ingresa al primer molino M1 donde es triturada y se obtiene la primera extracción de jugo. La caña molida es enviada nuevamente hacia el siguiente molino M2 a través de un conductor intermedio hasta que sale finalmente del molino M6 el residuo conocido como bagazo, el cual es enviado a las calderas.

En la Fig. # 1.2 se indica las principales componentes de un tándem de molinos.

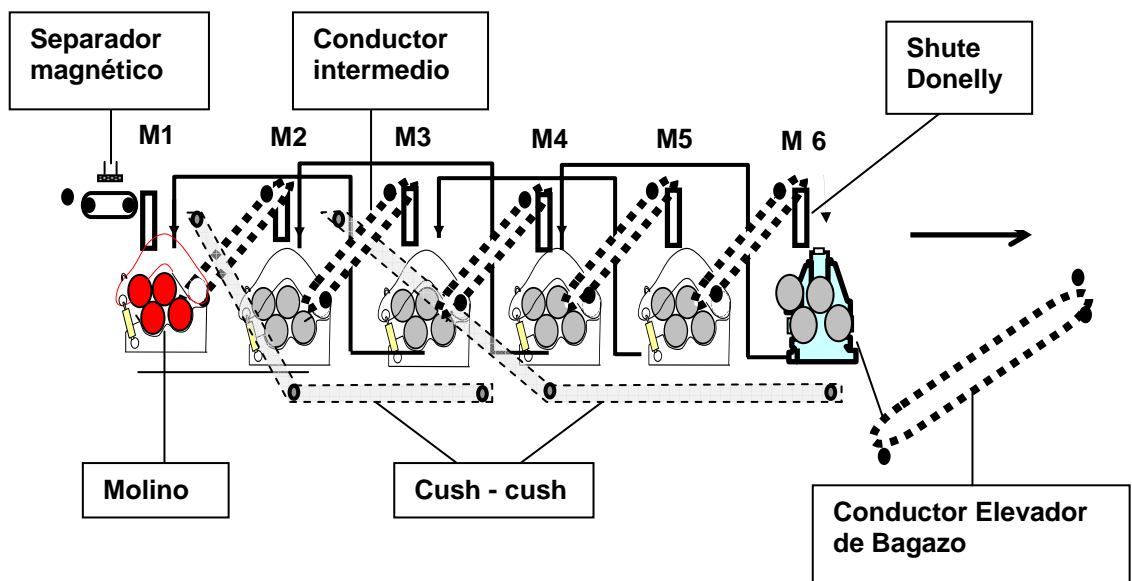


Fig. # 1.2 Esquema básico de un tándem de molinos.

El Separador magnético: esta constituido por una banda de caucho y un electroimán, con la finalidad de atrapar materiales metálicos antes que ingresen al primer molino.

Molino: esta constituido por 4 masas cilíndricas; es donde se ejerce la presión para extraer el jugo del bagazo de caña.

Conductor intermedio: es la banda transportadora que lleva el bagazo de un molino al siguiente.

Cush – cush: Esta constituido por un tamiz y un conductor de tablillas, tiene la finalidad de extraer el bagazo presente en el jugo y reenviarlo al molino.

Shute donelly: Es la tolva donde se deposita el bagazo antes de ingresar al molino.

Conductor elevador de bagazo: Es el encargado de enviar el bagazo desde molinos hacia las calderas.

1.3 EFICIENCIA Y AHORRO DE ENERGIA

1.3.1 MEJOR UTILIZACIÓN DE LOS EQUIPOS EXISTENTES

El Ingenio La Troncal cuenta con algunos equipos que no trabajan en sus puntos máximos de operación, especialmente en lo referente a la central eléctrica. La central eléctrica cuenta con 4 turbogeneradores, dichos equipos trabajan en puntos de operación más bajos que el nominal puesto que para el proceso de elaboración de azúcar es necesaria una potencia menor a la potencia instalada, esto ocasiona que los turbogeneradores tengan un rendimiento mas bajo del nominal.

En el Tandem de Molinos y Picadoras se tienen 9 turbinas a vapor a contrapresión de una sola etapa, las cuales tienen un rendimiento alrededor

del 67 % esto significa que el vapor generado por calderas no es utilizado óptimamente para la producción de energía mecánica.

Con el proyecto de Electrificación de Molinos y picadoras de caña se logrará mejorar el uso del vapor, que permitirá generar mayor cantidad de energía eléctrica usando la misma cantidad de vapor y a la vez haciendo que los turbogeneradores antes mencionados trabajen en sus valores de rendimiento y operación más altos.

1.3.2 UTILIZACION DE RECURSOS ANTES DESECHADOS

Actualmente, la cantidad de bagazo producto de la molienda es ligeramente mayor a la necesaria para la generación de vapor, por lo cual se tiene disponible un bagazo residual que es almacenado como reserva en caso de emergencia y para los arranques de molienda.

Con el objetivo de lograr una mayor eficiencia en la generación eléctrica se elevara la presión de operación de la caldera 4 de 300 psi a 600 psi, para dicho propósito la caldera requerirá de mayor cantidad de bagazo para la combustión aprovechando así el bagazo residual antes mencionado.

1.3.3 MAYOR PRODUCCIÓN DE ENERGIA UTILIZANDO RECURSOS YA EXISTENTES

Como se ha expuesto anteriormente el Ingenio requiere 250 TV/H para la producción de azúcar, con el proyecto de Electrificación de Molinos dicha cantidad de vapor va ser la misma, esto representa una ventaja puesto que no se necesitaría realizar modificaciones para generar mas vapor en el área de calderas.

El combustible utilizado es, decir, el bagazo será utilizado en mayor cantidad sin embargo como se describió anteriormente la reserva que se tiene es suficiente para cubrir dicha necesidad es decir no es necesario aumentar la molienda diaria.

Los cambios que se deben realizar es la adquisición de 9 motores eléctricos para el Tandem de molinos y picadoras, esto representa una inversión para la empresa la cual será cubierta con mayor venta de excedentes de energía.

1.4 MEJORAS EN EL FUNCIONAMIENTO DE TANDEM DE MOLINOS.

1.4.1 MEJORAR CONTINUIDAD Y AUMENTAR EL RITMO DE MOLIENDA.

Una de las mayores dificultades en las turbinas de vapor es producida por las repentinas caídas de presión de las calderas ocasionadas por bagazo húmedo. Al caer la presión en la línea de alimentación de vapor al tandem disminuye la potencia mecánica de una turbina de vapor, lo cual disminuye la producción de bagazo hacia la caldera, formando un ciclo degenerativo que termina sacando de línea a la caldera y consecuentemente a la turbina.

Con la sustitución de las 9 turbinas de vapor por 9 motores eléctricos, el tandem se volverá más estable, ya que el motor eléctrico desarrollara la potencia y el torque necesario para mover los molinos, independientemente de las causas que puedan provocar una inestabilidad momentánea en las calderas. Esto significa que estará garantizado una molienda mas continua y por ende un mayor ritmo de molienda por existir menos paradas por caída de presión en la línea de vapor.

1.4.2 CONTROL TOTAL DE TORQUE Y VELOCIDAD.

Actualmente el parámetro de velocidad se monitorea a través de un tacómetro digital instalado en la turbina de vapor y el control se lo hace mecánicamente mediante el regulador de velocidad de la turbina, pero la regulación siempre ha sido poco precisa debido a la inestabilidad cuando existe caída de presión en la generación térmica. Por otro lado no se tiene un control de torque ya que no existe ningún instrumento instalado para tal fin. Esto constituye una gran dificultad para los operadores quienes realizan estimaciones periódicas en base a tablas de operación de las turbinas para determinar los esfuerzos mecánicos.

Con la electrificación de molinos gracias a los equipos electrónicos de control y monitoreo será posible controlar estas variables desde los centros de mando del tandem. De esta manera se pueden tomar decisiones más rápidas y correctas respecto a cualquier dificultad durante el proceso de molienda.

1.4.3 MEJORAS EN EL AMBIENTE DE TRABAJO.

La electrificación de molinos va a crear un ambiente de trabajo más seguro con menos contaminación por ruido, aceite y calor propios de las turbinas de vapor. Esto de por sí constituye una ventaja económica como operativa además crea un ambiente de trabajo más saludable y menos peligroso ya que han ocurrido casos en zafra pasadas en donde a consecuencia de problemas en la admisión de vapor de las turbinas y por fallos en las seguridades, estas han colapsado destruyéndose por completo.

1.4.4 REGISTRO PRECISO DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN TANDEM DE MOLINOS.

Ya se ha mencionado que gracias a la electrificación de molinos es posible realizar el monitoreo de variables tan importantes como el torque y velocidad. Existen muchas variables más que monitorear las mismas que sirven para diagnosticar posibles inconvenientes y realizar un mantenimiento preventivo en los equipos, evitando daños severos y paradas indefinidas que afectarían directamente a la producción de energía térmica y por ende a todo el proceso de la empresa. Estos parámetros son: temperaturas en los bobinados y rodamientos de los motores, consumo de energía del tandem, Todo este flujo de información es registrado en el sistema central de monitoreo y control denominado Delta V que es el soporte que controla todo el proceso en la fabrica.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

El accionamiento de máquinas y equipamientos mecánicos para motores eléctricos es un tema de gran importancia económica, particularmente en la industria. Se estima que un 70 a 80% de la energía consumida por el conjunto de todas las industrias se transforma en energía mecánica por medio de motores eléctricos. Esto significa que considerando un rendimiento medio del orden del 80% del universo de motores en aplicaciones industriales, cerca del 15% de la energía eléctrica industrial se convierte en pérdidas en los motores eléctricos, surgió entre las medidas mas prometedoras para el ahorro de la energía el incremento de la eficiencia de estas maquinas.

Para lograrlo algunos fabricantes se han dedicado a mejorar su diseño y manufactura, realizando diversas acciones entre las cuales se puede mencionar:

- Utilización de acero con mejores propiedades magnéticas
- Reducción del entrehierro
- Reducción del espesor de la laminación
- Incremento en el calibre de los conductores
- Utilización de ventiladores y sistemas de enfriamiento mas eficientes
- Utilización de mejores materiales aislantes

El resultado ha sido disponer de motores con pérdidas menores de hasta 45% que las de los motores estándares. Por ejemplo, la reducción del 30% en las perdidas

en un motor de 10 Hp con un 83% de eficiencia incrementa su valor a un 88 %. Por otro lado los motores de alta eficiencia, a diferencia de los estándares, mantienen su alto nivel de eficiencia en un amplio rango de carga, esto se puede observar en la figura, en donde se muestra la variación de la eficiencia con la carga para motores similares.

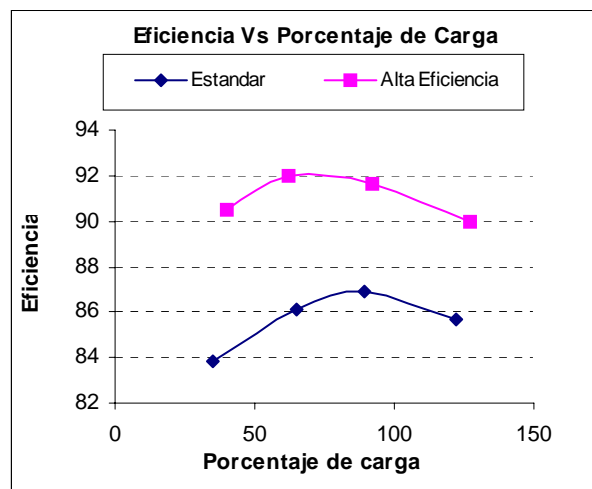


Fig. # 2.1 Curva de Eficiencia vs % Carga de un motor asincrónico

La manufactura y el uso de mejores materiales se traducen en un costo mayor. Los motores de alta eficiencia tienen un precio entre 15 y 30% más que sus similares estándar, pero como se verá más adelante, este sobreprecio puede ser recuperado en un período razonable con los ahorros que se obtienen al reducir su consumo de energía eléctrica.

Con propósitos de comparación en la figura 4 se muestran valores promedio de eficiencia en motores estándar y de alta eficiencia. Se puede observar que conforme aumenta la potencia, el rango de mejoría en la eficiencia es menor, lo anterior se debe a las mejores técnicas utilizadas en la fabricación de motores de gran capacidad que se han venido aplicando desde hace tiempo.

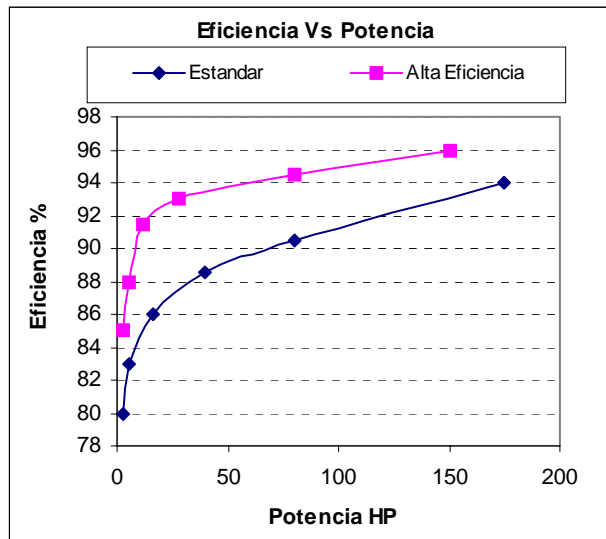


Fig. # 2.2 Curva de eficiencia Vs Potencia de un motor asincrónico.

2.1.1 EFICIENCIA DE UN MOTOR

La eficiencia es una consideración muy importante en la aplicación de accionamientos con motores eléctricos, especialmente en aquellos con gran cantidad de horas de servicio. La eficiencia usualmente se expresa en porcentaje de la relación de la potencia mecánica de salida en Hp. entre la potencia eléctrica de entrada en Kwatt. Esto es:

$$\text{Ec 2.1} \quad \% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Potencia Mecanica}}{\text{Potencia Electrica}} * 100$$

$$\text{Ec 2.2} \quad \% \text{ Eficiencia} = \frac{0.746 * \text{HPsalida}}{\text{KWentrada}} * 100$$

Donde la potencia mecánica de salida es igual a la potencia eléctrica de entrada menos las pérdidas, por tanto se tiene que:

$$\text{Ec 2.3} \quad \% \text{ Eficiencia} = \left(1 - \frac{\text{Perdidas}}{\text{KWentrada}} \right) * 100$$

2.1.2 CRITERIO PARA ELECCION DEL MOTOR

Cada usuario tiene múltiples requerimientos que satisfacer para asegurar la operación correcta y económica de sus accionamientos con motores eléctricos. La eficiencia es solo uno de ellos; no obstante, en las siguientes condiciones, el empleo de los motores de alta eficiencia debe ser considerado:

- En instalaciones nuevas.
- Cuando el motor opera a una carga constante y muy cerca del punto de operación nominal
- Cuando se realicen modificaciones mayores en procesos existentes
- En lugar de rebobinar motores estándar que han fallado. Sobre todo cuando tienen mas de 15 años de uso (especialmente los que ya han sido rebobinados) y operan mas de 2000 horas al año.
- Para reemplazar motores estándar que operan normalmente sobrecargados o con baja carga
- Cuando se deseen reducir los costos de operación

2.1.3 PERDIDAS ELECTRICAS Y MECANICAS

Se tiene por pérdidas de potencia eléctrica que se transforma y disipa en forma de calor en el proceso de conversión de la energía eléctrica en mecánica que ocurre en el motor. Las pérdidas consumen solo una fracción de la potencia de entrada y se pueden agrupar de la siguiente manera: pérdidas en el conductor del estator y rotor, pérdidas en el núcleo, pérdidas mecánicas por ventilación y fricción y pérdidas indeterminadas.

PÉRDIDAS EN LOS CONDUCTORES

Las pérdidas en los conductores se dividen en dos zonas: estator ($R * I^2$ en las bobinas del estator) y rotor ($R * I^2$ en los bobinados del rotor). Estas pérdidas dependen del cuadrado de la corriente.

- **PÉRDIDAS EN LOS CONDUCTORES DEL ESTATOR**

Estas pérdidas son una función de la corriente que fluye en el devanado del estator y la resistencia de ese devanado. Son mínimas en vacío y se incrementan al aumentar la carga. La corriente de línea se puede expresar:

$$\text{Ec 2.4} \quad IL = \frac{\text{Potencia Mecanica}}{\sqrt{3} * V_{LL} * Fp * EF}$$

Donde:

Fp : Factor de potencia

V_{LL} : Voltaje línea - línea

EF : Eficiencia

IL : Corriente de línea

La expresión hace evidente que las pérdidas en el estator serán inversamente proporcionales al cuadrado de la eficiencia y del factor de potencia. Adicionalmente las pérdidas en los conductores del estator dependen de la resistencia del bobinado. Para un motor dado la resistencia del bobinado es inversamente proporcional al peso del bobinado del estator, es decir a mas material conductor en el estator menos pérdidas.

- **PÉRDIDAS EN LOS CONDUCTORES DEL ROTOR**

Son directamente proporcionales a la resistencia del bobinado rotórico, dependen del cuadrado de la corriente que circula en el bobinado rotórico (barras y anillos) y dependen del flujo magnético que atraviesa el entrehierro. Son prácticamente cero en vacío y se incrementan con el cuadrado de la corriente en el rotor y también se incrementan con la temperatura. Las pérdidas en el rotor se pueden expresar en función del deslizamiento:

$$\text{Ec 2.5} \quad \text{Perd. Rotor} = \frac{(PMS + \text{Perdidas } F \text{ y } V) * S}{1 - S}$$

Donde:

PMS.: Potencia Mecánica de Salida

F y V: Fricción y Ventilación

S: Deslizamiento

- **PERDIDAS EN EL NÚCLEO MAGNÉTICO**

Estas pérdidas tienen dos componentes, las pérdidas por corrientes de Eddy y las pérdidas por el fenómeno de histéresis, incluyendo las pérdidas superficiales en la estructura magnética del motor. Las pérdidas en el núcleo del rotor debido al flujo magnético principal, son virtualmente cero.

- **PÉRDIDAS POR HISTÉRESIS**

Son causadas debido a la propiedad de remanencia que tienen los materiales magnéticos al ser excitados por un flujo magnético en una dirección. Como el

flujo de excitación esta cambiando de dirección en el núcleo magnético, la remanencia hace que se forme el ciclo de histéresis, cuya área esta relacionada por la energía gastada en magnetizar y desmagnetizar el núcleo continuamente. Estas pérdidas dependen del flujo máximo de excitación, de la frecuencia de variación del flujo y de la característica del material que determina el ancho del ciclo de histéresis.

- **PÉRDIDAS POR CORRIENTES DE EDDY**

Son causadas por las corrientes inducidas o corrientes de Eddy que circulan en las laminas magnéticas del núcleo estático las que son inducidas por el flujo magnético giratorio estático. En efecto de acuerdo a la ley de Faraday el campo magnético variable en el tiempo crea campos eléctricos de trayectoria cerrada en el núcleo magnético y como el acero es un material conductor estos campos hacen circular corrientes (corrientes de Eddy) a través de su trayectoria cerrada, por esta razón el núcleo magnético se hace de láminas magnéticas. Por lo tanto estas pérdidas dependen del flujo magnético máximo, de la frecuencia de variación del flujo magnético y de la resistividad del acero magnético.

- **PÉRDIDAS POR FRICCIÓN Y VENTILACIÓN**

Las pérdidas por fricción y ventilación son debidas a la fricción en los rodamientos y a las pérdidas por resistencia del aire al giro del ventilador y de otros elementos rotativos del motor. La fricción en los rodamientos es una función de las dimensiones de este, de la velocidad, del tipo de rodamiento, de la carga y de la lubricación usada. Estas pérdidas quedan relativamente fijadas para un tipo de diseño, y debido a que constituyen un porcentaje pequeño de

las pérdidas totales del motor, los cambios que se pueden hacer en el diseño para reducirlas no afectan significativamente la eficiencia del motor.

- **PÉRDIDAS INDETERMINADAS**

Son pérdidas residuales difíciles de determinar por medio de mediciones directas o de cálculos. Estas pérdidas están relacionadas con la carga y generalmente se suponen que varían con el cuadrado del torque de salida. La naturaleza de estas pérdidas es muy compleja. Están en función de muchos factores de diseño y de fabricación del motor. Algunos de los elementos que influyen en estas pérdidas son: el diseño del devanado, la relación entre la magnitud del entrehierro y la abertura de las ranuras; la relación entre el número de las ranuras del estator y del rotor, la inducción en el entrehierro; las condiciones en la superficie del rotor, el tipo de contacto superficial entre las barras y las laminaciones del rotor.

2.1.4 ESTIMACION DEL NIVEL DEL AHORRO ENERGETICO

La selección apropiada de un motor eléctrico debe considerar sus condiciones de desempeño, incluyendo las restricciones del medio ambiente, así como su costo de adquisición y de operación. Características de alimentación eléctrica, requerimientos del par motor, ciclo de trabajo de la carga, tipo de armazón, entre otros, son algunos de los factores que deben ser tomados en cuenta. El siguiente paso es evaluar el nivel de eficacia deseado para la aplicación de que se trate. En estas circunstancias, la elección de un motor de alta eficiencia puede convertirse en la mejor alternativa. Sin embargo debido a su mayor costo inicial, comparado con un motor estándar de características similares, es importante hacer un análisis de los beneficios para asegurar que la decisión sea viable.

Cuatro conceptos son requeridos para evaluar la factibilidad económica de elegir un motor de alta eficiencia en lugar de uno estándar.

- Tarifa eléctrica
- Factor de carga
- Horas de operación
- Costo de adquisición del motor

TARIFA ELÉCTRICA

La información del costo de electricidad se puede obtener a partir del recibo o bien, consultando la agencia de la compañía eléctrica de la localidad. En instalaciones industriales y comerciales básicamente esta integrado por tres componentes:

- 1) **Cargo por energía.** Es el costo de la energía consumida en el periodo de facturación, resultado de multiplicar el numero de Kwh. por la tarifa correspondiente en \$/Kwh.
- 2) **Cargo por potencia.** Es el costo de la demanda máxima facturable que se ha tenido en el periodo, resultado de multiplicar el numero de Kw. por la tarifa correspondiente expresada en \$/Kwh. Se basa en la medición de la demanda media en intervalos de 15 minutos, en el cual el consumo de energía eléctrica durante ese lapso es mayor.
- 3) **Cargo por bajo factor de potencia.** Este cargo se aplica cuando el factor de potencia durante el periodo de facturación, es un promedio menor al 96%. Un bajo factor de potencia indica que la instalación esta

consumiendo una potencia reactiva en exceso, por la cual la compañía requiere ser compensada.

FACTOR DE CARGA

El factor de carga se refiere al valor de la potencia que se demanda del motor, en relación con su valor de placa o nominal. Se puede calcular a partir de los datos de placa del motor y con la medición de la velocidad real de operación y de la potencia que toma de la red.

HORAS DE OPERACION

Es el tiempo de uso del motor expresado en horas, para el periodo de análisis.

COSTO DE ADQUISICION

Como se ha mencionado, los motores de alta eficiencia tienen un costo mayor que los motores estándares de potencias similares, por lo tanto la diferencia en el precio es un dato importante que debe ser considerado en el análisis. Sin embargo, la consulta entre varios distribuidores y fabricantes es una práctica obligada ya que con frecuencia se ofrecen descuentos sobre los precios de lista, que pueden variar incluso entre distribuidores de una misma marca. Es conveniente asegurarse del costo efectivo de adquisición de los motores para tener una mayor certidumbre en las estimaciones.

La potencia ahorrada que se obtiene por usar un motor de alta eficiencia, en lugar de uno estándar o de eficiencia menor, se puede establecer a partir de la siguiente fórmula.

$$\text{Ec 2.6} \quad Pa = 0.746 * HP * L * \left(\frac{100}{Estd} - \frac{100}{Eae} \right)$$

Donde:

Pa = Ahorro en potencia

HP = Caballos de potencia

L = Factor de carga

Estd = Eficiencia del motor Estándar (%)

Eae = Eficiencia del motor de alta eficiencia (%)

2.2 LOS VARIADORES DE VELOCIDAD Y EL AHORRO DE ENERGIA

2.2.1 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

El variador de velocidad es un control para el motor de inducción tipo jaula de ardilla, que es el motor más económico, simple y robusto que hay, y se distingue por ser el más usado en la industria por estas ventajas

Es el único control que energiza, protege y permite la variación de la velocidad en el motor, sin ningún accesorio extra entre el motor y la carga. Una de las limitaciones del motor de inducción es el tener velocidades fijas, sin posibilidad de variación contrariamente a lo que ocurre con un motor de corriente continua.

La ventaja principal de los variadores de velocidad es que disminuye los consumos de energía en algunos de los procesos que controla, dando como resultado considerables disminuciones en los costos de operación.

La interacción entre el campo magnético del estator y el campo inducido en el rotor produce la fuerza rotacional, la cual es conocida como par. Durante la operación, el campo magnético creado por el suministro de voltaje y corriente, alternando en sentidos opuestos a una frecuencia de 60Hz, gira en el estator, induciendo un voltaje en el rotor. Esta inducción tiene un principio similar al de los transformadores, actuando el estator como bobinado primario, y el rotor, como el secundario; este voltaje inducido causa una corriente, que fluye en el rotor, lo cual crea un campo magnético con los polos norte y sur.

La velocidad asíncrona del motor depende del número de polos en el estator y la frecuencia de alimentación. La ecuación de la velocidad sincronía es:

$$\text{Ec 2.7} \quad N = 120 * \frac{F}{P}$$

De donde: N velocidad en RPM, F frecuencia en Hz y P numero de polos.

El suministro de voltaje desde un variador de velocidad puede realizarse a frecuencias que van desde 0, hasta 120 Hz o mas ; por lo tanto, la velocidad del motor es variable en la misma proporción en que cambia la frecuencia; así el motor puede girar lento o muy rápido según la frecuencia suministrada por el variador de velocidad. Al mismo tiempo, el voltaje también es variable en la misma proporción que la frecuencia, para asegurar que la relación Volt/Herz se mantenga con el mismo valor en todo el rango de velocidades, mientras no pase de 60 Hz. Esto se hace porque el torque que proporciona el motor está, por diseño, determinado por esta relación.

La manera como un variador convierte el voltaje y la frecuencia constante en voltaje y frecuencia variable, se basa en un proceso de 2 pasos principales. Primero: la corriente alterna es rectificadora y convertida a un voltaje de

corriente continua, después la invierte y vuelve a entregar corriente alterna pero con diferente frecuencia y voltaje. (Ver Fig. # 2.3)

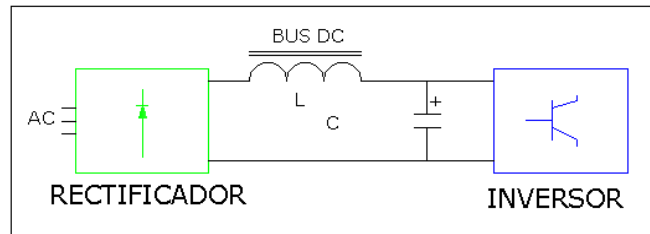


Fig. # 2.3 diagrama de bloque de un variador de velocidad estándar.

Rectificador

La parte rectificadora convierte el voltaje de c.a en voltaje de c.d por medio de un puente de diodos o rectificadores controlados de silicio que permiten el paso de corriente en un solo sentido. El voltaje de línea c.d es 1.41 veces mayor al voltaje de c.a pues toma el valor pico de voltaje en c.a y no el voltaje rms.

Una vez que se tiene la c.d, esta se filtra y suaviza a través de capacitares para uniformarla lo mas posible y poder entregara la parte inversora un voltaje en c.d lineal que facilita la generación de frecuencia variable.

Inversor

Como se mencionaba, este es solo uno de los pasos del variador de velocidad y no representa la función total del mismo. En esta sección el voltaje de c.d se invierte y vuelve a tomar la forma alterna por medio de rectificadores controlados también conocidos como tiristores o transistores de potencia,

conectados directamente a la línea de c.d y controlados por microprocesadores pero esta vez con frecuencia y voltaje variable. Esta generación trifásica de c.a al hacerse a través de aperturas instantáneas de los transistores aunque tienen ciclos positivos y negativos toma una forma cuadrática e interrumpida según las necesidades de frecuencia pero mantiene la misma relación voltaje frecuencia para el motor.

Hay tres tipos principales de tecnologías usadas en los variadores.

- (a) Modulación de ancho de pulso (PWM).
- (b) Inversión de la corriente de alimentación (CSI).
- (c) Inversión de voltaje ajustable.

Modulación del ancho del pulso (PWM)

La modulación del ancho del pulso ha sido la tecnología mas usada en los variadores de velocidad pues ha dado buenos resultados para controlar motores desde 0.5 HP hasta 500 HP debido a su confiabilidad, adaptación y porque genera la menor cantidad de armónicos a la línea.

El termino modulación del ancho del pulso explica como cada transición a voltaje alterno es una serie de pulsos cortos de diferente ancho. Variando el ancho del pulso en cada ciclo, el promedio simula la onda senoidal. El número de transiciones del positivo al negativo por segundo determina la frecuencia suministrada al motor. Al tener un mayor número de pulsos en cada medio ciclo, el ruido asociado los motores controlados por variador de velocidad se reduce.

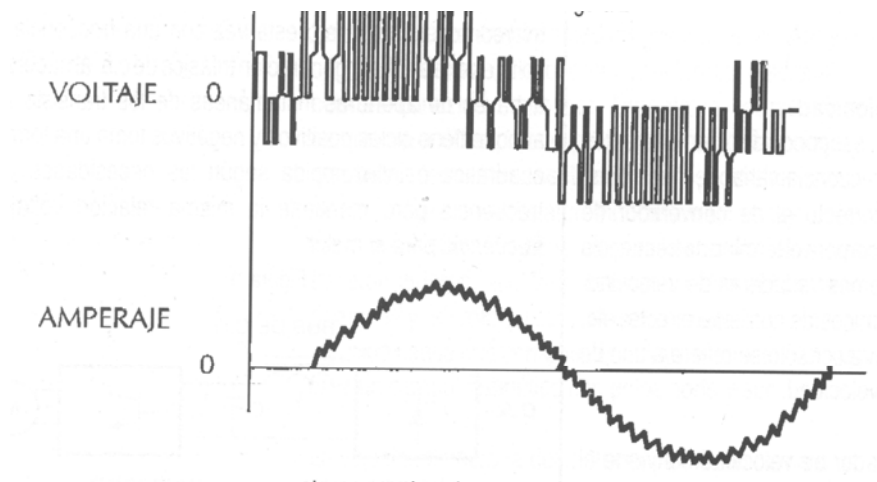


Fig. # 2.4 Forma de onda de Voltaje y corriente de salida de un variador PWM

Las ventajas de este método es de tener un excelente factor de potencia y una baja generación de armónicas debido al arreglo de puente diodos que hace la rectificación, y al inductor de la línea de c.d, que algunas marcas lo manejan, no hay disfunciones en la operación del motor a bajas velocidades, tiene eficiencias mayores al 92%, puede controlar varios motores con un solo variador de velocidad, y una inversión inicial baja.

Inversión de la corriente de alimentación (CSI)

Otro recurso tecnológico utilizado en los variadores de velocidad es el llamado “Inversión de la corriente de alimentación”, el cual consiste en hacer ajustes por medio de rectificadores controlados de silicio, que regulan la potencia de entrada y la convierten en un voltaje variable de c.d. Este voltaje es regulado según las necesidades para mantener la relación voltaje/frecuencia adecuada, y es más sensible con respecto a la corriente y no al voltaje.

Los rectificadores controlados de silicio también realizan la función de la inversión; esta tecnología requiere de un inductor de gran tamaño para operar, y la ventaja de esta tecnología es la alta eficiencia, la seguridad debido a la limitación de la corriente en cuanto a protección se refiere y la capacidad de regeneración en donde sea posible.

Las desventajas de esta tecnología es el decremento del factor de potencia conforme disminuye la velocidad del motor; la disfunción del motor en velocidades menores a 20 hz, solamente puede controlar un motor, no se pueden hacer pruebas al convertidor si esta desconectado el motor, y generalmente se requiere de un retroalimentador para dar información al regulador de corriente, y el tamaño de los equipos es mayor.

Inversión de voltaje ajustable (VSI)

Y por ultimo, también es usada la “inversión de voltaje ajustable, que es muy similar a la CSI por tener rectificadores controlados de silicio para asegurar el voltaje c.d. Su sección de inversión produce una salida de 6 pasos, pero no es regulador de corriente como en el CSI. Este convertidor es considerado un regulador de voltaje.

Las ventajas de este convertidor son la simplicidad en el diseño, y la capacidad de controlar varios motores; y entre sus desventajas es una gran generación de armónicos, la disfunción en velocidades bajas, las necesidades de un transformador de aislamiento y un pobre factor de potencia

2.2.2 VENTAJAS DEL USO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Al utilizar los variadores de velocidad como método de control, se puede eliminar de la inversión inicial cualquier tipo de arrancador y protección del

motor, pues estos desarrollan ambas funciones, inclusive mejoran cualquier tipo de arranque y protección, ya que en estas operaciones son programables y evitan los picos de arranque al hacerlo suavemente, por consiguiente eliminan las presiones excesivas y los golpes de ariete en tuberías, así como los esfuerzos a los que se someten las partes mecánicas cuando se realiza un arranque directo o a tensión reducida.

Otra de las ventajas es la disminución de los costos por mantenimiento, al emplear los variadores de velocidad los equipos acoplados se someten a un menor desgaste; se reduce la carga estática, en algunos casos se puede llegar a duplicar la vida útil de los equipos.

El variador de velocidad es altamente compatible a los diferentes sistemas de administración y control de la energía y otros esquemas de control digital debido a sus terminales y salidas analógicas y digitales; así como los puertos de comunicación que poseen casi todas las marcas que permiten un dialogo constante con los operadores.

Como se puede observar, el ahorro de energía es solo una de las ventajas al aplicar los variadores de velocidad, que aunque es la mas importante, no hay que subestimar las demás, pues todas las ventajas adicionales son para incrementar la eficiencia de operación o disminuir los costos iniciales de inversión y eso a fin de cuentas es la disminución de costos.

2.3 TURBINAS DE VAPOR

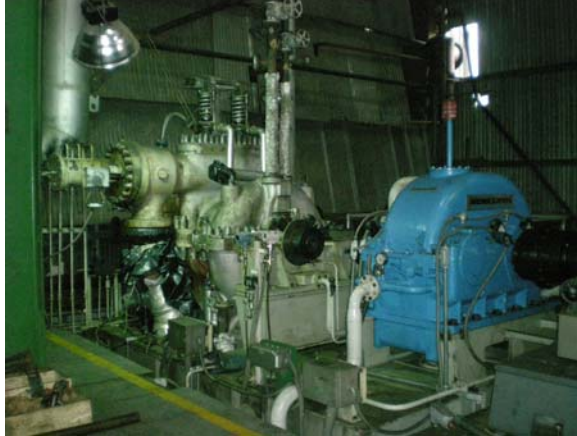


Fig. # 2.5 Turbina de vapor

La turbina de vapor es una máquina de fluido en la que la energía de éste pasa al eje de la máquina saliendo el fluido de ésta con menor cantidad de energía. La energía mecánica del eje procede en la parte de la energía mecánica que tenía la corriente y por otra de la energía térmica disponible transformada en parte en mecánica por expansión. Esta expansión es posible por la variación del volumen específico del fluido que evoluciona en la máquina.

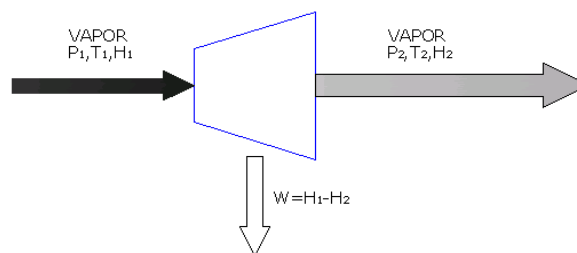


Fig. # 2.6 Esquema de funcionamiento de una turbina de Vapor

El trabajo disponible en la turbina es igual a la diferencia de entalpía entre el vapor de entrada a la turbina y el de salida.

2.3.1 TIPOS DE TURBINAS DE VAPOR

Las turbinas de vapor son turbo máquinas en las que sólo se efectúa el proceso de expansión. Si bien existen turbinas a vapor del tipo radial, la inmensa mayoría son del tipo axial. El fluido de trabajo es comúnmente el vapor de agua, por obvias razones económicas y técnicas. En comparación con otras máquinas (alternativas a vapor, de combustión interna) ofrecen una mayor relación potencia/tamaño. Se las puede clasificar según el salto térmico y según el principio operativo. Según el salto térmico se las separa en:

Turbinas de condensación: son las de mayor tamaño, utilizadas en centrales térmicas. La presión de descarga puede ser inferior a la atmosférica debido a la condensación del vapor de salida.

Turbinas de descarga atmosférica: son generalmente de baja potencia, antieconómicas si utilizan agua tratada. No utilizan condensador de salida.

Turbinas de contrapresión: se utilizan como expansoras para reducir la presión del vapor generando al mismo tiempo energía. Descargan el vapor a una presión aún elevada, para ser utilizado en procesos industriales.

2.3.2 OPERACIÓN DE LA TURBINA

La forma más común de operar una turbina de vapor es mediante reguladores hidráulicos-mecánicos como se puede apreciar en la Fig. # 2.7

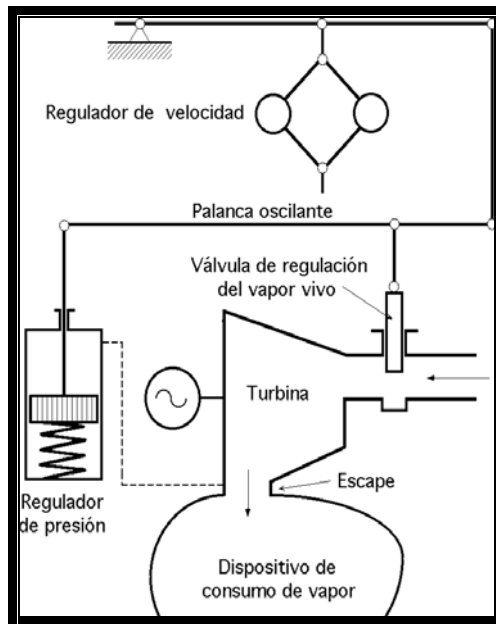


Fig. # 2.7 Regulación de una turbina de contrapresión

El objetivo del regulador es controlar el flujo de vapor que entra a la turbina a través de una válvula la cual es controlada por un pistón, la posición de la válvula determina la velocidad a la que va a operar la turbina.

Las necesidades de automatización exigen controles más finos. El regulador PGWoodward tiene un sistema compensador y un cilindro de potencia o también llamado servomotor, en dicho regulador la fuerza desarrollada por los contrapesos se transmite por medio de presión de aceite hacia un pistón de potencia que mueve la válvula del regulador. La ventaja de este sistema es que solo requiere una pequeña cantidad de fuerza para mover la válvula piloto, lo que contrasta con la gran cantidad de fuerza mecánica necesaria en un sistema de acción directa. La velocidad es regulada a través de una perrilla externa.

2.3.3 EFICIENCIA MECANICA

La importancia de la eficiencia de la turbina de vapor ha seguido creciendo durante la última década. En la actualidad, no existe una turbina de acción pura. Los fabricantes están utilizando una combinación de características de diseño de reacción y acción con el fin de mejorar todavía más la eficiencia de la turbina.

2.4 PREPARACION Y MOLIENDA DE CAÑA DE AZUCAR

2.4.1 CONDUCTORES DE CAÑA

El conductor de caña, es la banda transportadora que lleva la caña desde las mesas alimentadoras hasta el tandem de molinos. Por lo general son dos conductores denominados: Principal y Secundario. El conductor Secundario recibe la caña de las mesas alimentadoras, y el Conductor Principal recibe la caña del secundario y entrega esta a los molinos.

Los conductores son impulsados por motores eléctricos con accionamientos hidráulicos, la velocidad es regulada por un posicionador neumático que actúa sobre la bomba hidráulica. Las velocidades de estos conductores oscilan entre 0-20 m/min. para el principal y entre 0-8 m/min. para el secundario.

En la Fig. # 2.8 se muestra un esquema típico de conductores de caña en un ingenio azucarero.

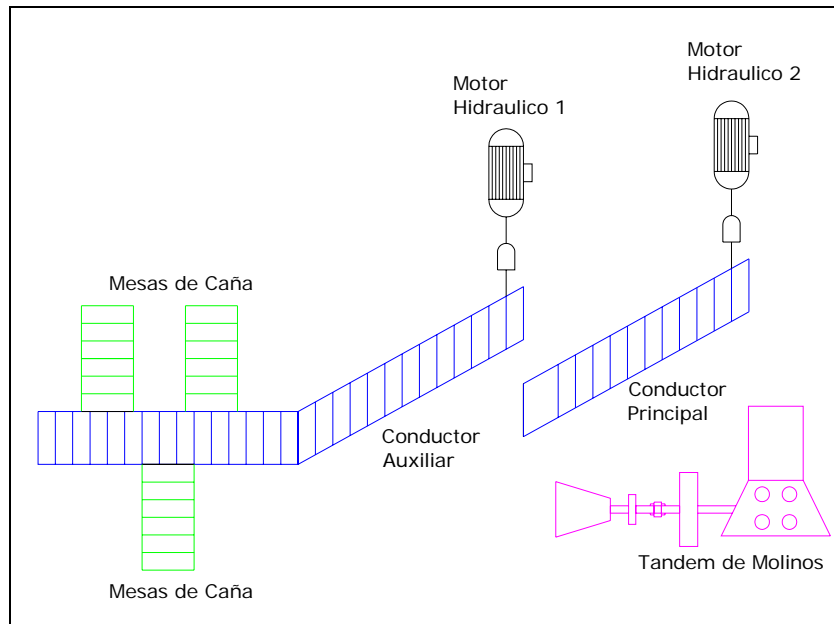


Fig. # 2.8 Esquema típico de conductores de caña

2.4.2 PREPARACION DE CAÑA

La caña de azúcar una vez que llega al ingenio debe ser correctamente preparada antes de ingresar al área de molienda.

La caña es depositada en las mesas preparadas para recibir el cargamento directamente de los camiones o cabezales, luego de ser lavada y distribuida uniformemente con el uso de niveladores cae sobre el conductor de caña de aquí es conducida hacia un nivelador el que se encarga de mantener una alimentación constante hacia el área de picadoras en donde la caña es desmenuzada para luego pasar nuevamente por un nivelador antes de ingresar al área de molienda. Todo este proceso tiene por objetivo obtener un colchón lo mas uniforme posible listo para ingresar al tandem de molinos.

La importancia de preparar la caña radica en el índice de preparación, el cual es uno de los factores más importantes ya que un buen índice garantiza una buena extracción de jugo y menos esfuerzo mecánico en el tandem.

2.4.3 LAS MASAS

El tandem de molinos es el área principal de la molienda. El molino está constituido por cuatro cilindros denominados masas: Superior, Cañera, bagacera y auxiliar, las cuales se encuentran ubicadas de tal forma que permitan extraer el máximo jugo posible de la caña que ingresa al tandem.

La Fig. # 2.9 muestra la configuración de un molino de 4 masas

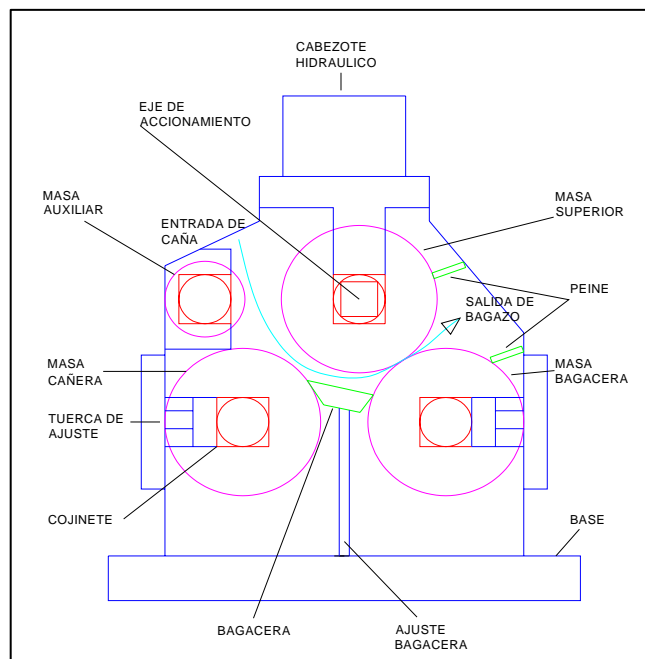


Fig. # 2.9 Molino típico de 4 masas

Las masas son ranuradas y su tamaño está relacionado estrechamente con la capacidad del molino. El jugo de caña se extrae por la compresión del

colchón de caña al pasar a través de las masas de cada molino. La fuerza para comprimir el colchón se aplica a la masa superior por medio de cilindros hidráulicos. El movimiento impulsor se aplica sobre la masa superior y esta transmite el movimiento al resto de las masas mediante engranajes.

2.4.4 POTENCIA REQUERIDA

La determinación de la potencia consumida por un molino es bastante compleja por que integra numerosos factores.

Para comenzar, esta potencia se descompone en 6 términos principales y diferentes:

- Potencia consumida por la compresión del bagazo
- Potencia consumida por fricción entre los muñones y los cojinetes de los cilindros
- Potencia consumida por la fricción entre el bagazo y la cuchilla central
- Potencia consumida por la fricción de los raspadores y de la punta de la cuchilla contra las masas a la que se suma el trabajo de desprendimiento del bagazo en estos puntos
- Potencia consumida por el movimiento que se da a los conductores intermedios
- Potencia consumida en los engranes

Además, estas seis componentes de la potencia, dependen en gran parte de otros muchos factores, difíciles de medir o estimar, como: variedad de la caña, estado de las superficies de rozamiento, calidad y conservación de la lubricación, entre otros.

Para nuestro caso estimaremos el consumo de potencia en base a experiencias de otros ingenios azucareros en donde el promedio del consumo es de 13.4 HP / Ton de fibra y el % fibra es de 14%, con estos valores se puede estimar que para una molienda de 440 TC/H se requiere aproximadamente 823 HP mediante la ecuación:

$$\text{Ec 2.8} \quad \frac{HP}{TF} = \frac{P(HP)}{(TC / H) * \% F}$$

2.4.5 CONTROL DE PARÁMETROS

Durante el proceso de la molienda se requieren controlar ciertos parámetros tales como: agua de imbibición, flotación de masas, velocidad de las masas, nivel de los shutes, presiones hidráulicas.

El agua de imbibición es el agua que se aplica al final del penúltimo molino y tiene como finalidad mejorar la extracción de sacararosa. El parámetro a controlar es el flujo de agua, el cual se realiza mediante una válvula automática y un medidor de flujo.

La flotación de masas se refiere al control del rango de movimiento de la masa superior de un molino, el cual tiene un valor de cero a veinte mililitros y es monitoreado por medio de dos sensores ubicados en ambos lados del molino. Esto permite verificar que la extracción se encuentre en un rango aceptable.

La velocidad de las masas determina la cantidad de caña molida por día y el consumo de energía en el tandem. Comúnmente se mantiene entre 4 y 7 revoluciones por minuto para un tandem de 12000 toneladas de caña molidas por día.

El nivel de los shutes es un parámetro que permite controlar la extracción en el molino. Es importante mantener dicho nivel en un valor relativamente constante para evitar atores. Y en especial en el caso del primer molino este nivel permite controlar la velocidad de los conductores alimentadores de caña.

La presión hidráulica se aplica sobre los cojinetes de la masa superior del molino y tiene como finalidad lograr una mayor extracción de jugo en el molino.

2.5 PRODUCCION DE VAPOR

En todo ingenio azucarero es importante la producción de vapor debido a que se lo utiliza en la generación eléctrica y en la producción de azúcar. Por lo que es indispensable el uso de calderas que proporcione un flujo de vapor a presión y temperatura constante.

Existen dos tipos principales de calderas: acutubulares y pirotubulares. La diferencia radica en que en el primer tipo el agua va por dentro de los tubos del domo de la caldera y el fuego va por fuera, en el segundo tipo sucede lo contrario el agua se encuentra por afuera y el fuego ingresa por los tubos, las calderas más usadas en ingenios azucareros son la acutubulares.

A nivel de ingenios azucareros se manejan distintas presiones de vapor de operación para calderas, describiremos para nuestro caso calderas que operan a 300 y 600 PSI.

2.5.1 CALDERAS A 300 PSI

Este tipo de calderas opera con una presión de 300 PSI, 340 °C y el flujo de vapor que proporcionan depende del diseño y tamaño. Esta constituida por los siguientes elementos:

Domo: es el sitio donde se almacena el agua que ingresa a la caldera y es aquí donde el agua cambia de estado de líquido a vapor sobresaturado este vapor se caracteriza por no tener humedad para evitar problemas de operación en las turbinas de vapor. Se debe mantener un nivel constante en le mismo para una buena operación.

Economizador: es el sitio donde se realiza el intercambio de calor entre el agua que ingresa a la caldera y los gases de salida de combustión, de manera que el agua gane energía calórica antes de ingresar al domo.

Hogar: es el lugar donde se realiza la combustión aquí ingresa el combustible: Bagazo o bunker, el cual produce el calor necesario para producir el vapor a las condiciones antes mencionadas

Alimentadores de combustible: el combustible puede ser alimentado mediante tolvas alimentadoras en el caso de bagazo, o mediante una válvula de ingreso si se trata del bunker.

Ventilador de tiro Inducido: es el dispositivo que extrae los gases de la combustión de la caldera para ser expulsados a través de una chimenea, cumple una función importante de mantener una depresión constante en el hogar para mejorar la extracción de los gases de la combustión

Válvula de seguridad: esta válvula actúa en casos de emergencia cuando por algún motivo se eleva la presión del domo hasta un valor que pone en peligro la operación de la caldera en ese momento esa válvula abre para enviar el vapor a la atmosfera, por lo general actúa cuando la presión llega a 1.5 veces la presión nominal.

Bomba de lavado de Gases: son las encargadas de bombear agua hacia las chimeneas y mediante un sistema de esparcion atrapar la ceniza que provienen de la combustión de tal forma que se minimiza el impacto ambiental por la quema del bagazo.

Parrilla giratoria: es un sistema que se utiliza para evacuar los residuos de la combustión que se efectúa en Hogar.

Las partes relevantes de una caldera a bagazo se pueden apreciar en la Fig. # 2.10

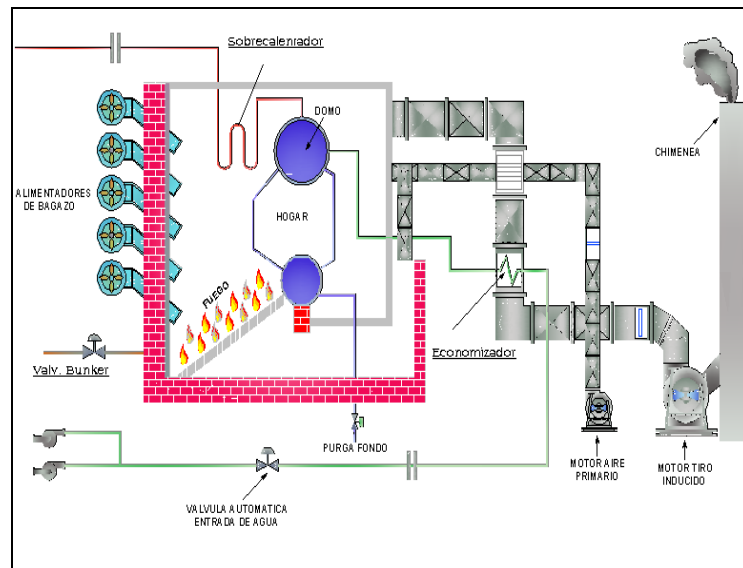


FIG. # 2.10 Partes básicas de una Caldera.

2.5.2 CALDERA A 600 PSI

En estas calderas los parámetros de operación son: Temperatura de vapor 380 ° C y presión de vapor 600 psi, tienen un principio de operación similar a las anteriores y sus partes principales son parecidas, difieren en ciertos aspectos de diseño ya que por operar a una mayor presión requieren ser mas eficientes en la combustión por lo que adicional estas tienen los siguientes elementos:

Sopladores de Hollín: es un sistema que se utiliza para desprender el hollín generado por la combustión que se adhiere en las paredes del domo y del hogar, se trabaja con aire a presión y su ciclo de soplado es diario.

Ventilador aire Neumático: Tiene como finalidad soplar aire al Hogar para esparcir el combustible (Bagazo) y formar un torbellino evitando que este caiga sobre las parrillas amontonándose mejorando significativamente la combustión.

Válvula de Partida: cumple dos funciones la primera cuando arranca la caldera antes de entrar en línea con el despacho, esta válvula se abre enviando el vapor a la atmosfera para así controlar la elevación de la presión del domo hasta llegar al valor nominal, la segunda cumple la función de seguridad en caso de que haya una sobrepresión en el domo alrededor de 750 PSI esta se abre automáticamente para aliviar esta presión y evitar rupturas en las tuberías del domo e incluso explosión de la caldera.

La elevación de la presión en una caldera permite tener mayor eficiencia en el proceso puesto que los turbogeneradores trabajan mejor y producen mayor energía eléctrica a una presión de 600 psi

CAPITULO 3

3. ANALISIS TECNICO

En el tandem de molinos del ingenio La Troncal cada molino es impulsado por una turbina de vapor de contrapresión de una etapa. Los puntos de operación de temperatura y presión de vapor de dichas turbinas son 640°F y 300 PSI, el vapor es proveniente de tres calderas acutubulares. La energía térmica contenida en el vapor es transformada en energía mecánica en el interior de la turbina, el vapor de escape originado en este proceso es enviado al proceso de elaboración de azúcar.

Con el objetivo de mejorar los ingresos económicos, la compañía “ECUDOS S.A”, al presentarse la oportunidad de vender energía eléctrica al MEM (Mercado Eléctrico Mayorista) se propone realizar un cambio importante en la infraestructura del ingenio “La Troncal”, dicho cambio aumentará la cantidad de estos excedentes. Esto consiste en reemplazar las turbinas de vapor en la sección molinos y picadoras de caña por motores eléctricos con el fin de enviar el vapor usado por estas turbinas a generación eléctrica.

En este capítulo se analizará como este cambio hace que el vapor producido por las calderas sea utilizado de mejor manera, además se evidenciará a que valor llega el incremento de excedentes producido realizando un análisis entre la situación actual y la que se plantea con el cambio de turbinas por motores eléctricos.

Finalmente se mencionarán ventajas adicionales que tienen que ver con la parte funcional de la planta como la mejora en el ritmo de molienda y control de variables del torque y velocidad.

3.1 BALANCE DE VAPOR

Como toda planta industrial bien diseñada el ingenio “La Troncal” produce y consume vapor en sus procesos de acuerdo a sus necesidades, evitando el desperdicio y la contaminación ambiental. De esta manera se aprovechan al máximo los recursos energéticos disponibles.

El balance de vapor establece cuales son los elementos productores de vapor y cuales son los elementos consumidores del vapor producido.

La producción de vapor se realiza utilizando cuatro calderas acuatubulares cuyas principales características nominales se indican en la Tabla # 3.1

Caldera	Presión psi	Temp. °F	Toneladas de vapor por hora (TV/H)	Tipo de combustible
1	300	640	60	Bagazo
2	300	640	60	Bagazo
3	300	640	60	Bagazo
4	600	750	120	Bagazo

TABLA # 3.1 Producción de vapor Ingenio La Troncal.

Durante el periodo normal de zafra de julio a diciembre de cada año, la caña de azúcar previamente preparada ingresa a los molinos, luego de extraer el jugo se obtiene el bagazo, el cual ingresa como combustible de las calderas. Durante este proceso las calderas 1, 2 y 3 producen en promedio 43.3 TV/H mientras que la caldera # 4 produce 120 TV/H. Las calderas 1,2 y 3 tienen una menor cantidad de despacho de vapor, esto es debido a que tienen mas de 35 años de trabajo lo cual ha bajado el rendimiento, en tanto que la caldera 4 es de

fabricación reciente por lo que mantiene su despacho de vapor nominal. Bajo estas premisas el despacho real de vapor se muestra en la Tabla # 3.2

CALDERA	TNV/H
1	43.3
2	43.3
3	43.3
4	120
TOTAL TV/H	250

TABLA. # 3.2 Despacho real de vapor.

La medición del flujo de vapor de cada caldera se lo realiza utilizando un transmisor electrónico de la marca Foxboro, el sensor utilizado es una placa de orificio que se encuentra instalada en la tubería de despacho de cada caldera, la medición se basa en el principio de presiones diferenciales, es decir la placa de orificio crea una caída de presión en la tubería esta diferencia de presiones es captada y procesada en el transmisor el cual la transforma en una señal analógica de 4-20 ma, esta señal es enviada a una tarjeta de entrada analógica del sistema de automatización Delta V y de esta manera puede ser monitoreada en las distintas estaciones de control de la fabrica. Los transmisores están configurados para un rango de medición de 0-70 TV/H para las calderas 1, 2, 3 y de 0-120 TV/H para la caldera 4. Cada transmisor consta de un display digital donde se puede visualizar el valor de flujo de manera local. En la figura 3.1 se muestra el transmisor de medición de flujo de vapor de la caldera 1.



Fig. # 3.1 Transmisor de flujo de vapor de Caldera 1.

El vapor generado por calderas es distribuido de la siguiente manera: de las 250 TV/H, 120 TV/H va para las turbinas de los turbogeneradores mientras que el resto va para las turbinas de vapor de molinos y picadores de caña como se indica en la Fig. # 3.2

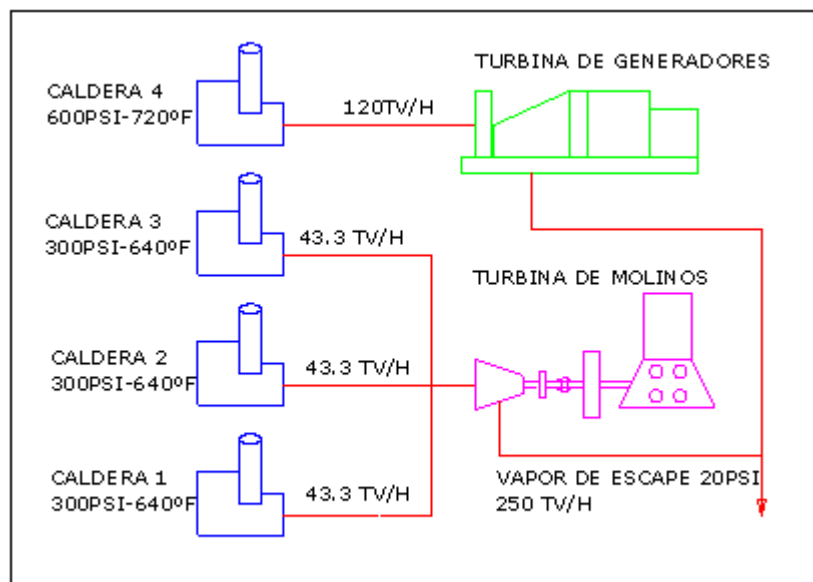


Fig. # 3.2 Balance de Vapor sin electrificar molinos

De la Fig. # 3.2, se verifica que se obtienen 250 TV/H de vapor de escape a una presión de 20 Psi, este vapor es usado para el proceso de elaboración de azúcar principalmente en la secciones de Evaporación y Tachos.

En la Fig. # 3.3 se indica un diagrama general de la distribución de vapor para generación eléctrica y fabricación del Ingenio La Troncal.

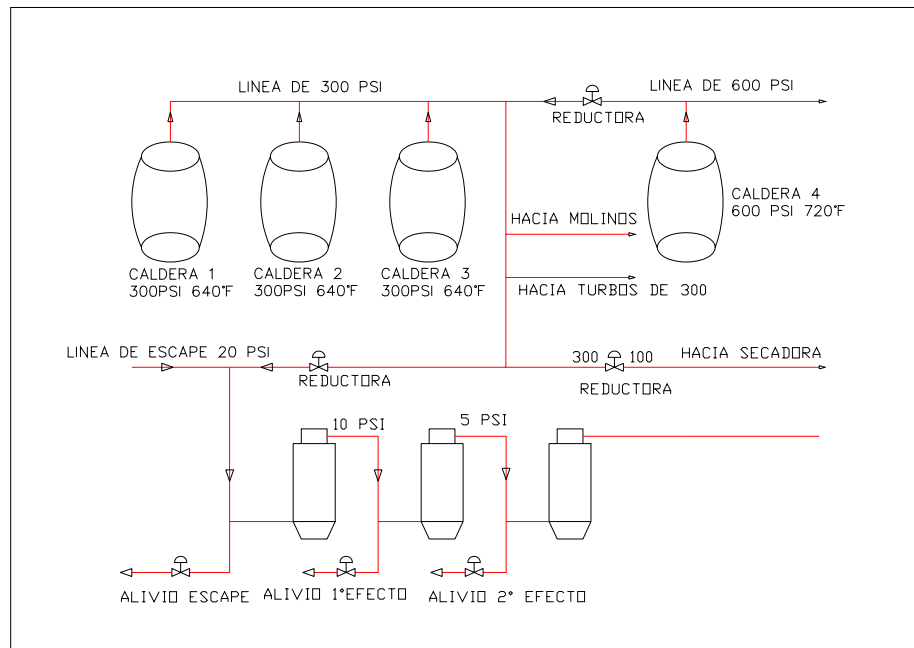


Fig. # 3.3 Flujo de vapor del Ingenio La troncal.

3.1.1 CONSUMO DE VAPOR DE LOS TURBOGENERADORES

El consumo de vapor en los turbogeneradores esta relacionado con las características de operación de la turbina impulsora del generador eléctrico: presión, temperatura y de la carga eléctrica propia del generador.

El ingenio La Troncal cuenta con cuatro turbogeneradores cuyas principales características nominales de la turbina se mencionan en la Tabla. # 3.3

	Presión y temperatura		Velocidad	Potencia	Consumo de vapor
	Admisión PSI - °F	Escape PSI - °F	Rev/mi n	Kw	Toneladas de Vapor por MWH
TG-1	300 – 644	20 - 221	9000	3000	12
TG- 2	300 – 644	20 - 221	5000	3160	12
TG-3	600 – 750	20 - 221	3600	12000	10
TG-4	600 – 750	20 – 221	1800	16800	7.1

TABLA. # 3.3 Características de la turbina de los turbogeneradores

Durante el proceso de elaboración de azúcar la demanda de vapor esta alrededor de 250TV/H en operación nominal, sin embargo en algunas ocasiones debe sujetarse a las necesidades del momento. Así, no siempre los turbogeneradores se encuentran en sus puntos nominales de operación.

En la Fig. # 3.4 se puede ver como varia el consumo de vapor del turbogenerador TG-4 conforme la demanda de potencia aumenta en la salida del generador eléctrico. Aquí se puede apreciar como la relación entre vapor y energía es cercana a la lineal.

LA TRONCAL

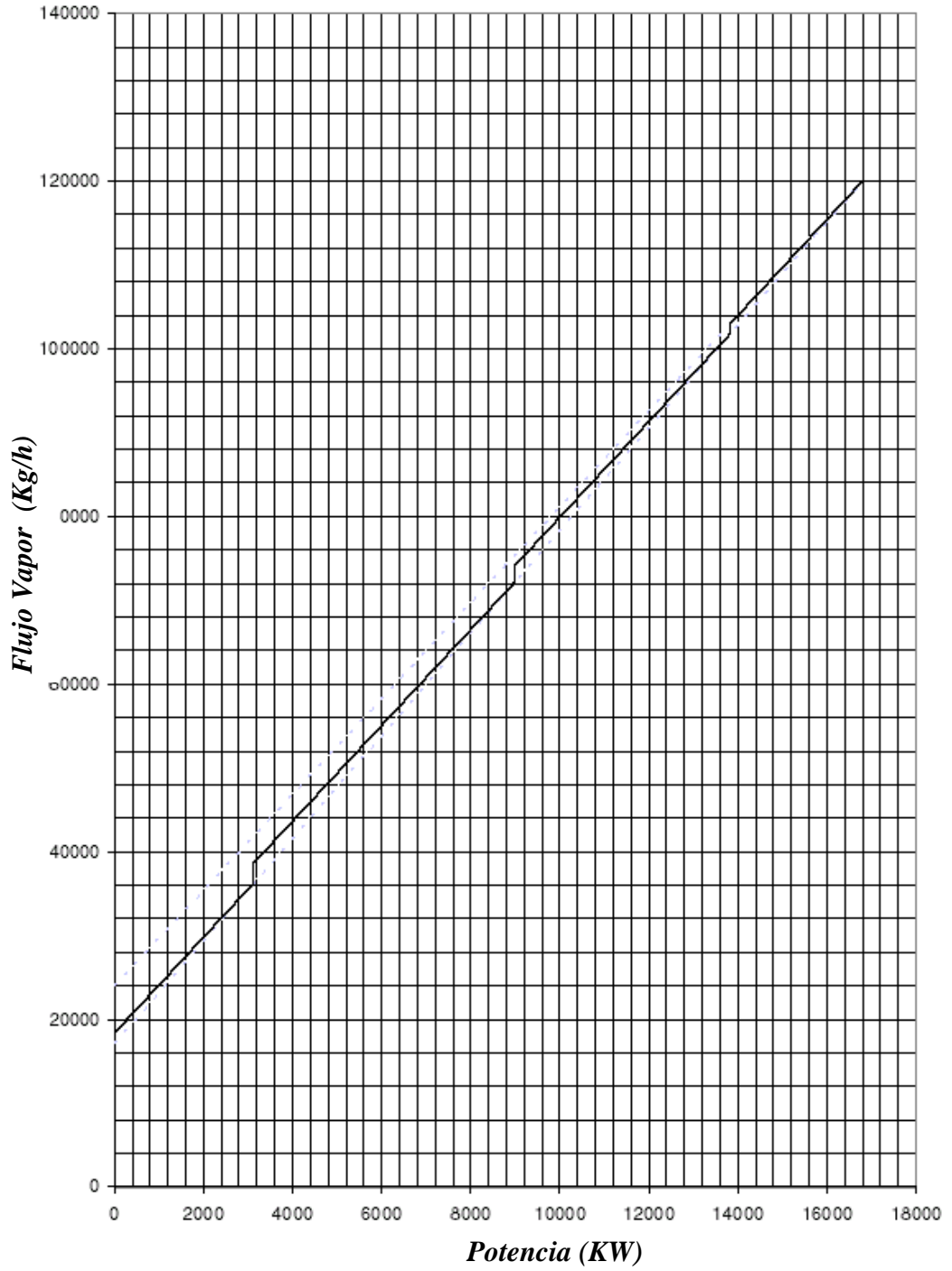


Fig. # 3.4 Relación potencia generada versus flujo de vapor

3.1.2 CONSUMO DE VAPOR DE LAS TURBINAS DE MOLINOS

En el ingenio “La Troncal” la preparación de caña se realiza mediante tres cuchillas picadoras tipo oscilante impulsadas por turbinas a vapor y la molienda se efectúa en un tándem compuesto por seis molinos movidos individualmente por una turbina de vapor a 300 psi y 640 grados Fahrenheit.

Estas turbinas a vapor son del tipo contrapresión, debido a que la presión de salida sobrepasa a una atmosfera (14.7 PSI) lo que permiten utilizar esta presión de escape en el proceso de elaboración de azúcar.

En la Fig. # 3.5 se tiene una curva típica de potencia versus flujo de vapor de una turbina a contrapresión de una etapa utilizada en un molino. Esta grafica nos permite determinar el consumo de vapor de la turbina. Aproximadamente se requieren 15 toneladas de vapor por hora para operar el molino, este flujo es medido a través de un transmisor diferencial de flujo que tiene como elemento sensor una placa de orificio. La turbina impulsora del molino tiene dos válvulas tipo on-off que al abrirse permiten mayor ingreso de vapor a la turbina de acuerdo al requerimiento de potencia, es por eso que en la figura 3.1.2 se observan 3 curvas, en operación la turbina requiere que las 2 válvulas estén abiertas por tanto se toma como referencia la curva 2.

De esta curva se obtiene que al ingresar 15 TV/H se tiene disponible una potencia de 614 KW en el eje de la turbina.

En el Fig. # 3.6 se muestra la curva de operación de la turbina impulsora de la picadora de caña, el flujo de vapor que ingresa a la misma es aproximadamente 13 TV/H esta turbina dispone de una válvula que permite

un mayor ingreso de flujo de vapor en operación esta válvula se encuentra abierta, entonces se obtiene de la grafica que la potencia en el eje de la turbina es 1038 HP que representan 775 KW.

	Curva 0		Curva 1		Curva 2	
TURBINA KW	308	1230	1168	1492	1430	1876
FLUJO DE VAPOR (KG/H)	8000	16992	17230	20307	21230	25230

CURVA DE TRABAJO DE LA TURBINA

TIPO: RLHA28 SERIE # 94H9441-3
RANGO POTENCIA, VELOCIDAD & CONDICIONES DE VAPOR:
1400 KW a 4618RPM, WITH 21 BARG - 340 DEG C - 1.5 BARG

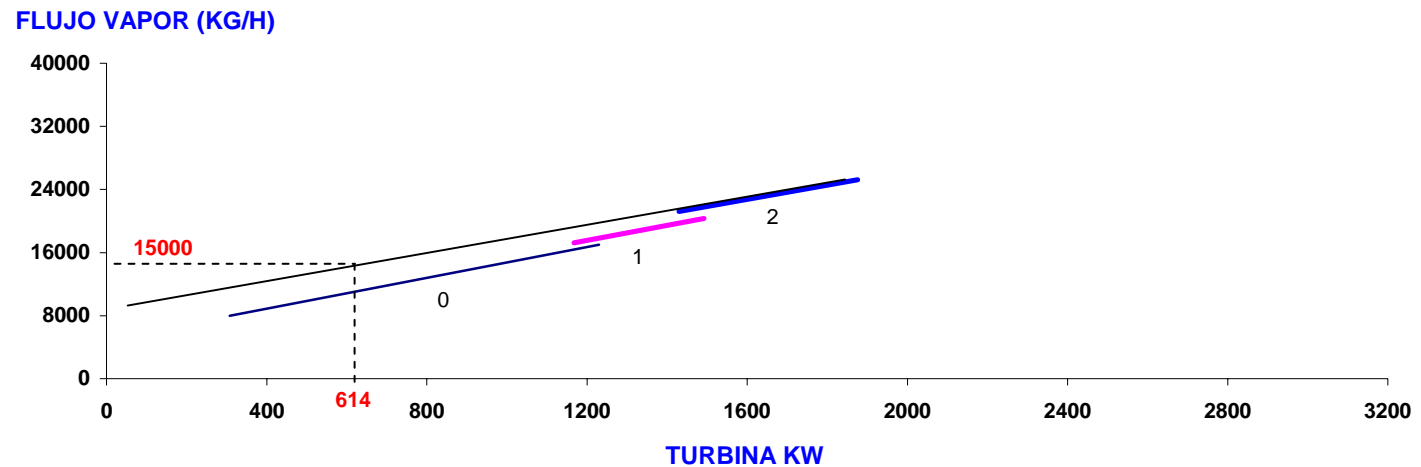


Fig. # 3.5 Relación de Toneladas de vapor VS Potencia de salida de una turbina a contrapresión de Molinos del ingenio La Troncal.

	Valve close		Valve open	
PS (HP)	150	1150	150	1500
G (Kg/h)	4400	12800	5500	16900

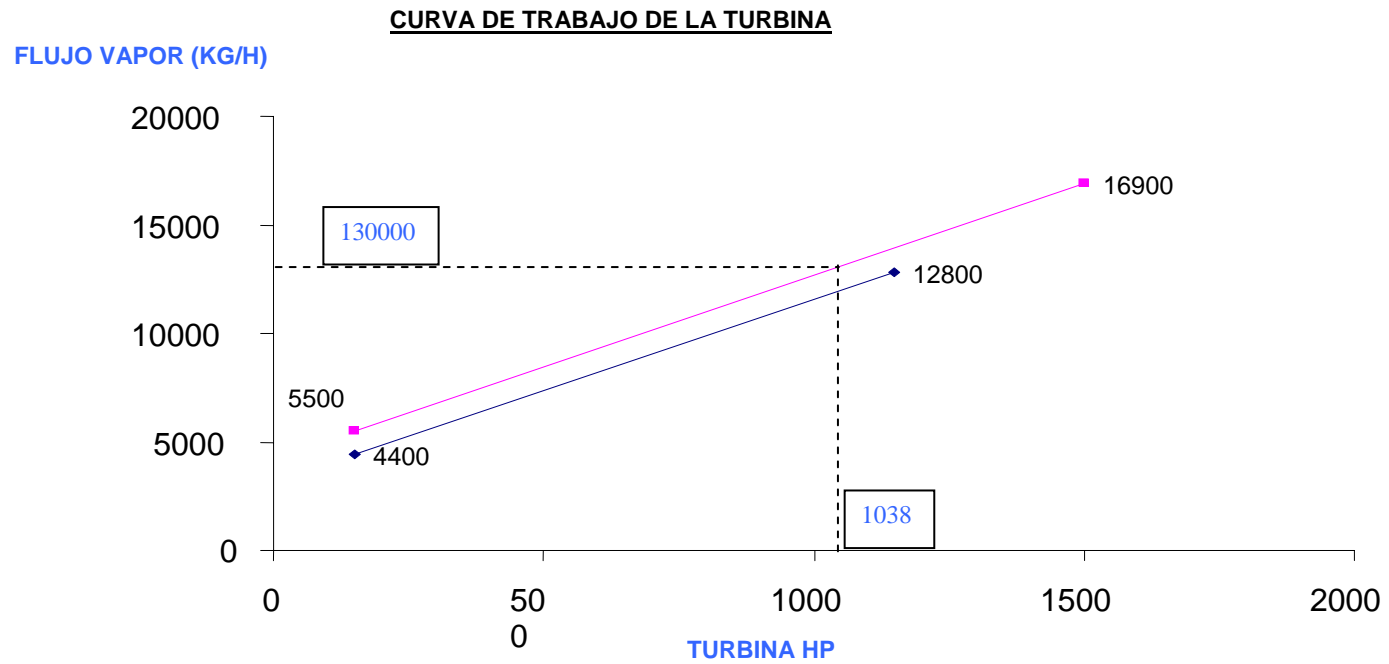


Fig. # 3.6 Relación de Toneladas de vapor VS Potencia de salida de una turbina a contrapresión de Picadoras del ingenio La Troncal.

3.1.3 INCREMENTO DEL VAPOR PARA GENERACION ELECTRICA

Con el proyecto de Electrificación de molinos, se anulo el despacho de vapor hacia esta sección de la fábrica, este vapor en total 130 TV/H será enviado a generación eléctrica, es así que sumados a los 120 TV/H utilizados anteriormente obtenemos un total de 250 TV/H hacia las turbinas de los generadores eléctricos.

El propósito de este cambio es aumentar la producción de excedentes de energía posteriormente se demostrara que esto es posible debido a la mayor eficiencia de una turbina de un turbogenerador comparada con la turbina impulsora de molinos.

En la Fig. # 3.7 se observa como queda definido el balance de vapor para con la electrificación de molinos. Teniendo la siguiente distribución de flujo de vapor para los turbogeneradores:

UNIDAD	CONSUMO VAPOR
TURBOGENERADOR # 1	30 TV/H
TURBOGENERADOR # 2	30 TV/H
TURBOGENERADOR # 3	70 TV/H
TURBOGENERADOR # 4	120 TV/H

TABLA. # 3.3 Consumo vapor de Turbo Generadores.

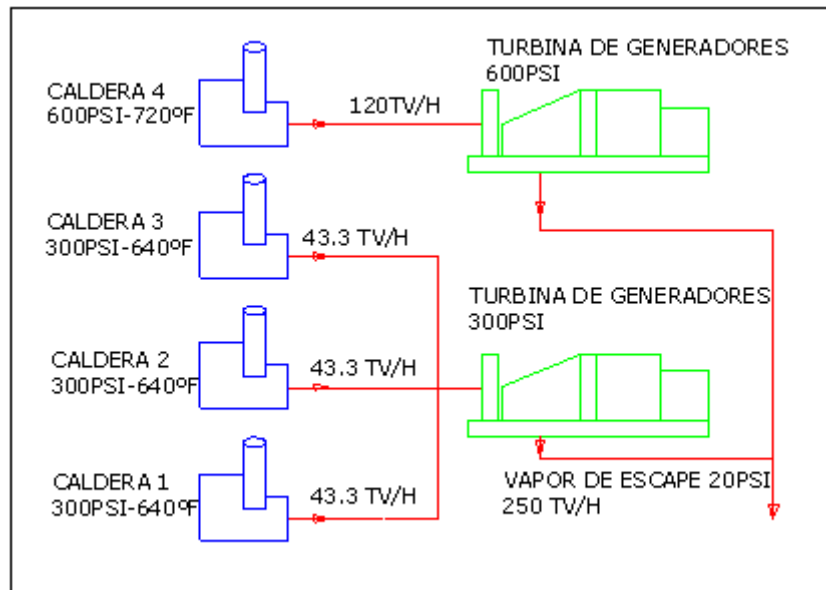


Fig. # 3.7 Balance de vapor con electrificación de molinos

3.2 BALANCE DE ENERGIA

El balance de energía se refiere a la energía eléctrica producida por los turbogeneradores y la manera como se distribuye ya sea para la venta y para el consumo de la fábrica.

3.2.1 ENERGIA PRODUCIDA POR LOS TURBOGENERADORES

De la Fig. # 3.4 se observa que la energía eléctrica producida es una función aproximadamente lineal del consumo de vapor del turbogenerador, para el caso específico del turbo generador 4 con un consumo de 120 TV/H se obtendría una generación de 16.8 MW/H. De igual forma se procede para los demás generadores obteniendo así los valores de generación neta sin electrificación y con electrificación de molinos como se aprecia en la Tabla # 3.4.

SIN ELECTRIFICAR MOLINOS			
EQUIPO	TV/MWH	TV/H	MWH
TG 1	12	0	0
TG 2	12	0	0
TG 3	10	0	0
TG 4	7.1	120	16.8
TOTAL		120	16.8
CON ELECTRIFICACION DE MOLINOS			
EQUIPO	TV/MWH	TV/H	MWH
TG 1	12	30	2.5
TG 2	12	30	2.5
TG 3	12	70	5.8
TG 4	7.1	120	16.8
TOTAL		250	27.6

TABLA. # 3.4 Producción de Energía (MWH)

3.2.2 ENERGÍA CONSUMIDA POR FÁBRICA

En el ingenio La Troncal el consumo de energía eléctrica de la fábrica es por el uso de aproximadamente 700 motores trifásicos asíncronos, tipo jaula de ardilla, de diferente velocidad y potencia.

La energía eléctrica producida en los turbogeneradores es conducida a una barra de 5500 voltios para ser distribuida a través de celdas y subestaciones donde se reduce el voltaje a 460 voltios

La Tabla. # 3.5 muestra el consumo de energía en una hora típica de zafra.

Celda	Descripción de celda	MWH
J 4.8	Caldera N° 4	0.41
J 4.15	Refinería	0.42
J 4.4	Caldera Fives B.T	0.53
J 7-C4	Caldera Fives A.T	0.39
J 4.2	Centrifugas BMA	0.31
J 7-C1	Bombas Verticales	0.88
J 4.3	Bombas de Fabricación	0.76
J 4.6	Triturador de Caña	0.34
J 4.5	Preparación de Caña	0.27
J 4.9	Alumbrado Industrial	0.10
J4.16	Centrifugas Western States	0.26
J7C1.2	Bombas Verticales-Centrifugas Continuas W.S	0.80
J 4.17	Fabrica B	0.59
J 4.7	Tiros calderas fives 440 V	0.65
J 4.11	Alumbrado y cargas exteriores	0.35
TOTAL MWH		7.01

**TABLA. # 3.5 Consumo energía en una hora típica de zafra sin
electrificar molinos.**

Con la electrificación de molinos e incremento el consumo de energía a los valores indicados en la Tabla # 3. 6

Celda	Descripción de celda	MWH
J 4.8	Caldera N° 4	0.41
J 4.15	Refinería	0.42
J 4.4	Caldera Fives B.T	0.53
J 7-C4	Caldera Fives A.T	0.39
J 4.2	Centrifugas BMA	0.31
J 7-C1	Bombas Verticales	0.88
J 4.3	Bombas de Fabricación	0.76
J 4.6	Triturador de Caña	0.34
J 4.5	Preparación de Caña	0.27
J 4.9	Alumbrado Industrial	0.10
J4.16	Centrifugas Western States	0.26
J7C1.2	Bombas Verticales-Centrifugas Continuas W.S	0.80
J 4.17	Fabrica B	0.59
J 4.7	Tiros calderas fives 440 V	0.65
J 4.11	Alumbrado y cargas exteriores	0.35
	Molinos y Picadoras	6
TOTAL MWH		13.01

TABLA. # 3.6 Consumo energía en una hora típica de zafra con electrificación de molinos

3.2.3 INCREMENTO DE LA VENTA DE EXCEDENTES AL MEM

De lo descrito anteriormente sin electrificar molinos se generaba únicamente con el turbogenerador TG 4 el cual entregaba una potencia 16800 KW de los cuales según la tabla # 3.5 el consumo interno de fábrica era aproximadamente 7 MW. Por lo tanto la diferencia, es decir 9.8 MW se entregaba al MEM como excedentes de energía.

La Fig. # 3.8 se ilustra la producción de energía eléctrica individual en una hora de los turbogeneradores y su distribución. Sin electrificar molinos.

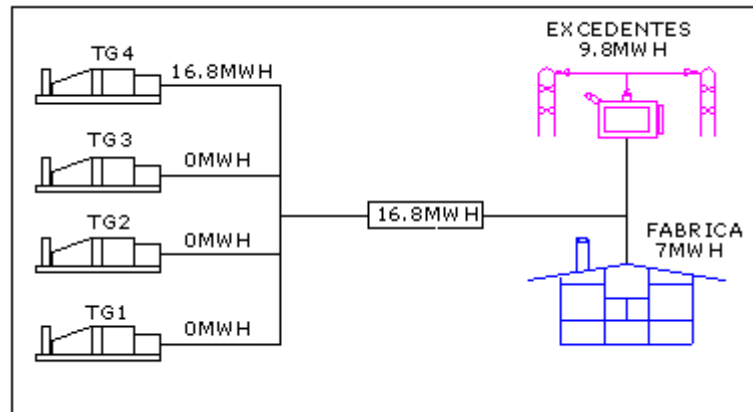


Fig. # 3.8 Venta de Excedentes sin electrificar molinos

Con la realización del proyecto de electrificación de molinos se van a disponer de 130 toneladas de vapor que permitirán incrementar la generación eléctrica hasta 27.6 MW. Este cambio incrementara la carga del ingenio en 6 MW con lo que la carga total llegara a los 13 MW. Entonces los excedentes al MEM serán de 14.6 MW.

Al analizar los excedentes sin electrificación y con electrificación se obtiene un incremento de 4.8 MW de potencia para la venta lo que representa el beneficio de la realización del proyecto.

La Fig. # 3.9 se ilustra la producción de energía eléctrica individual en una hora de los turbogeneradores y su distribución. Con electrificación de Molinos.

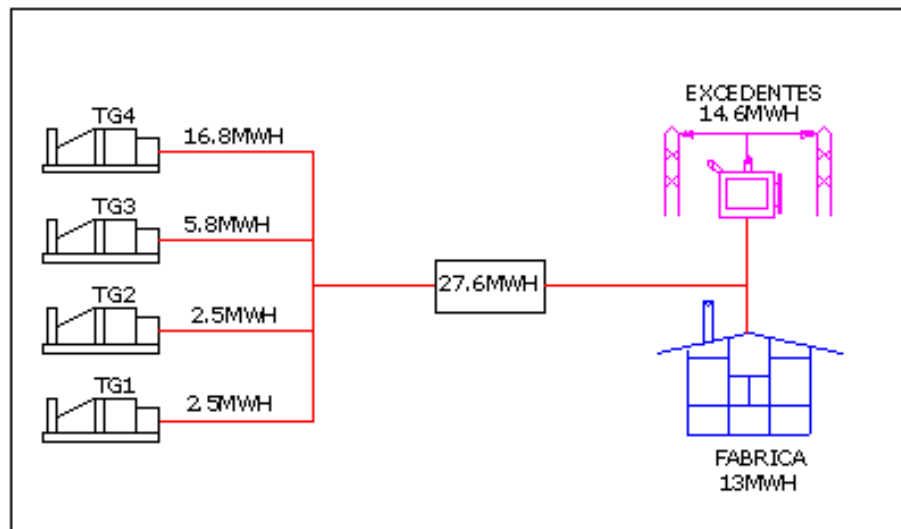


Fig. # 3.9 Venta de excedentes con electrificación de molinos

3.2.4 ENERGÍA PARA MOTORES ELECTRICOS DE MOLINOS

El cambio de las turbinas de vapor por motores eléctricos en el tandem de molinos y picadoras de caña trae consigo implementar instalaciones para la alimentación eléctrica de estos equipos por consiguiente en operación cada motor tendrá un consumo específico de energía, el cual vamos a determinar en esta sección.

De la Fig. # 3.5 se obtuvo que el consumo de potencia de un molino es de 614 KW y de la fig. # 3.6 el consumo de potencia en una picadora de caña es de 775 KW por lo que a continuación en la tabla # 3.7 presentamos el estimado de consumo de energía para una hora de estos equipos.

MOTOR ELECTRICO	CONSUMO KWH
MOLINO 1	614
MOLINO 2	614
MOLINO 3	614
MOLINO 4	614
MOLINO 5	614
MOLINO 6	614
PICADORA 1	775
PICADORA 2	775
PICADORA 3	775
TOTAL	6009

TABLA. # 3.7 Consumo energía motores eléctricos Molinos y Picadoras

En resumen los 9 motores eléctricos consumen de 6 MWH.

3.3 FUNCIONAMIENTO DEL TANDEM DE MOLINOS

El tándem de molinos constituye el punto de partida para el proceso de elaboración de azúcar, ya que es aquí donde la caña de azúcar una vez molida produce el jugo y se obtiene el bagazo que se quema en las calderas como combustible.

Los parámetros más importantes a considerarse en la molienda son: la humedad, el Pol en el bagazo y el ritmo de molienda.

La humedad es el porcentaje de agua contenido en el bagazo y su valor promedio es 50 %, el control de este valor asegura una buena combustión en

las calderas. Lo ideal es tener este valor por debajo de 50% ya que si se excede ocasiona caídas bruscas de presión en la línea de vapor afectando directamente a la generación eléctrica.

El Pol es el porcentaje de azúcar en el bagazo y su valor medio es 2% si excedemos este valor estaríamos perdiendo azúcar en el bagazo.

El control de los dos parámetros mencionados está ligado al control del agua de imbibición y la presión hidráulica.

Ritmo de molienda. Esta dada por la velocidad de los molinos y es la que fija cantidad de caña a procesar y por ende la producción de azúcar y energía eléctrica.

3.3.1 CONTROL DE VELOCIDAD

La velocidad de un molino determina la cantidad de caña que puede ser molida en el tándem. Esta velocidad se refiere a la velocidad de rotación de las masas que conforman el molino, y su valor está en el rango de 4 a 7 revoluciones por minuto.

Sin electrificar molinos se utilizaban turbinas de vapor a contrapresión de una etapa. La velocidad en el eje de la turbina de vapor varía de 3000 a 4600 revoluciones por minuto, por este motivo se utilizaban grupos de reductores de velocidad de gran tamaño.

El control de velocidad en la turbina de vapor se realizaba mediante un regulador mecánico, el cual debe ser calibrado a una posición fija de acuerdo a las toneladas de caña por hora que se requieran moler, es decir la

velocidad de la turbina debe ser en lo posible fija para tener un buen ritmo de molienda.

Este sistema de control mecánico de velocidad de la turbina tiene una respuesta lenta ante los cambios bruscos de carga. Esto finalmente se traduce en un aumento de consumo de vapor que produce que en determinadas ocasiones haya una caída de presión en las calderas, esto representaba un problema frecuente que perjudica la rapidez de la molienda.

Sin embargo con la electrificación del tándem de molinos se van a utilizar variadores de velocidad electrónicos de gran potencia para mover cada uno de los motores eléctricos impulsores de cada molino.

3.3.2 CONTROL DEL PAR.

El par es una variable de mucha importancia cuando se tienen que considerar los esfuerzos mecánicos a que están sometidos los elementos móviles y fijos del tandem de molinos.

Sin electrificar molinos no se disponía de instrumentos de medición de estas variables en las turbinas de molinos, debiendo utilizar cálculos indirectos para establecer su valor aproximado.

Sin embargo utilizando los variadores de velocidad es posible visualizar en los paneles de control del operador dicho valor. En consecuencia se puede regular la carga y velocidad de cada molino sin exceder los esfuerzos mecánicos de la maquina.

3.3.3 VENTAJAS E INCONVENIENCIAS

Finalmente se mencionan algunas de las ventajas de la electrificación del tandem de molinos, dentro de lo cual se puede citar:

- Control de velocidad y monitoreo del torque en el molino desde el panel de control del operador.
- Independencia de las condiciones de operación de las calderas.
- Costos de operación y mantenimiento menores.
- Menor ruido y contaminación en el ambiente de molinos.
- Facilidad de realizar pruebas en los molinos sin necesidad de disponibilidad de vapor.
- Ciertamente también se pueden citar algunas inconveniencias tales como:
 - Sistemas eléctricos y electrónicos mas complejos lo cual dificulta la reparación por parte de lo técnicos poco capacitados en tiempo cortos.
 - Necesidad de sistema de enfriamiento permanente para operar los equipos electrónicos.
 - Riesgos eléctricos por niveles de voltaje elevados.

A pesar de las dificultades antes mencionadas, las ventajas son muy superiores visto desde cualquier ángulo. **Por tal motivo la ejecución de este proyecto es viable técnicamente.**

CAPITULO 4

4. DESARROLLO DEL PROYECTO DE ELECTRIFICACION DE MOLINOS

4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO

Para la ejecución del proyecto se requiere de la implementación de un cuarto eléctrico donde se ubicaran los equipos tanto de potencia como de control, ya que la energía proviene de un transformador de 69 / 4.16 KV, 16.5 MVA situado a 200 metros en la subestación de 69 KV como se puede apreciar en el plano MMILT - 01 que muestra la implantación de los puntos relevantes para este proyecto.

La energía proveniente de la S/E llegará a una cabina de maniobras tipo interior dentro del cuarto eléctrico de donde se distribuye a los Centros de Control de Motores de los molinos y las picadoras para que finalmente a través de los Variadores de velocidad y tableros de arranque llegar a los motores eléctricos mediante los sistemas de control.

Para la operación de los motores de molinos se implementará un pupitre de control central junto al tándem de donde se podrá operar al molino y monitorear variables de torque y velocidad.

Una vez implementado la parte de fuerza y control se procederá a enlazar la operación de los molinos a través del sistema de automatización Delta V y controlar el proceso de manera automática.

4.1.1. SELECCIÓN DE MOTORES ELECTRICOS Y SISTEMAS DE CONTROL.

Selección de motores eléctricos.

Los criterios usados para la selección de motores eléctricos en este caso tienen mucho que ver con el sistema eléctrico de la fábrica y la necesidad de potencia mecánica de los molinos y picadoras de caña, por lo que se tomo en cuenta lo siguiente.

1. Potencia y Velocidad requerida.

Para este análisis presentamos a continuación los datos de potencia y velocidad de las turbinas a vapor en conjunto con los reductores acoplados para la reducción de velocidad que se utilizan en las picadoras de caña y molinos.

TURBINAS DE VAPOR			
DATOS	PICADORA 1	PICADORA 2	PICADORA 3
POTENCIA (KW)	1,100	1,100	1,400
RPM	7,200	7,200	4,600
REDUCTORES			
POTENCIA (KW)	1,100	1,100	1,400
RATIO	12.50:1	12.50:1	6.41:1
V. TRABAJO	576 RPM	576 RPM	718 RPM

TABLA # 4.1 Potencia y velocidad de turbinas a vapor y reductores de cuchillas picadoras

DATOS	MOLINO 1	MOLINO 2	MOLINO 3	MOLINO 4	MOLINO 5	MOLINO 6
TURBINAS						
POTENCIA (KW)	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400
RPM MAX	4,618	4,618	4,618	4,618	4,618	4,618
RPM MIN	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
REDUCTOR DE ALTA						
POTENCIA (KW)	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400
RATIO	3.85:1	3.85:1	3.85:1	3.85:1	3.85:1	3.85:1
REDUCTOR INTERMEDIO						
POTENCIA (KW)	1,400	1,200	1,200	1,200	1,200	1,400
RATIO	41.56:1	31.70:1	31.70:1	31.70:1	31.70:1	41.56:1
REDUCTOR BAJA						
POTENCIA (KW)	1,400	1,200	1,200	1,200	1,200	1,400
RATIO	4.28:1	5.39:1	5.39:1	5.39:1	5.39:1	4.28:1
RPM MAX	6.75	7.02	7.02	7.02	7.02	6.75
RPM MIN	4.38	4.56	4.56	4.56	4.56	4.38

TABLA # 4.2 Potencia y velocidad de turbinas a vapor y reductores de velocidad de molinos.

En la tabla # 4.1 y En la tabla # 4.2 se observa que cada turbina esta acoplada a través de reductores de velocidad con lo que esta se reduce de acuerdo a la relación del reductor por tanto para el caso de las picadoras de caña se utilizara motores de 1750 HP y 1800 RPM con lo que obtenemos alrededor de 1305.5 KW para suplir los 1100KW de la turbina y además se cambiara el reductor para obtener una velocidad de salida de 576 RPM que es la velocidad nominal de la cuchilla picadora, para el caso de los molinos se utilizara motores de 1500HP 1200RPM, con esta velocidad se anulará el reductor de alta acoplado directamente el motor al reductor de media con lo que obtendremos una velocidad máxima de salida alrededor de 7 RMP que es lo que se requiere en el proceso.

Como se puede observar en los motores de las picadoras se requiere únicamente una potencia de 1100 KW pero se escogió motores con una potencia de 1305 KW, esto es debido a que se esta pensando aumentar la molienda para el futuro.

Para el caso de los molinos se puede observar que la turbina tiene una capacidad de 1400 KW y se escogió motores con 1120 KW, esto es debido a que el análisis técnico que se realizo en el capitulo anterior una turbina requiere únicamente 614 KW para mantener una molienda de 10600 TNC/H, es decir que la turbina estaba sobredimensionada para la aplicación actual, y como se observa al igual que las picadoras se sobredimensiona la potencia del motor para a futuro incrementar la molienda.

2. Nivel de voltaje.

La instalación se llevará a cabo a media tensión es decir a 4160 V debido a que aproximadamente se manejara alrededor de 6 MWATT de potencia en los molinos y por la distancia que hay desde la S/E y el cuarto eléctrico que son alrededor de 200 metros. A este nivel de voltaje que es estándar en Norteamérica y con esta potencia se obtiene un nivel de corriente aceptable alrededor de 900 Amp. lo que reduce significativamente la sección del conductor que si se usa baja tensión, por otro lado se encarece los costos del proyecto si se usa un voltaje mas alto debido al nivel de aislamiento de los equipos.

3. Alta Eficiencia.

El propósito mas importante de este proyecto es incrementar el excedente de energía eléctrica para la venta por tal motivo se considera motores de alta eficiencia con un rendimiento que va desde el 90 % al 95 %. En

comparación del rendimiento de la turbina que estaba en el 67 % y de los motores convencionales que fluctúan alrededor del 86 al 92 %.

4. Tipo motor.

Para esta aplicación se utilizara motores asíncronos, trifásicos tipo jaula de ardilla debido a que se controlara su velocidad a través de variadores de velocidad.

Con estos criterios los datos relevantes de los motores a utilizar en las cuchillas picadores y molinos se presentan a continuación en la Tabla # 4.3.

DESCRIPCION	HP	RPM	VOLT.	EFICIENCIA
PICADORA 1	1750	1800	4160	95%
PICADORA 2	1750	1800	4160	95%
PICADORA 3	1750	1800	4160	95%
MOLINO 1	1500	1200	4160	95%
MOLINO 2	1500	1200	4160	95%
MOLINO 3	1500	1200	4160	95%
MOLINO 4	1500	1200	4160	95%
MOLINO 5	1500	1200	4160	95%
MOLINO 6	1500	1200	4160	95%

TABLA # 4.3 Datos de potencia, velocidad y voltaje requerido en motores de cuchillas picadoras y molinos.

Selección de sistemas de control

La operación de los molinos requiere de variaciones de velocidad en las masas, estas fluctúan entre 4 a 7 RPM; según la relación de los reductores de velocidad acoplados éstas se reflejan a la entrada alrededor de 710 a 1240

RPM, por esta razón se va a utilizar variadores de velocidad para el control de velocidad de los motores y mejorar significativamente el control ya que anteriormente este control era mecánico y se lo hacía con reguladores de velocidad acoplados a las turbinas de vapor las cuales tienen un tiempo de respuesta mucho más largo que los de control electrónico y su operación estaba ligada a la presión en la línea de vapor, es así que se evaluó las diferentes alternativas del mercado y se seleccionó un tipo de variador de velocidad el cual se describirá posteriormente.

Para alimentar los variadores de velocidad se utilizará CCM centro de control de motores en donde estarán los equipos de fuerza como contactores, seccionador y los equipos de protección.

Para el caso de los motores de las picadoras, estos trabajan a su velocidad nominal por lo que se implementará únicamente sistemas de arranques por autotransformador para limitar la corriente en el arranque.

Para la alimentación de todos estos equipos se pensó en implementar una subestación a 4160 V tipo interior es decir con barraje y celdas de distribución de carga encapsulados y cada uno con sus distintos seccionadores y equipos de medición y control,

4.1.2. CUARTO ELECTRICO

Para colocar los equipos de fuerza y control como el: Metalclad, CCMs, Variadores de Velocidad y centrales de aire acondicionado, se diseñó un cuarto eléctrico al cual llamaremos Cuarto de Control de Molinos, este cuarto se construyó en estructura metálica con paredes de yeso de doble fondo y con ventanas contra ruido a una altura de 4 metros sobre el piso ya

que en la parte baja se colocarían los transformadores de aislamiento de armónicos que utilizan los variadores de velocidad.

Con la finalidad de ahorro de material en el cableado el cuarto eléctrico se construyó junto al tándem de molinos facilitando los trabajos de distribución del cableado de los motores eléctricos, además se implementó con 3 unidades de aire acondicionado para mantener una temperatura de operación alrededor de los 25 grados centígrados necesario para la operación de los variadores de velocidad.

En el plano MMILT - 002 se muestran las dimensiones del cuarto eléctrico y la distribución de todos los equipos eléctricos que en él se colocaron.

La iluminación se realizó basándose en la cantidad de luz necesaria de acuerdo a la superficie a iluminar para tener una buena visibilidad, se colocaron tomas de 110 V polarizados en sitios estratégicos con puntos de red para colocar estaciones de trabajo para monitoreo de parámetros y control de proceso.

4.1.3. MALLA A TIERRA

En este tipo de proyectos es necesario la construcción de una malla a tierra para aterrizar individualmente todos los equipos eléctricos de fuerza en nuestro caso: los motores eléctricos, los CCM'S de motores de picadoras y molinos, los Transformadores de aislamiento, los Variadores de Velocidad y el Metalclad.

La malla eléctrica se la construyó en la parte baja del cuarto eléctrico, en el plano MMILT – 003 indica la distribución de las varillas y las dimensiones de la malla, los cálculos se muestran a continuación en el Anexo # 1.

4.1.4. TRAZADO DE CANASTILLAS FUERZA Y CONTROL

En el plano MMILT – 004 se indica la distribución y la trayectoria de las canastillas de fuerza y mando, para el trazado se tomó en cuenta la trayectoria mas corta y las normas eléctricas establecidas para este tipo de instalaciones evitando así la interferencia producida por los cables de fuerza en los cables de control, según el manual de instalación de los variadores de velocidad establece que si van paralelos los cables de fuerza y mando deben tener mínimo una distancia de 30 cm, mientras que si se cortan a 90 grados no importa la distancia a la que se coloquen.

4.1.5. CABLEADO DE FUERZA Y CONTROL.

Cableado de fuerza.

Para un mejor análisis trataremos el cableado por etapas desde que sale de la S/E 69 KV hasta que llega a cada motor eléctrico, por tanto tenemos:

- Cables de alimentación desde S/E hasta el Metalclad o Switchgear.

La potencia máxima que se manejara en el proyecto de electrificación de molinos la obtenemos de los datos preliminares de la elección de motores eléctricos los cuales especificamos en la tabla # 4.4

ITEM	DESCRIPCION	KW
01	MOTOR ELECTRICO PICADORA # 1	1,305.5
02	MOTOR ELECTRICO PICADORA # 2	1,305.5
03	MOTOR ELECTRICO PICADORA # 3	1,305.5
04	MOTOR ELECTRICO MOLINO 1	1,120
05	MOTOR ELECTRICO MOLINO 2	1,120
06	MOTOR ELECTRICO MOLINO 3	1,120
07	MOTOR ELECTRICO MOLINO 4	1,120
08	MOTOR ELECTRICO MOLINO 5	1,120
09	MOTOR ELECTRICO MOLINO 6	1,120
	CARGA TOTAL MAXIMA	9,516.5

TABLA # 4.4 Potencia nominal del proyecto de electrificación de molinos.

Con este valor de potencia mas el 15% debido al factor de servicio de los motores calcularemos la corriente máxima hacia el proyecto y por consiguiente obtendremos el diámetro del conductor, para este análisis utilizaremos la Ec. # 4.1

$$\text{Ec. \# 4.1} \quad I = \frac{P}{\sqrt{3} * V_{LL} * Fp}$$

I es la corriente eléctrica (Amp), **P** potencia (W), **V** voltaje (V) y **Fp** es el factor de potencia cuyo valor es 0.88 según cálculos realizados.

$$P = 10944 \text{ (Kw)}$$

$$V = 4160 \text{ (V)}$$

Por lo tanto:

$$I = 1728.03 \text{ (Amp)}$$

Con este valor de corriente vamos al Anexo # 2 y seleccionamos el cable apropiado que para este caso son 4 conductores unifilares calibre 350 MCM por fase.

Con esta premisa obtenemos las siguientes secciones de conductor para la implementación del proyecto, los cuales se presentan a continuación en la Tabla # 4.5

TRAMO	CARGA KW	I AMP	CONDUCTOR
S/E 69 KV - METALCLAD	10944	1728.03	4x(3x350MCM)
METALCLAD – CCM PICADORAS	4502.25	710.89	2x(3x350MCM)
METALCLAD – CCM MOLINO 1,2 y 3	3800.64	610.11	2x(3x350MCM)
METALCLAD – CCM MOLINO 4,5 y 6	3800.64	610.11	2x(3x350MCM)
CCM PICADORAS – MP 1	1500.75	236.9	3x4/0
CCM PICADORAS – MP 2	1500.75	236.9	3x4/0
CCM PICADORAS – MP 3	1500.75	236.9	3x4/0
CCM MOLINOS 1,2,3 – M1	1288	203.37	3x4/0
CCM MOLINOS 1,2,3 – M2	1288	203.37	3x4/0
CCM MOLINOS 1,2,3 – M3	1288	203.37	3x4/0
CCM MOLINOS 4,5,6 – M4	1288	203.37	3x4/0
CCM MOLINOS 4,5,6 – M5	1288	203.37	3x4/0
CCM MOLINOS 4,5,6 – M6	1288	203.37	3x4/0

TABLA # 4.5 Distribución del cable de fuerza.

En el plano MMILT – 004 se muestra en resumen los calibres de los conductores a ser utilizados para la Instalación.

4.1.6. CABLEADO DE TIERRAS.

Para este tipo de proyectos todos los equipos deben ser aterrizados individualmente a la malla de tierra y el conductor a ser utilizado es el cable de cobre desnudo 4/0 según los cálculos obtenidos del anexo 1.

4.1.7. PROTECCIONES ELECTRICAS

La aplicación de las protecciones eléctricas están basadas en proyectos similares, las características básicas son las siguientes:

Alta confiabilidad.- De tal manera que se aislé la falla y no afecte al resto del sistema, esta condición implica que la protección primaria este operativa bajo cualquier contingencia de operación, el sistema debe contar con una protección secundaria con retardo de tiempo en coordinación con el resto del sistema.

Selectividad.- Máxima continuidad del servicio con mínima desconexión del sistema.

Velocidad.- Despeje de la falla en el mínimo de tiempo.

Economía.- Máxima protección a mínimo costo.

Los equipos que cumplen todas estas características son los relés de protección de la línea multilin de General Electric, y los modelos a usar son:

Proces Managment Feeder Relay Multilin GE. 750. - relé de protección para alimentación de CCMs Picadoras y Molinos. Esta implementado con las siguientes protecciones:

Corriente de fase.

- Sobre corriente de fase
- Corriente instantánea.

Corriente del neutro

- Sobre corriente en el neutro.
- Corriente instantánea en el neutro.

Secuencia Negativa.

- Sobre corriente de secuencia negativa
- Voltaje de secuencia negativa.

Voltaje.

- Bajo voltaje
- Sobre voltaje.

Frecuencia.

- Baja frecuencia.
- Sobre frecuencia.

Proces Management Relay Multilin GE 469.- Relé de protección para motores de picadoras de caña. En este se implemento las siguientes protecciones:

Corriente.

- Sobre corriente.
- Corriente de Corto circuito.
- Corriente de desbalance.
- Falla a tierra.

Temperatura.

- Temperatura bobinados del estator.
- Temperatura de rodamientos.

Voltaje.

- Bajo voltaje.
- Sobre voltaje.

Frecuencia.

- Sobre frecuencia.
- Baja frecuencia.

Proces Management Relay Multilin GE 735. Relé de protecciones para transformadores de aislamiento. Se implemento con las siguientes protecciones:

Corriente.

- Corriente de fase.
- Corriente instantánea.

Los distintos valores de las protecciones para cada equipo se encuentran en los Anexos 3, 4 y 5.

4.1.8. DIAGRAMA UNIFILAR

El diagrama unifilar del proyecto se indica en el plano MMILT – 006 y en este se puede apreciar las principales observaciones eléctricas del proyecto.

4.1.9. PRUEBAS ELECTRICAS.

Para nuestro caso se realizaron las siguientes pruebas eléctricas, las cuales mencionamos a continuación:

- Pruebas de aislamiento en los equipo de potencia y motores eléctricos.

Para esta prueba se utilizo un medidor de aislamiento FLUKE 150B, con el cual se realizo pruebas de megado aplicando 5000V por un lapso de 10 minutos en los equipos de potencia como motores eléctricos y cables de alimentación, en estos se hizo mas hincapié debido a que se realizaron puntas terminales para las conexiones de equipos.

- Pruebas de vacio en los motores eléctricos

Esta prueba consistió en operar los motores en vacío para revisar y monitorear parámetros en los variadores de velocidad y acoples de las masas de molinos. Los resultados se muestran en el Anexo 6

4.1.10. PARAMETRIZACION DE VARIADORES DE VELOCIDAD

La parametrizacion de los variadores de velocidad es un punto muy importante en el proyecto pues es aquí donde se introduce la información que el variador requiere para su optimo funcionamiento, por lo general se introduce los datos de placa del motor, los límites de velocidad, el tipo de control y se habilitan las protecciones por temperatura tanto de los

rodamientos como de los bobinados. En el anexo 7 se puede apreciar los parámetros introducidos en el variador de velocidad.

4.1.11. LOGICA DE CONTROL DEL MOLINO.

Control de nivel - este control se lo realiza con el nivel del shute del primer molino y los conductores de alimentación de caña, el setpoint en este caso es el nivel del shute y la variable a controlar es la velocidad lineal de los conductores de caña, de tal manera que se fija un setpoint de nivel la velocidad de los conductores varia para tratar de mantener una alimentación constante al primer molino. En la Fig. # 4.1 se puede apreciar el esquema de control de nivel se observa el PID (Control proporcional, integral y derivativo) los bloques de caracterización y la secuencia de la señal para cada conductor.

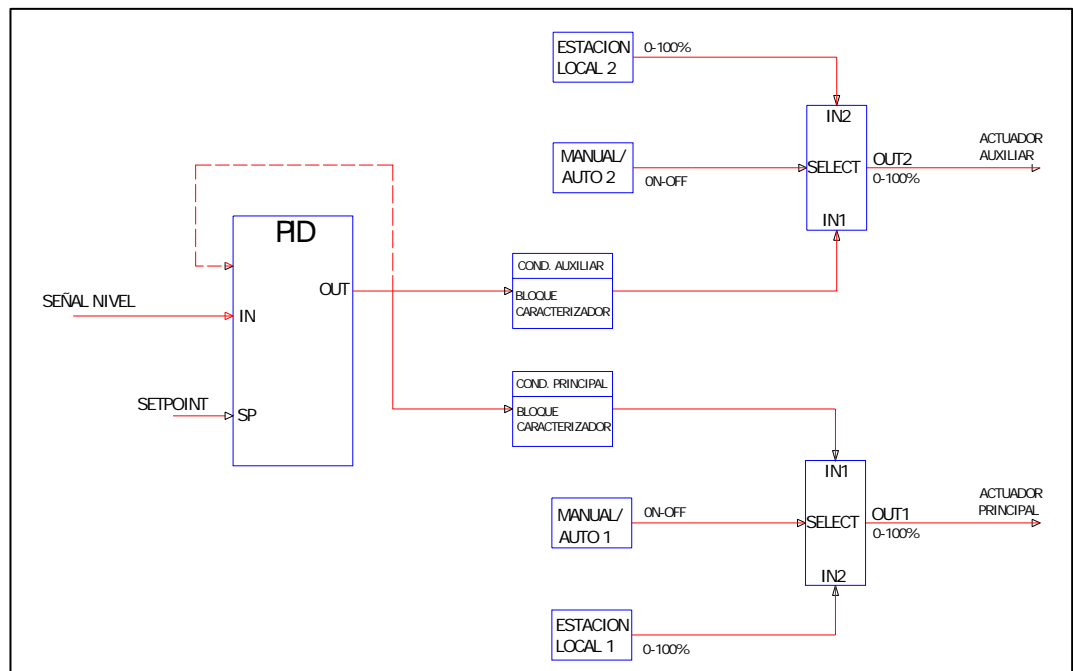


Fig. # 4.1 Lazo Control de Nivel del Shute del Molino # 1

Para los molinos del primero al sexto se fija una velocidad constante de acuerdo al ritmo de molienda que se quiere imponer, la operación para el cambio de velocidad se lo realiza des posiciones: local y remoto.

En la operación local se lo realiza a través de un pupitre de mando situado junto al tamden en donde el operador disminuye o aumenta la velocidad según el requerimiento, además cuenta con displays para visualizar torque y velocidad.

En la operación remota tiene las mismas funciones que la operación local pero esta se lo realiza mediante el sistema de control Delta V desde la estación de control de molinos.

El Delta V. es un sistema de control de automatización de firma Fisher - Rosemount, el que permite el control de procesos en distintos puntos de la fábrica, específicamente en: Molinos, Calderas, Evaporación, Tachos.

4.1.12. ENLACE CON SISTEMA DE CONTROL DELTA V.

Para enlazar la operación de los molinos a través del sistema de control Delta V se utilizaron señales análogas que van desde el controlador hasta el variador de velocidad y viceversa. Este enlace se realiza para operar el molino y monitorear torque y velocidad desde las distintas estaciones de control situadas en fábrica. El tipo de comunicación como se mencionó es análoga utilizando señales de entrada y salida de 4 a 20 miliamperios y se utilizo para la comunicación cable tipo Belden apantallado 2x18 con Shield.

4.1.13. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA.

La puesta en marcha el proyecto de electrificación de molinos significa arrancar el conjunto de motores de las picadoras de caña y motores de molinos hasta comenzar con el proceso de molienda.

Para poner en marcha el sistema hay que seguir el siguiente procedimiento de acuerdo al plano MMILT – 006 del diagrama unifilar:

1. Energizar la barra 4.16 KV del switchgear en el cuarto de control de molinos a través del breaker 252 1/1 situado en el cubículo # 1 del switchgear.
2. Energizar CCM # 1 de picadoras 1, 2 y 3 mediante el breaker 252 ½ situado en el switchgear.
3. Energizar CCM # 2 de molinos 1,2 y 3 mediante el breaker 252 1/3 situado en el switchgear
4. Energizar CCM # 3 de molinos 4,5 y 6 mediante el breaker 252 ¼ situado en el cubículo # 4 del switchgear.
5. Arranque de motores de picadoras 1, 2 y 3 a través de pulsadores de marcha ubicados en la parte frontal del CCM # 1.
6. Energizar circuito de control de variadores de velocidad de molinos. A través de breakers trifásicos thermomagneticos de 50 AMP 460 V situados en el armario J 7B6.2 de molinos.

7. Energizar Variador de velocidad accionando pulsador ON LINE en panel de control del Equipo. Este procedimiento accionara el contactor de fuerza que se encuentra en los CCMs de molinos alimentando de 4160 V al variador dejando al equipo listo para dar marcha al motor.
8. Arrancar motores de molinos, a través de pulsadores de marcha situado en el pupitre de mando central.
9. Variar la velocidad de acuerdo a la molienda que se desea imponer mediante los pulsadores de incremento y disminución de velocidad en el pupitre de mando.
10. Arrancar molienda.
11. En caso de emergencias se puede parar todo el proceso de molienda a través del pulsador de paro de emergencia situado en el pupitre de mando central.

4.2 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS.

En esta sección describiremos las características técnicas y especificaciones de todos los equipos que se implementaron en el proyecto de electrificación de molinos.

4.2.1 METALCLAD.



Fig. # 4.2 Metalclad

El Metalclad o Switchgear es una cabina de maniobra tipo interior de 3.000 Amp. – 4.76 KV, el mismo que esta ubicado en el Cuarto de Control de Molinos, junto al Tándem, las características mas importantes de este equipo presentamos en la Tabla # 4.6

MARCA	CUTLER HAMMER
AÑO DE FABRICACIÓN	2005
Id #	72YJ621
RATED MAXIMUN KV	4.76
RATED MAIN BUS AMPS.	3000
SHORT TIME KA	49
HZ	60
ENCLOUSURE CATEGORY	C
BIL KV	60

TABLA # 4.6 Características técnicas del Metalclad.

Internamente cuenta con 8 cubículos o celdas ver plano MMILT - 007, en los cuales se encuentran los equipos de protección, medición y seccionamiento, los mismos describiremos a continuación:

Celda N°1: Consta con un Switch (352 1/1) que energiza la barra común del Metalclad con la energía proveniente del Transformador de 16.5 MVA a 4.16 KV de la subestación de 69 KV, este es un Interruptor de vacío con capacidad de interrupción de 3000 AMP, cuenta además con una palanca de maniobras sin retención para el accionamiento local del interruptor y un par de luces pilotos que indican el estado del switch.

Celda N°2: Consta de los equipos de medición formados por 2 PTs 4160/120 V y 3 CTs 3000/5 AMP. los que envían la señal a un medidor de energía Multilin PQM GE para medición y a los instrumentos de medición analógicos como multímetro y frecuencímetro.

Celda N°3: Consta con un switch (352 1/2) que alimenta al CCM # 1 de las picadoras de caña (3 motores 1750 HP), es un interruptor de vacío con capacidad de interrupción de 1.200 AMP, consta además con un Relay de protección multilin 750 GE para control, medición y protección del CCM., cuenta con una palanca de operación sin retención para accionamiento local del interruptor y con sus respectivas luces pilotos.

Celda N°4: Consta de un switch (352 1/3) que alimenta al CCM # 1 de motores de molinos 1, 2 y 3 (3 motores 1500 HP). Este es un interruptor de vacío con capacidad de interrupción de 1.200 A. cuenta con un relay multilin 750 GE para control, medición y protección. Cuenta con una palanca de operación sin retención para accionamiento local del interruptor y con sus respectivas luces pilotos.

Celda N°5: Consta de un switch (352 1/4) que alimenta al CCM # 2 de motores de molinos 4, 5 y 6 (3 motores 1500 HP). Este es un interruptor de vacío con capacidad de interrupción de 1.200 A. cuenta con un relay multilin 750 GE para control, medición y protección, cuenta con una palanca de operación sin retención para accionamiento local del interruptor y con sus respectivas luces pilotos.

Celda N°6: Reserva para Transformador 1000 KVA 4160/460 V para alimentación de auxiliares de molinos como motores de bombas de lubricación, enfriamiento, bombas de jugo y conductores de bagazo. Cuenta con un interruptor de vacío (252 1/5) con capacidad de interrupción de 1.200 A. con un Relay multilin 745 GE para protección del transformador y medición. Cuenta con una palanca de operación sin retención para accionamiento local del interruptor y con sus respectivas luces pilotos

Celda N°7: Reserva. Cuenta con un interruptor de vacío (252 1/6) con capacidad de interrupción de 1.200 A. un Relay multilin 750 GE para control, medición y protección. Cuenta con una palanca de operación sin retención para accionamiento local del interruptor y con sus respectivas luces pilotos

Celda N°8: Reserva. Vacía

En el plano: MMILT – 007 muestra además el diagrama unifilar del Metalclad, como se puede apreciar los interruptores de vacío del metalclad cuentan internamente con CTs los cuales entregan las señales de corriente para el monitoreo de parámetros y protecciones eléctricas.

4.2.2 CENTRO CONTROL MOTORES PICADORAS CAÑA



Fig. # 4.3 CCM picadoras de caña

CCM Centro de Control de Motores de Picadoras de Caña, es un armario compuesto por 7 celdas en los cuales internamente se encuentran los arrancadores tipo auto transformador a 4160 V, los elementos de mando y protección de los motores eléctricos de 1750 HP.

En el plano MMILT – 008 se aprecia la vista frontal del CCM, a continuación la descripción de los elementos que se encuentran en cada celda.

Celda # 1: En esta celda se conecta la alimentación a la barra común del CCM.

Celda # 2: Contiene los elementos de fuerza como contactor y autotransformador del arrancador del motor de la picadora de caña # 1, el autotransformador es de 2 pasos de 65% y 100 % del voltaje nominal.

Celda # 3. Contiene el seccionador, los fusibles de protección (390 AMP), el relay Multilin 469 GE para protección del motor, los elementos de medición como CTs, y PTs, bornas del circuito de mando y los pulsadores de paro y marcha del arrancador con sus respectivas luz pilotos que indican el estado del motor de la picadora de caña # 1.

Celda # 4 y 5, contiene los mismos elementos que las celdas 2 y 3 respectivamente pero aplicadas al motor de la picadora de caña # 2.

Celda # 6 y 7, contiene los mismos elementos que las celdas 2 y 3 respectivamente pero aplicadas al motor de la picadora de caña # 3.

En el plano MMILT – 009 se puede observar el circuito eléctrico de fuerza y control con sus principales características técnicas para el arranque con autotransformador.

4.2.3 CENTRO CONTROL MOTORES MOLINOS



Fig. # 4.4 CCM molinos

Son 2 CCMs compuestos por 5 módulos en los cuales se encuentran los elementos de fuerza, mando, protección y medición para el mando de los 6 motores eléctricos de 1500 Hp de los molinos como se puede observar en el plano MMILT – 010

CCM 1 MOLINOS.

Celda # 1: Conecta la alimentación a la barra común del CCM

Celda # 2: Contiene el seccionador, fusibles de protección (390 AMP), contactor de fuerza 400 AMP, Relay multilin 735 GE para protección de transformador de aislamiento y elementos de mando como pulsadores de marcha y paro y luces piloto para arranque del drive del molino # 1.

Celda # 3, 4 y 5 contiene los mismos elementos descritos en la celda # 2 con la diferencia de que la celda # 3 alimenta al drive del molino # 2, la celda # 4 de reserva y la celda # 5 alimenta al drive del molino # 3.

CCM 2 MOLINOS

Similar al CCM 1 MOLINOS pero direccionado a los molinos 4, 5 y 6

En el diagrama unifilar descrito en el plano MMILT – 010 se puede apreciar las principales características técnicas de los elementos de fuerza.

El circuito de control se puede apreciar en el plano MMILT - 011

4.2.4 VARIADORES DE VELOCIDAD

Para la realización de este proyecto se utilizó Drives, marca ABB modelo ACS1000 para un voltaje de trabajo en media tensión de 4160, es el más compacto a nivel mundial en su categoría, en la Fig. # 4.5 se muestra una fotografía de este modelo de Variador de velocidad.

El ACS1000 es un convertidor de frecuencia en media tensión para motores trifásicos de inducción de jaula de ardilla. Se emplean microprocesadores sofisticados para la monitorización del estado electromagnético del motor. Estos datos y el control directo del par permiten un avanzado control del motor sin necesidad de sensores.



Fig. # 4.5 Vista frontal de un Drive ACS1000 ABB.

La tensión de salida del convertidor es casi sinusoidal lo que hace que el ACS1000 sea ideal aplicaciones con motores de inducción estándar.

Fuente de Alimentación.- El ACS1000 esta equipado con un puente rectificador por diodos de 12 pulsos. Véase la Fig. # 4.6 esto es adecuado para la mayoría de redes de alimentación y satisface los requisitos de armónicos exigidos por la norma IEEE 519.

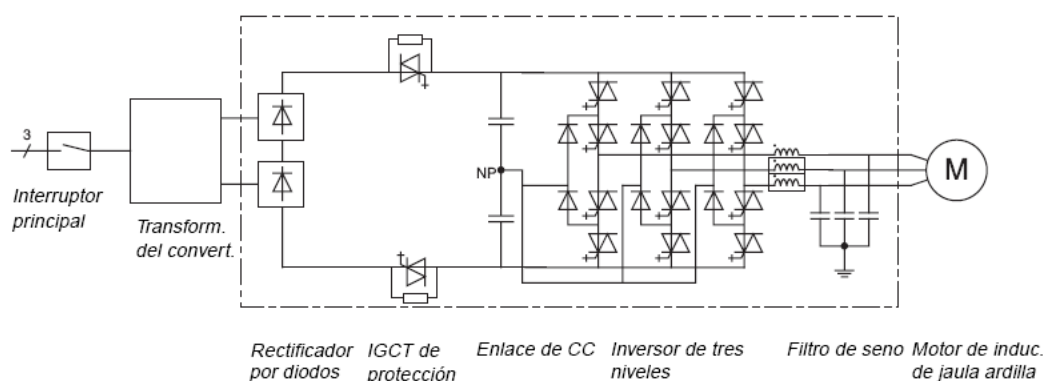


Fig. # 4.6 Diagrama elemental del Drive ACS1000

La tensión de red de CA trifásica alimenta los puentes rectificadores a través de un transformador del convertidor de triple bobinado para obtener una rectificación de 12 pulsos, se requiere una variación de fase de 30 ° entre los dos bobinados secundarios del transformador. Por lo tanto un secundario esta conectado en estrella y el otro esta conectado en triangulo.

Los dos puentes de rectificadores sin fusibles están conectados en serie de tal modo que se suman las tensiones de CC. Por lo tanto, la intensidad de bus CC plena circula por ambos puentes.

Diseño sin fusibles. El ACS1000 tiene un diseño patentado que emplea el dispositivo de conmutación de semiconductor de potencia IGCT (Tiristor conmutado por puerta aislada) para la protección de circuitos en lugar de fusibles convencionales.

El IGCT que se encuentra en el enlace de CC y el rectificador puede aislar directamente el inversor de la etapa de la fuente de alimentación en 25 microsegundos, con lo que es mil veces mas rápido con lo que el rendimiento de los fusibles

Inversor. Cada rama del puente de inversores trifásico consta de una combinación de 2 IGCT para la operación de conmutación de tres niveles: la salida se conmuta entre la tensión de CC positiva el punto neutro NP y la tensión de CC negativa. Por lo tanto la tensión de salida y la frecuencia pueden controlarse de forma continua de cero a máximo, con el control directo del par.

Circuito de salida. En la salida del convertidor, un filtro seno LC con características de paso bajo se emplea para reducir el contenido de armónicos de la tensión de salida. La frecuencia de paso bajo se ha diseñado para estar

muy por debajo de la menor frecuencia de conmutación utilizada por la etapa de salida del inversor. Con ese filtro la onda de tensión aplicada al motor es casi sinusoidal.

Descripción del armario. El ACS1000 está constituido por cuatro secciones como se aprecia en la Fig. # 4.7

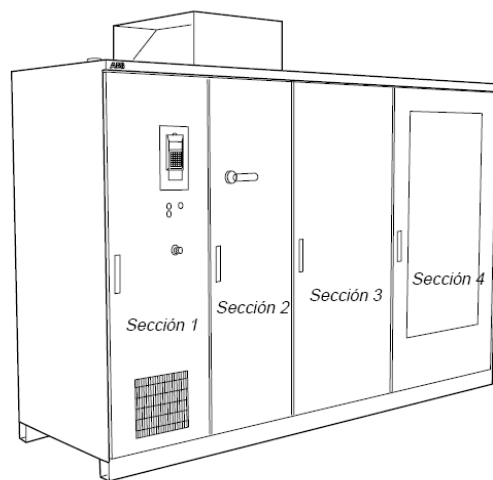


Fig. # 4.7 Distribución de armario drive ASC1000

La sección 1. (Sección de control) incluye el equipo de control. El panel de control CLP 312 se monta en la puerta anterior. Debajo del panel de control se encuentran instalados los botones para abrir y cerrar el interruptor principal, un botón de desconexión de emergencia y una lámpara, que indica cuando está descargado el enlace de CC, el resto del equipo de control (fuente de alimentación electrónica, la placa de microprocesadores, las placas de comunicación interna, los interruptores de protección del motor), se montan en un bastidor basculante. Las entradas E/S del cliente se hayan en la pared a la derecha del bastidor basculante. Los terminales para el control del cliente y las señales de protección y la fuente de alimentación auxiliar también se encuentran aquí.

Detrás del bastidor basculante y de una puerta de seguridad de separación se encuentra la sección de terminales de corriente con barras de bus para los cables de motor y de red. Para proporcionar un acceso adecuado a esta sección, el bastidor basculante puede abrirse más de 90°.

Sección 2. Incluye el conmutador de tierra, las reactancias de filtro y la reactancia opcional de modo común.

Sección 3. Contiene los conjuntos rectificadores, los IGCTS de protección y el ventilador de refrigeración

La sección 4 del inversor, incluye los conjuntos inversores la toma de aire y el filtro de salida y los condensadores conectados a CC

Todas las puertas cuentan con bisagras y cierre de llaves la sección de alimentación del convertidor incluye un sistema de interbloqueo electromecánico que funciona junto con el interruptor de conexión a tierra de seguridad y con el interruptor principal aguas arriba respecto al transformador del convertidor. El sistema de interbloqueo garantiza que ninguno de los armarios de alimentación pueda abrirse hasta que se abra el interruptor principal, el interruptor de conexión a tierra de seguridad se haya apagado y los condensadores de enlace CC se hayan descargado. El mismo sistema de interbloqueo garantiza que la alimentación no pueda inicializarse al convertidor a menos que las puertas estén cerradas y el interruptor de conexión a tierra se haya abierto.

4.2.5 TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO



Fig. # 4.8 Transformador de aislamiento.

Son equipos necesarios para la correcta operación de los Variadores de velocidad y se los utiliza para eliminar los armónicos que estos producen, evitando así que se transmitan a la red, en la Tabla # 4.7 se muestra las características importantes de estas maquinas eléctricas.

POTENCIA	1500 KVA	TIPO	ONAN
% Z	6,07 A 85°C	CLASE	5 KV
F	60 Hz	N BAI AT	75 KV
INDUCTIVO N°	10M - 02	RESISTENCIA ASIALMIENTO	
AT	AMP	AT - BT - GROUND	1600 MΩ
4368	198	BT - AT - GROUND	2500 MΩ
4264	203	AT - BT	35000 MΩ
4160	208	BT	AMP
4050	214	2300 Δ	377
3950	219	2300 Y	377

TABLA # 4.7 Características técnicas de los transformadores de aislamiento de drive molinos.

El diseño de estos transformadores es especial pues se componen de tres devanados el primario conectado en triangulo, mientras que en el secundario existen dos bobinados uno conectado en triangulo y el otro conectado en estrella con el objetivo de obtener una variación de fase de 30° entre los voltajes que alimentan al Drive. En el plano MMILT – 012 se muestra las conexiones eléctricas del transformador.

4.2.6 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CUARTO ELECTRICO.

Los Drives ACS1000 utilizan aire frío proveniente de unidades de aire acondicionado para enfriar el interior del equipo. La siguiente figura # 4.9 muestra un esquema de la circulación del aire en el interior del drive. Como se muestra en la figura

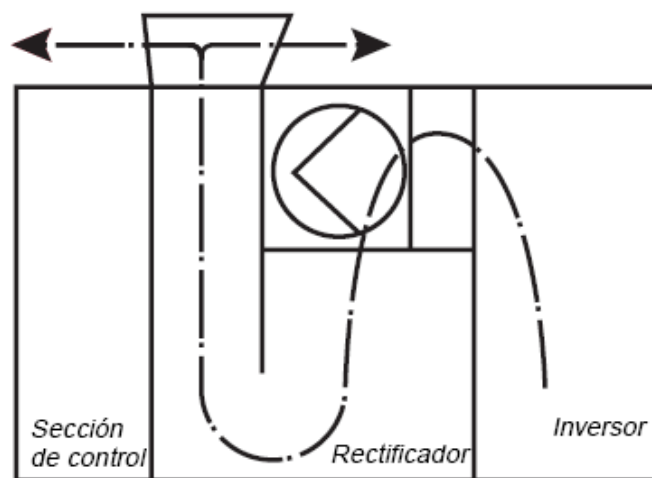


Fig. # 4.9 Esquema de Circulación del aire en el interior del drive

El aire procedente de la toma de admisión de la puerta fluye a través de los conjuntos inversores verticales y se dirige a la sección central, donde se encuentra el ventilador. Después de pasar por el ventilador, el aire pasa a través de los conjuntos de rectificadores por diodos y, a continuación, por la

reactancia de filtro del motor. El escape esta situado en la parte superior del armario y proporciona un efecto conjunto natural para dirigir el flujo de aire tras el ventilador. El sistema de escape está cubierto para proteger el interior del equipo.

El ACS1000 tiene 14.4 KW de perdidas por calor y para su funcionamiento normal se requiere una unidad de enfriamiento de 50000 BTU/Hora. Entonces se requieren 300000 BTU / Hora para el enfriamiento de los seis drives ACS1000. Por consiguiente se monto un sistema de enfriamiento que está compuesto por 3 unidades de 120.000BTU de tipo interior como se aprecia en la Fig. # 4.10, es decir que tanto el compresor como el ventilador se encuentran en un mismo paquete y se ubican dentro del cuarto de control, esto con la finalidad de evitar contaminación en los filtros del compresor debido al ambiente agresivo por la presencia de bagazo y ceniza que se expulsa del proceso, el enfriamiento de estas unidades se realiza mediante un sistema de transferencia de calor a través de circulación de agua para lo cual se diseño un sistema de bombeo de agua con enfriadores de calor.



Fig. # 4.10 Unidad Aire acondicionado.

4.2.7 SISTEMAS AUXILIARES.

Dentro de los sistemas auxiliares tenemos la alimentación 120/240 VAC y 120 VDC.

Los 120/240 VAC se utiliza para iluminación, calefacción de armarios y para tomas de alimentación en los que se conectan equipos de mantenimiento (aspiradoras de polvo), equipos de monitoreo y ajuste de parámetros como PC portátiles.

Mientras que los 120 VDC se utiliza para la operación de equipos de seccionamiento del metalclad.

4.2.8 MOTORES ELECTRICOS.

Los motores eléctricos adquiridos para molinos son de la marca ABB y son de inducción tipo jaula de ardilla. Entre sus características más importantes esta su alta eficiencia que esta por encima el 90% cuando el motor trabaja al menos a un 60% de su potencia nominal.

El montaje del motor se realizó en forma horizontal sobre una base metálica que se encuentra empotrada en el piso de hormigón el montaje se lo hizo tomando en cuenta las especificaciones del fabricante, en especial en el aspecto de la alineación y balanceo de la máquina para evitar problemas de vibración. El la figura 4.11 se muestra el motor eléctrico de molinos en su sitio de trabajo.



Fig. 4.11 Motor eléctrico de molinos.

En los bobinados del motor existen sensores de temperatura tipo RTD PT100 con el fin de monitorear constantemente la temperatura para enviar señales de alarma o en el peor de los casos desconectar el motor, los valores máximos de temperatura recomendados por el fabricante son 160 °C para alarma y 180 °C para desconexión del motor.

En el caso de los rodamientos se tiene un sistema similar de medición con el fin de verificar constantemente que la lubricación este funcionando de manera correcta los valores máximos de temperatura recomendados son: 80 °C para alarma y 90 °C para desconexión del motor. La caja de conexiones del motor consta de 6 terminales permitiendo la conexión del motor en λ o Δ según la aplicación, para nuestro caso se realizo una conexión en λ utilizando terminales de compresión de 4/0.

El sistema de ventilación es por medio de un ducto ubicado en la parte superior del motor el mismo consta de múltiples tubos, en el eje del motor por la parte trasera se encuentra un ventilador el cual extrae aire del exterior y lo hace circular por los tubos, es así que la transferencia de calor se la realiza

“aire a aire”. En la tabla # 4. 8 y 4.9 se muestran las características técnicas de los motores eléctricos adquiridos para las picadoras de caña y los molinos, en el anexo 8 se pueden apreciar las diferentes ofertas por proveedor para esta aplicación

CANTIDAD		3	
CARACTERISTICAS			
MARCA	US MOTOR	MODELO	TITAN II
BARING DELANTERO	6226 – JC3	BEARING POSTERIOR	6226 – JC3
FRAME	5813M	TYPE	JT
ENCL	TE	MAX AMB.	40°C
PH	3	INSUL CLASS	H
DUTTY	CONT	WT	12000LB
HP	1750	RPM	1770
SF	1.15	HZ	60
VOLT	4160	MAX KVAR	293.4
NEMA NOM EFICIENCY	94.5	CODE	M
SF AMP	239	PF	92.4
WARRANTE EFICIENCY	93.6	FABRICADO	USA

TABLA # 4.8 Características técnicas de motores de picadoras de caña.

CANTIDAD		6	
CARACTERISTICAS			
MARCA	ABB	TYPE	AMA
BARING DELANTERO	6326M/C3	BEARING POSTERIOR	6322M/C3
FRAME	450L6A	INSUL CLASS	F
PH	3	INSULATIN CLASS	IP55
DUTY CICLE	S1	NOMINAL RPM	840 - 1190
NOMINAL POWER KW	748 - 1120	HZ	42 – 60 HZ
WINDINGS TEMP SENSOR	YES	BEARINGS TEMP SENSOR	YES
VOLT	4000	PF	0.84
MOT. HEATER NOM VOLT	220	AMP	205
COOLING METHOD	AIR	PF	0.84
CONENECTION TYPE	STAR	INSUL CLASS	F
AÑO FABRICACION	2006	FABRICADO	INDIA

TABLA # 4.9 Características técnicas de motores de molinos.0

4.2.9 PUPITRES DE MANDO.



Fig. # 4.12 Pupitre de mando control de motores de molinos.

Como se puede apreciar en la figura se implemento un pupitre de mando central ubicado junto al tandem con el que se puede operar ágilmente el motor del molino. Consta de las siguientes operaciones:

- Pulsador de arranque y paro del molino.
- Pulsador de aumento y disminución de velocidad.
- Switch de seguridad
- Display para monitorear velocidad motor.
- Display para monitorear torque del motor.
- Selector para invertir giro del motor.
- Selector para selección de operación Auto/Manual.
- Pulsador de parada de emergencia.
- Luces pilotos que indican el estado del motor.

En el plano MMILT – 013 muestran las conexiones eléctricas donde se aprecia el enlace de los sistemas de accionamientos y los variadores de velocidad.

CAPITULO 5

5. ANALISIS ECONOMICO Y FINANCIERO DEL PROYECTO

5.1 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD ECONOMICA.

El objetivo de este capítulo es determinar la rentabilidad del proyecto mediante el análisis del flujo de caja, determinando los ingresos y egresos que se generan en la operación del proyecto.

Para efectos de estudio de factibilidad se asumirá que se llega a generar los 14.6 MW para la venta de excedentes de energía desde el año 2007 en adelante, ya que para esta fecha se habrá realizado la implementación del proyecto de molinos pudiendo obtener suficiente vapor para la generación de energía.

5.1.1 ESCENARIOS DE ESTUDIO

Para el análisis se considera 2 escenarios de estudio:

1.- Sin electrificación de molinos.

En este caso analizaremos los ingresos por venta de energía de la cogeneración eléctrica sin realizar la inversión del cambio de turbinas por motores eléctricos en el tándem de molinos además los egresos por costos de operación y mantenimiento, el proyecto de cogeneración se implemento en el 2005 en el mismo se declaro para la venta de excedentes 6 MWH en un contrato con el CONELEC, el precio de la energía para este caso según la regulación 003/02 es de 10.23 Ctv/Kwh, pero para el siguiente año el 2006, la empresa realizo modificaciones en su parque generador, pues adquirió un

turbo generador de 16.8 MW con lo que su capacidad de generación aumento estando en posibilidad de vender mayor cantidad de energía que la estipulada en el primer contrato, por lo que se realizo un nuevo contrato de venta de energía en donde se estipulo que para excedentes que sobrepase los 6MW el precio seria de 9.04 Cts./Kwh hasta un tope máximo de 15 MW de excedentes para la venta y si se llegara a sobrepasar este valor el precio seria el del mercado eléctrico mayorista.

2.- Con electrificación de molinos.

En este caso se analizara la rentabilidad del sistema integrando la electrificación de molinos pero aquí analizaremos con una entrega de 14.6 MW de excedentes al igual que el caso anterior con los precios estipulados en el contrato realizado con el CONELEC.

Finalmente determinaremos los valores del VAN y el TIR y así comprobar la viabilidad del proyecto.

5.1.1.1 INGRESOS POR VENTA DE ENERGIA EN LOS PROXIMOS 12 AÑOS

En la pagina anterior se estipulo los precios de energía para la venta, con estos valores vamos a determinar los ingresos por venta de energía en los próximos 12 años; hemos considerado este periodo de análisis ya que el costo de la energía para este tipo de generadoras esta vigente 12 años a partir de la firma del contrato según la reglamentación del CONELEC. 004/04 en donde aclara la vigencia del precio de energía para este tipo de generadoras.

Por tanto tenemos que los ingresos sin electrificación de molinos son:

ESCENARIO 1 SIN ELECTRIFICAR MOLINOS, A PARTIR DEL

AÑO 2006

GENERACION TOTAL	16.8	MW
CONSUMO INTERNO	7	MW
VENTA DE EXCEDENTES	9.8	MW
EXCEDENTES POR DIA	235.2	MWH
DIAS POR SEMANA	6.5	
SEMANAS ZAFRA	24	
EXCEDENTES POR ZAFRA	36,691.20	MWH

AÑO	EXCEDENTES			INGRESOS		
	TOTAL	<6MW	>6MW	<6MW	>6MW	TOTAL
	KWH	KWH	KWH	10.23CTV/KWH	9.04CTV/KWH	\$
2005	15,391,727.73	15,391,727.73	0.00	\$1,574,573.75	\$0.00	\$1,574,573.75
2006	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2007	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2008	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2009	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2010	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2011	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2012	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2013	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2014	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2015	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2016	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68

TABLA # 5.1 Ingresos por venta de energía sin electrificar molinos en los próximos 12 años.

Mientras que electrificando molinos tenemos los siguientes ingresos:

ESCENARIO 2 CON PROYECTO DE ELECTRIFICACION DE MOLINOS A PARTIR DEL 2007

GENERACION TOTAL	27.6	MW
CONSUMO INTERNO	13	MW
VENTA DE EXCEDENTES	14.6	MW
EXCEDENTES POR DIA	350.4	MWH
DIAS POR SEMANA	6.5	
SEMANAS ZAFRA	24	
EXCEDENTES POR ZAFRA (MWH)	54,662.40	MWH

AÑO	EXCEDENTES			INGRESOS		
	TOTAL	<6MW	>6MW	<6MW	>6MW	TOTAL
	KWH	KWH	KWH	10.23CTV/KWH	9.04CTV/KWH	\$
2005	15,391,727.73	15,391,727.73	0.00	\$1,574,573.75	\$0.00	\$1,574,573.75
2006	36,691,200.00	21,528,000.00	15,163,200.00	\$2,202,314.40	\$1,370,753.28	\$3,573,067.68
2007	54,662,400.00	21,528,000.00	33,134,400.00	\$2,202,314.40	\$2,995,349.76	\$5,197,664.16
2008	54,662,400.00	21,528,000.00	33,134,400.00	\$2,202,314.40	\$2,995,349.76	\$5,197,664.16
2009	54,662,400.00	21,528,000.00	33,134,400.00	\$2,202,314.40	\$2,995,349.76	\$5,197,664.16
2010	54,662,400.00	21,528,000.00	33,134,400.00	\$2,202,314.40	\$2,995,349.76	\$5,197,664.16
2011	54,662,400.00	21,528,000.00	33,134,400.00	\$2,202,314.40	\$2,995,349.76	\$5,197,664.16
2012	54,662,400.00	21,528,000.00	33,134,400.00	\$2,202,314.40	\$2,995,349.76	\$5,197,664.16
2013	54,662,400.00	21,528,000.00	33,134,400.00	\$2,202,314.40	\$2,995,349.76	\$5,197,664.16
2014	54,662,400.00	21,528,000.00	33,134,400.00	\$2,202,314.40	\$2,995,349.76	\$5,197,664.16
2015	54,662,400.00	21,528,000.00	33,134,400.00	\$2,202,314.40	\$2,995,349.76	\$5,197,664.16
2016	54,662,400.00	21,528,000.00	33,134,400.00	\$2,202,314.40	\$2,995,349.76	\$5,197,664.16

TABLA # 5.2 Ingresos por venta de energía con electrificación de molinos en los próximos 12 años.

5.1.1.2 COSTOS ANUALES

Dentro de los costos anuales que se generan en el sistema de accionamiento del tándem de molinos tenemos lo siguiente:

- Costo de operación y mantenimiento: involucra los costos de mantenimiento y mano de obra para tener operativo el sistema.

Para nuestro caso evaluaremos únicamente los costos que involucran directamente al accionamiento de molinos y picadoras de caña que son los siguientes:

Sin electrificación de molinos

Costos de mantenimiento: involucra los costos de mantenimiento de los equipos, los costos anuales promedios s muestran en la tabla. # 5.3

Costo mantenimiento de turbinas a vapor.	\$ 17,570.10
Costo mantenimiento de líneas de vapor	\$ 2,500.0
Costo de mantenimiento de reguladores de velocidad de las turbinas de vapor	\$ 17,500.0
Costos de mantenimiento de reductores de velocidad	\$ 26,125,0
Costo Total de Mantenimiento mecánico	\$ 63,695.1

TABLA # 5.3 Costos de mantenimiento anual sin electrificación de molinos.

El costo de mano obra involucra el costo del personal de mantenimiento y de operación, para estimar este valor se considero al

personal que labora directamente en la operación y mantenimiento de las turbinas.

En esta área trabajaban constantemente 4 personas con un ingreso promedio de 380 \$ mensuales.

Los costos netos de mantenimiento y mano de obra son predecibles para los dos primeros años de análisis mientras que para el resto se asumirá en base a estos datos. En la tabla. # 5.4 se muestran costos a considerar

AÑO	COSTOS MANTENIMIENTO	COSTOS MANO OBRA	COSTOS O&M
2005	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2006	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2007	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2008	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2009	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2010	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2011	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2012	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2013	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2014	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2015	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1
2016	\$ 63,695.0	\$ 18,240.0	\$ 81,935.1

TABLA # 5.4 Costos de Operación y Mantenimiento en los próximos 12 años sin electrificación de molinos.

Con electrificación de molinos

Para este caso no existen datos estadísticos por lo que se estimara los costos de en base a el tipo de mantenimiento que recomiendan para los sistemas eléctricos implementados.

Los costos involucrados en el mantenimiento de equipos son los que se indican en la tabla. # 5.5

Costos mantenimiento motores eléctricos.	\$ 5,000.0
Costos de mantenimiento de variadores de velocidad	\$ 4,500.0
Costos de mantenimiento de sistemas de enfriamiento de cuarto eléctrico	\$ 850.0
Costos de mantenimiento de reductores de velocidad	\$ 25,000.0
Costos de mantenimiento de CCM, metalclad, pupitres de mando.	\$ 500.0
Costos Totales	\$ 35,850.0

TABLA # 5.5 Estimación de costos de mantenimiento anuales con electrificación de molinos.

Costo de mano de obra:

Igual que en el caso anterior se asumirá el costo de mano de obra para mantenimiento y operación.

En esta área laboraran 4 personas con un sueldo promedio de 380 \$.

En la tabla. # 5.6 se muestran los costos de operación y mantenimiento aproximados para la operación con la electrificación de molinos.

AÑO	COSTOS MANTENIMIENTO	COSTOS MANO OBRA	COSTOS O&M
2007	\$ 35,850.0	\$ 18,240.0	\$ 54,090.0
2008	\$ 35,850.0	\$ 18,240.0	\$ 54,090.0
2009	\$ 35,850.0	\$ 18,240.0	\$ 54,090.0
2010	\$ 35,850.0	\$ 18,240.0	\$ 54,090.0
2011	\$ 35,850.0	\$ 18,240.0	\$ 54,090.0
2012	\$ 35,850.0	\$ 18,240.0	\$ 54,090.0
2013	\$ 35,850.0	\$ 18,240.0	\$ 54,090.0
2014	\$ 35,850.0	\$ 18,240.0	\$ 54,090.0
2015	\$ 35,850.0	\$ 18,240.0	\$ 54,090.0
2016	\$ 35,850.0	\$ 18,240.0	\$ 54,090.0

TABLA # 5.6 Costos de Operación y Mantenimiento en los próximos 12 años con electrificación de molinos.

5.1.2 FLUJO DE CAJA

El objetivo principal de la elaboración del flujo de caja es el de obtener todos los ingresos y egresos del proyecto, para de esta manera obtener un flujo neto de efectivo, y con estos datos obtener los índices de rentabilidad para determinar la factibilidad económica del proyecto.

Para la elaboración del flujo de caja se considera los primeros años de funcionamiento y luego se asumirá que en los siguientes años se llegará a una plena operación de las nuevas instalaciones, por lo que se han proyectado los ingresos de la venta de energía para los siguientes años a estas condiciones.

El flujo de caja elaborado para el proyecto de electrificación contiene los siguientes componentes

- ❖ Inversiones iniciales para la puesta en marcha
- ❖ Ingresos y egresos de operación
- ❖ Gastos financieros
- ❖ Depreciación
- ❖ Utilidades
- ❖ Impuestos a las utilidades
- ❖ Flujo neto de efectivo

La tabla. # 5.7 muestra la incidencia de los componentes involucrado en el cálculo del flujo de caja

INVERSION INICIAL	-
INGRESOS POR VENTA DE ENERGIA	+
GASTOS DE O&M	-
GASTOS FINANCIEROS POR PAGO DE INTERESES	-
DEPRECIACION DE ACTIVOS	-
UTILIDAD	=
IMPUESTOS	-
FLUJO NETO DE EFECTIVO	=

TABLA # 5.7 Definición del flujo de componentes para calculo del Flujo de Caja.

5.1.2.1 INGRESOS POR VENTA DE EXCEDENTES DE ENERGIA.

Para nuestro estudio los ingresos netos a considerar por venta de energía será la diferencia de los ingresos con electrificación y sin

electrificación en el periodo de análisis pues es el resultado de la mejora de molinos por la implementación del proyecto, los valores se muestran a continuación en la tabla. # 5.8

	INGRESOS CON ELECTRIFICACION DE MOLINOS	INGRESOS SIN ELECTRIFICACION DE MOLINOS	INGRESOS NETOS VENTA DE ENERGIA
AÑO	TOTAL	TOTAL	
	\$	\$	
2005	\$1,574,573.75	\$1,574,573.75	0.00
2006	\$3,573,067.68	\$3,573,067.68	0.00
2007	\$5,197,664.16	\$3,573,067.68	\$ 1,624,596.48
2008	\$5,197,664.16	\$3,573,067.68	\$ 1,624,596.48
2009	\$5,197,664.16	\$3,573,067.68	\$ 1,624,596.48
2010	\$5,197,664.16	\$3,573,067.68	\$ 1,624,596.48
2011	\$5,197,664.16	\$3,573,067.68	\$ 1,624,596.48
2012	\$5,197,664.16	\$3,573,067.68	\$ 1,624,596.48
2013	\$5,197,664.16	\$3,573,067.68	\$ 1,624,596.48
2014	\$5,197,664.16	\$3,573,067.68	\$ 1,624,596.48
2015	\$5,197,664.16	\$3,573,067.68	\$ 1,624,596.48
2016	\$5,197,664.16	\$3,573,067.68	\$ 1,624,596.48

TABLA # 5.8 Ingresos netos por venta de excedentes de energía con la electrificación de molinos.

5.1.2.2 COSTO DEL PROYECTO.

Costos inversión

Para establecer la rentabilidad del proyecto de electrificación de molinos, es necesario conocer los costos involucrados en la inversión que se realizó, además determinar los costos operacionales y de

mantenimiento que involucra el cambio de motores por turbinas a vapor

Para la realización del proyecto de Electrificación de los molinos se implemento una serie equipos que se describen en el capitulo anterior, dichos equipos fueron adquiridos directamente de los proveedores y con la compra se incluye también la asesoría técnica y la puesta en marcha

Las inversiones se presentan en la tabla # 5.9 y 5.10

ITEM	DESCRIPCION	COSTO TOTAL
1	BASES PARA DOS CUCHILLAS PICADORAS	\$ 375,000.00
2	BASES PARA SEIS TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO EN NIVEL CERO DE AREA AMPLIACION	
3	CUARTO DE FUERZA PARA SWITCHGEAR, DRIVES, CCM's (APROX : 30 mtsx6 mtsx3mts), A NIVEL DEL PISO DE OPERACIÓN DE TURBINAS ACTUALES	
4	CUARTO DE FUERZA PARA ARRANCADORES PICADORAS (Aprox : 3mtsx3mtsx3mts)	
5	READECUACION BASES MOTORES MOLINOS	
6	EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO CUARTO DE FUERZA, TRES UNIDADES DE 120,000 BTU	

TABLA # 5.9 Detalle de costos de obras civiles del proyecto de electrificación de molinos.

ITEM	DESCRIPCION	CANT	MARCA	COSTO \$
1	Motores Molinos	6	ABB	\$ 448,500.00
2	Drives Molinos	6	ABB	\$ 1,035,000.00
3	Motores Picadoras	3	USMOTOR	\$ 280,500.00
4	Puesta en marcha Drives	1	ABB	\$ 31,250.00
5	Repuestos para Drives	1	ABB	\$ 12,500.00
6	CCM's Molinos	6	CUTLER HAMMER	\$ 111,994.23
7	Arrancadores Picadoras	3	CUTLER HAMMER	\$ 87,977.50
8	Switchgear	1	CUTLER HAMMER	\$ 211,214.60
9	Reductores de 1.750 HP	3	FLENDER	\$ 131,250.00
10	Cables de alta y baja tensión; accesorios de cableado			\$ 198,968.38
11	Electro canales		IMPROEL	\$ 37,500.00
12	Acoples	3	FALK	\$ 37,500.00
COSTO TOTAL				\$ 2,624,154.70

TABLA # 5.10 Costos de equipos implementados en el proyecto de electrificación de molinos.

El resumen de los costos totales para la implementación se presenta a continuación en la tabla. # 5.11

COSTO EQUIPOS, CABLES Y ACCESORIOS	\$ 2,624,154.70
COSTO OBRAS CIVILES	\$ 375,000.00
IMPREVISTOS	\$ 62,500.00
COSTO TOTAL DE LA OBRA \$	\$ 3,061,654.70

TABLA # 5.11 Costo total del proyecto de electrificación de molinos.

Costos financieros

El dinero de las inversiones fue obtenido mediante préstamos a bancos con un interés del 10% anual pagado a 11 años, para este estudio de factibilidad económica se ha escogido el plazo de once años con el

objetivo de tener egresos por gastos financieros durante los doce años de estudio, ya que si se escoge doce años de plazo habrá un desembolso de dinero en el año trece, lo cual no está en concordancia con el tiempo de estudio planteado. El costo financiero lo constituye el pago de los intereses de los préstamos para las inversiones. El interés se lo calcula de la siguiente forma:

$$\text{Interés} = \text{Valor Anual} - \text{Mensualidad}$$

Donde:

- Valor Anual = VA = VP* (A/P/i=10%,12años)
- VP = Valor Presente = Préstamo para inversión
- El factor (A/P/i=10%,12años) se puede obtener de las tablas de interés compuesto, este factor es 0.14676 para un interés de 10% para 12 años y 0.15396 para 11 años a la misma tasa de interés.
- Mensualidad = Préstamo/número de años

La tabla. # 5.12 resume los intereses a pagar durante el plazo de 12 años.

DETERMINACION DE COSTOS FINANCIEROS					
INVERSION	ANUALIDAD		MENSUALIDAD		COSTO FINANCIERO
\$ 3,061,654.70	VP*INTERES COMPUESTO		INVERSION/# AÑOS		ANUALIDAD- MENSUALIDAD
AÑO	INTERES COMP	0.15396	# AÑOS	11	
2006	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11
2007	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11
2008	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11
2009	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11
2010	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11
2011	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11
2012	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11
2013	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11
2014	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11
2015	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11
2016	\$ 471,372.36		\$ 278,332.25		\$ 193,040.11

TABLA # 5.12 Costos financieros del proyecto de electrificación de molinos.

Estos costos serán utilizados para la elaboración del flujo de caja, el cual servirá para obtener la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

5.1.2.3 DEPRECIACIONES

Aplicaremos el método de línea recta sin valor residual es decir vamos a suponer que el activo se deprecia en proporción similar cada año, este método de depreciación es muy sencillo de usar y los resultados pueden ser tomados dentro de lo establecido para este tipo de

proyectos, la tabla. # 5.13 muestra los valores de depreciación en el periodo de estudio establecido.

DEPRECIACION INSTLACIONES Y EQUIPOS IMPLEMENTADOS
EN LA ELECTRIFICACION DE MOLINOS

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	\$ 3,061,654.70
VALOR A DEPRECIAR	\$ 3,061,654.70
AÑO INVERSION	2006
AÑO	DEPRECIACION
2005	
2006	
2007	\$ 278,332.25
2008	\$ 278,332.25
2009	\$ 278,332.25
2010	\$ 278,332.25
2011	\$ 278,332.25
2012	\$ 278,332.25
2013	\$ 278,332.25
2014	\$ 278,332.25
2015	\$ 278,332.25
2016	\$ 278,332.25

TABLA # 5.13 Costos por depreciación de equipos.

5.1.2.4 IMPUESTOS

Para el presente análisis se considerará un impuesto del 25% a las utilidades del proyecto durante la duración de este.

5.1.2.5 UTILIDAD

La utilidad del proyecto antes de impuestos se la calculará de la siguiente forma:

$$\text{Utilidad} = \text{Ingreso por venta de energía} - \text{Egreso por O\&M} - \text{Costos Financieros} - \text{Depreciación.}$$

5.1.2.6 AHORRO POR MEJORAS EN EL SISTEMA DE MOLIENDA.

El cambio de turbinas por motores eléctricos, representa un ahorro en los costos de operación y mantenimiento como se puede apreciar en la tabla. # 5.14

AÑO	COSTOS O&M SIN ELECTRIFICACION (\$)	COSTOS O&M CON ELECTRIFICACION	AHORRO COSTOS O&M (\$)
2007	\$ 81,935.1	\$ 54,090.0	\$ 27,845.1
2008	\$ 81,935.1	\$ 54,090.0	\$ 27,845.1
2009	\$ 81,935.1	\$ 54,090.0	\$ 27,845.1
2010	\$ 81,935.1	\$ 54,090.0	\$ 27,845.1
2011	\$ 81,935.1	\$ 54,090.0	\$ 27,845.1
2012	\$ 81,935.1	\$ 54,090.0	\$ 27,845.1
2013	\$ 81,935.1	\$ 54,090.0	\$ 27,845.1
2014	\$ 81,935.1	\$ 54,090.0	\$ 27,845.1
2015	\$ 81,935.1	\$ 54,090.0	\$ 27,845.1
2016	\$ 81,935.1	\$ 54,090.0	\$ 27,845.1

TABLA # 5.14 Ahorro por mejoras en el sistema de molienda.

Por lo que para el análisis de flujo de caja este rubro entra como un ingreso debido a que se invierte menos dinero que cuando operaba con turbinas de vapor.

De acuerdo al análisis realizado de los ingresos y egresos netos el flujo de caja para el proyecto de electrificación de molinos se muestra en la tabla. # 5.15

AÑO	INVERSION	INGRESOS VENTA DE ENERGIA	COSTOS FINANCIEROS	COSTOS O & M	DEPRECIACION	UTILIDAD	IMPUESTOS	FLUJO NETO CAJA
2006	\$ 3,061,654.70							\$ -3,061,654.70
2007		\$ 1,624,596.48	\$ - 193,040.11	\$ 27,845.10	\$ - 278,332.25	\$ 1,181,069.22	\$ - 295,267.30	\$ 885,801.91
2008		\$ 1,624,596.48	\$ - 193,040.11	\$ 27,845.10	\$ - 278,332.25	\$ 1,181,069.22	\$ - 295,267.30	\$ 885,801.91
2009		\$ 1,624,596.48	\$ - 193,040.11	\$ 27,845.10	\$ - 278,332.25	\$ 1,181,069.22	\$ - 295,267.30	\$ 885,801.91
2010		\$ 1,624,596.48	\$ - 193,040.11	\$ 27,845.10	\$ - 278,332.25	\$ 1,181,069.22	\$ - 295,267.30	\$ 885,801.91
2011		\$ 1,624,596.48	\$ - 193,040.11	\$ 27,845.10	\$ - 278,332.25	\$ 1,181,069.22	\$ - 295,267.30	\$ 885,801.91
2012		\$ 1,624,596.48	\$ - 193,040.11	\$ 27,845.10	\$ - 278,332.25	\$ 1,181,069.22	\$ - 295,267.30	\$ 885,801.91
2013		\$ 1,624,596.48	\$ - 193,040.11	\$ 27,845.10	\$ - 278,332.25	\$ 1,181,069.22	\$ - 295,267.30	\$ 885,801.91
2014		\$ 1,624,596.48	\$ - 193,040.11	\$ 27,845.10	\$ - 278,332.25	\$ 1,181,069.22	\$ - 295,267.30	\$ 885,801.91
2015		\$ 1,624,596.48	\$ - 193,040.11	\$ 27,845.10	\$ - 278,332.25	\$ 1,181,069.22	\$ - 295,267.30	\$ 885,801.91
2016		\$ 1,624,596.48	\$ - 193,040.11	\$ 27,845.10	\$ - 278,332.25	\$ 1,181,069.22	\$ - 295,267.30	\$ 885,801.91

TABLA # 5.15 Flujo de caja del proyecto de electrificación de molinos.

5.1.2.7 CALCULO DEL VAN Y TIR.

Con el flujo de caja procedemos a determinar los índices de rendimiento económico para determinar la viabilidad del proyecto, entre los principales para nuestro análisis tenemos el TIR (Tasa de interés de retorno) y el VAN (Valor anual neto).

La TIR: La tasa interna de retorno es uno de los indicadores mas utilizados para verificar la viabilidad de un proyecto, esta tasa representa en valor de la tasa de interés por en cual el valor actual neto se hace cero. Es decir la TIR es el interés que gana el dinero invertido en el proyecto. Para que un proyecto sea calificado como viable la TIR debe ser mayor a la TMAR

El VAN: El valor actual neto es la cantidad en el momento actual que es equivalente al flujo neto de efectivo de una inversión a una tasa específica de interés i . El valor presente neto se puede expresar como:

$$VAN = -W + \frac{FNE_1}{(P/F, i\%, 1)} + \dots + \frac{FNE_n}{(P/F, i\%, n)}$$

Donde: **FNE_n** es el Flujo neto de efectivo del año n que corresponde a la ganancia neta después de impuestos en el año n , **W** la Inversión inicial en el año n y **i** es tasa de interés anual.

Para la aprobación de una inversión el VAN debe ser mayor que cero.

La TMAR: El objetivo de una inversión es beneficiarse por el desembolso que se va a realizar. Por lo tanto se debe tener una tasa de referencia sobre la cual basarse antes de hacer una inversión la tasa de referencia es la base de comparación en la evaluación económica que se haga. Si no se obtiene cuando menos esa tasa de rendimiento se

rechazará la inversión. Por lo tanto la TMAR representa la tasa mínima aceptable de retorno por lo tanto la TMAR se puede definir como:

$$\text{TMAR} = \text{Tasa de inflación} + \text{Premio al riesgo}$$

El premio al riesgo significa el verdadero crecimiento del dinero y se le llama así porque el inversionista siempre arriesga su dinero y por arriesgarlo merece una ganancia adicional sobre la inflación. Para el caso del proyecto de Electrificación del Tandem de Molinos en el Ingenio La Troncal se tomó como referencia una TMAR= 15%

Una vez definido que importancia tiene estos índices económicos en la implementación del proyecto lo calculamos directamente a través de Microsoft Excel de donde obtuvimos lo siguiente:

$$\text{VAN} = 1,383,980.13$$

$$\text{TIR} = 26.08 \%$$

5.2 RESULTADOS

En virtud de este análisis económico y financiero obtenemos que:

$$\text{VAN} > 0$$

$$\text{TIR} > \text{TMAR}$$

Por consiguiente este proyecto de electrificación de molinos es viable económicamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

El cambio de turbinas de vapor por motores eléctricos en la sección de molinos y picadoras de caña en un Ingenio Azucarero representa una mejor utilización del vapor generado por la central térmica, en el caso del Ingenio La Troncal se aumentará la producción de excedentes de 9.8 MW a 14.6 MW lo cual representa un incremento de excedentes de Generación eléctrica de 4.8 MW para venta al MEM lo que representa ingresos por venta de energía en \$1,624,596.48 anuales. Para poder obtener este aumento no se realizó ningún cambio en la central térmica que cuenta con 4 calderas acutubulares que tienen una producción total de 250 TV/H, el aumento de excedentes se debe a que la eficiencia de una turbina de vapor de varias etapas de un turbogenerador esta por encima de una turbina de vapor de una sola etapa de un molino.

En el Proyecto de electrificación de Molinos se realiza el montaje de equipos de última tecnología lo cual representa una ventaja desde el punto de vista de operación puesto que se puede tener la visualización constante de variables importantes tales como torque y velocidad. En el caso de la turbina se tiene un control de velocidad pero no se puede visualizar el torque. Desde el punto de vista de control el motor eléctrico tiene una reacción mas rápida ante un cambio en la carga puesto que esta controlado por un variador de velocidad electrónico, que tiene un tiempo de respuesta mas rápido (menor a 10 milisegundos) en comparación con el regulador mecánico de una turbina, esto representa una ventaja fundamental puesto que garantiza un ritmo de molienda constante que se traduce en una buena extracción del jugo de caña y también garantiza la calidad del bagazo enviado a calderas en otras palabras para el año 2006 teníamos una extracción de 2.6 % Pol, 3.83% de tiempo perdido en molinos y 50.48% de

humedad de bagazo, mientras que para el año 2007 se obtuvo una extracción de 2.19% Pol, 0.33% de tiempo perdido y 50.22% de humedad lo que representa beneficios adicionales por la implementación del proyecto.

Una ventaja importante dentro del mantenimiento es que con el motor se puede realizar pruebas mecánicas en el molino en cualquier instante mientras que con la turbina se requiere la presencia de vapor para poder realizar cualquier tipo de prueba.

La realización del proyecto requiere una inversión inicial para la compra de los equipos, montaje y puesta en marcha. Los costos de mantenimiento representan una ventaja al ejecutar el proyecto puesto que son menores. Realizando el análisis económico considerando el aumento de excedentes 4.8 MW se obtienen un VAN de \$1,383,980.13 y una TIR de 26.08% lo cual indica la justificación económica del proyecto. Se debe mantener los parámetros fijados en el análisis económico con el fin de poder cumplir las metas trazadas es decir la recuperación del capital y las ganancias proyectadas durante los doce años por lo tanto se debe mantener una molienda que garantice la producción de 14.6 MW de excedentes de energía eléctrica.

Se recomienda fundamentalmente llevar un buen control del mantenimiento de los equipos instalados según las especificaciones del fabricante, en el caso de los motores eléctricos se debe hacer una revisión cada seis meses de todos los componentes mecánicos especialmente en los rodamientos, en el caso de los Drives y equipos electrónicos se debe realizar una limpieza y revisión de sus componentes internos para garantizar un buen funcionamiento debido a que una falla durante el periodo de zafra representa paradas largas de la molienda que ocasionan pérdidas económicas significativas. Durante el proceso de arranque de motores de picadoras y molinos se recomienda hacerlo cuando la planta cuente con la generación total para evitar la compra de energía puesto que esto

representa multas para la empresa según el contrato con el CONELEC. Se debe mantener una buena alimentación de caña hacia las picadoras puesto que si existe un exceso se producen picos de potencia que frenan la alimentación al primer molino o pueden producir atores.

Se debe tener como rutina de mantenimiento una revisión constante del sistema de ventilación del cuarto de drives con la finalidad de mantener una temperatura que garantice un buen funcionamiento, puesto que un aumento en la temperatura produce daños en la vida útil de los equipos y finalmente puede producirse una desconexión por alta temperatura que representa paradas de molienda de largo tiempo.

ANEXO 1

MALLA DE PUESTA A TIERRA.

FUNCION DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA.

Entre las más importantes se tiene:

1. Evitan sobrevoltaje producidos por descargas atmosféricas, operación o maniobras de disyuntores.
2. Proporcionar una vía rápida de descarga de baja impedancia con el fin de mejorar y asegurar el funcionamiento de protecciones.
3. Proporcionar seguridad al personal que realiza maniobras.

PARAMETROS DE LA MALLA A TIERRA.

Una malla a tierra esta afectada por los siguientes parámetros:

- Tensión permisible de Paso
- Tensión Permisible de Contacto
- Configuración de la malla
- Resistividad del terreno
- Tiempo máximo de despeje de falla
- Conductor de la malla
- Profundidad de la instalación de la malla.

Sección del conductor.

Para determinar la sección del conductor para el tejido de la malla de tierra usaremos la ecuación Ec.1 en donde “A” es la sección del conductor en CM (Circular Mil),

“I” la corriente máxima a tierra calculada en la barra de 4.16 KV del Metalclad (ver plano MMILT – 014), “Tm” es la temperatura del máxima tolerable del conductor en ° C, “Ta” la temperatura del medio ambiente en ° C y “t” es tiempo máximo de la duración de la falla en seg.

$$\text{Ec. 1} \quad A = \frac{I}{\sqrt{\frac{\log_{10}\left(\frac{Tm - Ta}{234 + Ta} + 1\right)}{33 * t}}}$$

Para nuestro caso específico tenemos los siguientes valores de parámetros:

$$I = 21686.041 \text{ (Amp)}$$

$$Tm = 450 \text{ (° C)}$$

$$Ta = 25 \text{ (° C)}$$

$$t = 1 \text{ (seg)}$$

Con los valores calculamos la sección del conductor obteniendo el siguiente resultado:

$$A = 191811.12 \text{ CM}$$

$$\mathbf{A = 191.81112 \text{ MCM}}$$

Podemos elegir entre el conductor entre los calibres: 250 MCM o 4/0. Para este caso en particular se empleara conductor el calibre 4/0 AWG cuyo diámetro es 0.01555 (m).

Voltaje pasó permisible (Ep):

Para la determinación del voltaje de paso permisible usaremos la Ec. 2 donde “E paso” es la tensión de paso permisible, “ ρ_s ” = Resistividad del terreno en la superficie ($\Omega - m$) y “t” es el tiempo de despeje de falla en segundos.

$$\text{Ec. 2 } E_{\text{paso}} = \frac{165 + \rho_s}{\sqrt{t}}$$

Para nuestro caso:

$$\rho_s = 3000 (\Omega - m)$$

$$T = 1 \text{ seg}$$

$$E_{\text{paso (tolerable)}} = 3165 \text{ (V)}$$

Voltaje de contacto permisible (Ec):

Usaremos la ecuación Ec. 3

$$\text{Ec. 3 } E_{\text{contacto}} = \frac{165 + 0.25 * \rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$E_{\text{contacto (tolerable)}} = 915 \text{ (V)}$$

Configuración de la malla.

Calculo de parámetros Km, Ki, Ks para tener voltajes de paso y de contacto por debajo de los límites permisibles:

Consideraremos lo siguiente

DIMENSIONES

La malla a construir tiene las siguientes dimensiones:

A = Longitud de la malla (m) = 30 (m)

B = Ancho de la malla (m) = 12 (m)

n = # cond. Paralelo longitud A = 12

m = # cond. Paralelo longitud B = 30

PROFUNDIDAD

La profundidad (h) a la que se encuentra la malla se selecciona en 0.7 m a partir del suelo terminado.

RESISTIVIDAD DEL TERRENO (ρ)

Según mediciones realizadas en todo el ingenio la resistividad del suelo tiene un valor promedio de: 65 Ohmios-m

VARILLAS DE PUESTA A TIERRA

Se recomienda el uso de varillas de copperweld para mejorar la resistencia de la malla, ubicadas en el exterior de la misma con una longitud de 2.4 metros y un diámetro de 5/8 pulgadas. Las mismas que se colocaran a una distancia 2.5 veces su longitud.

SEPARACION ENTRE CONDUCTORES (D)

Se considero una distancia óptima de 1 m entre conductores

LONGITUD CONDUCTOR

La longitud total del conductor esta dada por la ecuación Ec. 4

$$\text{Ec. 4} \quad L = n \times A + m \times B$$

$$L = 720 \text{ (m)}$$

Con estos datos obtenemos Km y Ks con las ecuaciones Ec. 5 y Ec. 6

Ki = 1.5 (para mallas rectangulares)

$$\text{Ec. 5} \quad K_m = \frac{1}{2} * \ln\left(\frac{D^2}{16 * h * d}\right) + \frac{1}{\pi} * \ln\left(\frac{3}{4} * \frac{5}{6} * \frac{7}{8} * \dots * \frac{2n-3}{2 * (n-1)}\right)$$

$$K_m = 0.265$$

$$\text{Ec. 6} \quad K_s = \frac{1}{\pi} * \left(\frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{2 * D} + \frac{1}{3 * D} + \frac{1}{(n-1) * D} \right)$$

$$K_s = 1.058$$

Voltaje pasó malla (Ep)

Se la obtiene con la Ec. 7

$$\text{Ec. 7} \quad E_p = k_m * k_i * \rho * \frac{I}{L}$$

$$E \text{ paso (malla)} = 3106.95 \text{ (V)}$$

Por lo tanto

$$E_p(\text{malla}) < E_p(\text{tolerable})$$

$$3106.95 \text{ (V)} < 3165 \text{ (V)}$$

Voltaje contacto malla (E_c)

$$\text{Ec. 8} \quad E_c = k_m * k_i * \rho * \frac{I}{L}$$

$$E_{\text{contacto (malla)}} = 777.64 \text{ (V)}$$

Por lo tanto

$$E_c(\text{malla}) < E_c(\text{tolerable})$$

$$777.64 \text{ (V)} < 915 \text{ (V)}$$

Resistencia da la malla (R)

Usaremos el método de Laurent y Niemann el cual es bastante aproximado y la

Expresión para el cálculo es la Ec. 9

$$\text{Ec. 9} \quad R = 0.443\rho \left(\frac{1}{\sqrt{A\gamma}} + \frac{1}{L} \right)$$

De donde:

A_y = Es el área de la malla de puesta a tierra en. m²

ρ = Resistividad del terreno su valor es de 65 (Ω - m)

L = Longitud del conductor de la malla (m)

$$R = 1.55 \text{ } \Omega$$

Resumen

Sección de conductor = 191.81 MCM

A = 30 (m)

B = 12 (m)

n = 12

m = 30

E contacto (tolerable) = 915 (V)

E paso (tolerable) = 3165 (V)

Ki = 1.5

Km = 0.265

Ks = 1.058

E contacto (malla) = 777.64 (V)

E paso (malla) = 3106.95 (V)

R = 1.55 Ω

ANEXO 2

INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA CONDUCTORES DE COBRE

AISLADOS TEMPERATURA DE SERVICIO: 60° 75° 90°C

SECCION (mm)2	SECCION AWG	GRUPO A TEMPERATURA DE SERVICIO			GRUPO B TEMPERATURA DE SERVICIO			DESNUDO
		60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
0,32	22	3	3					
0,51	20	5	5					
0,82	18	7.5	7.5					
1,31	16	10	10					
2,08	14	15	15	25	20	20	30	
3,31	12	20	20	30	25	25	40	
5,26	10	30	30	40	40	40	55	
8,36	8	40	45	50	55	65	70	90
13,3	6	55	65	70	80	95	100	130
21,15	4	70	85	90	105	125	135	150
26,67	3	80	100	105	120	145	155	200
33,62	2	95	115	120	140	170	180	230
42,41	1	110	130	140	165	195	210	270
53,49	1/0	125	150	155	195	230	245	310
67,42	2/0	145	175	185	225	265	285	360
85,01	3/0	165	200	210	260	310	330	420
107,2	4/0	195	230	235	300	360	385	490
127	250 MCM	215	255	270	340	405	425	540
152	300 MCM	240	285	300	375	445	480	610
177,3	350 MCM	260	310	325	420	505	530	670
202,7	400 MCM	280	355	360	455	545	575	730
253,4	500 MCM	320	380	405	515	620	660	840
304	600 MCM	355	420	455	475	690	740	
354,7	700 MCM	385	460		630	755		
380	750 MCM	400	475	500	655	785	845	
405,4	800 MCM	410	490		680	815		
456	900 MCM	435	520		730	870		
506,7	1000 MCM	455	545	585	780	925	1000	
633,4	1250 MCM	495	590		890	1065		
760,1	1500 MCM	520	625		980	1175		
886,7	1750 MCM	545	650		1070	1280		
1013	2000 MCM	560	665		1155	1385		

Grupo A: hasta 3 conductores en tubo o en cable o directamente enterrados.

Grupo B: Conductor simple al aire libre.

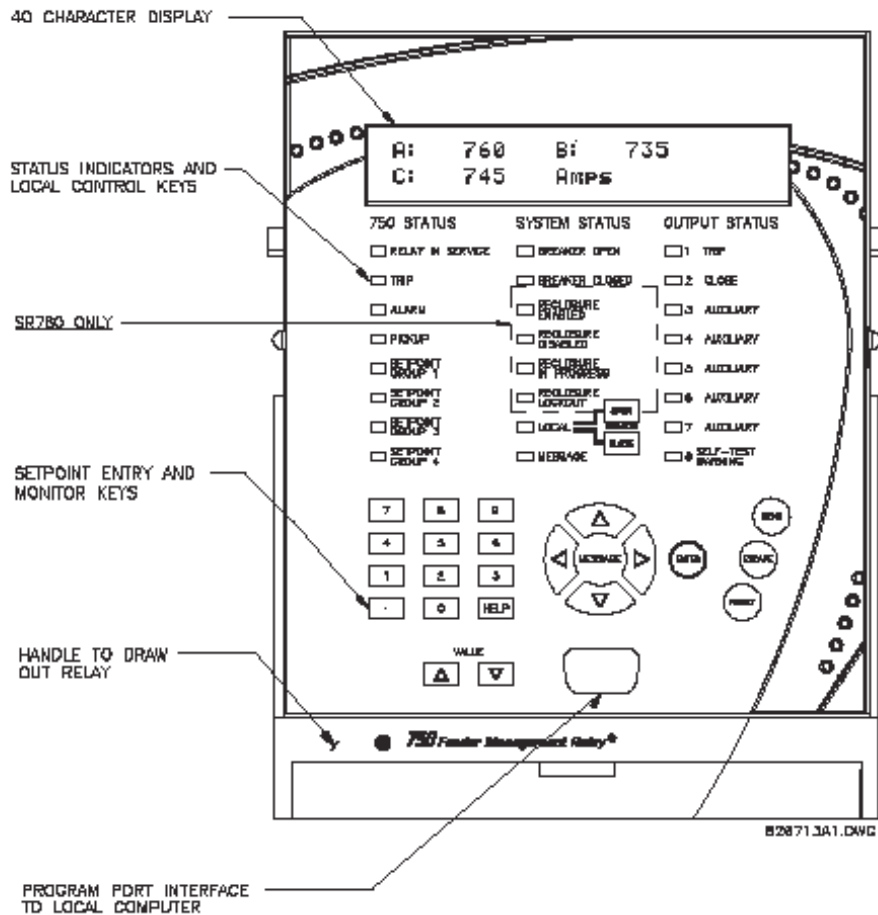
CARACTERISTICAS DE CABLES SELECCIONADOS.

TRAMO	CONDUCTOR	CARACTERISTICAS CONDUCTOR
S/E 69 KV - METALCLAD	4x(3x350MCM)	CONDUCTOR SIMPLE DE COBRE 350 MCM, 5 KV AISLAMIENTO, APANTALLAMIENTO DE COBRE, 133% AISLAMIENTO ERP, DOBLE CHAQUETA DE PVC DE 0.115" Y 0.095", HECHO EN EEUU POR GENERAL CABLE
METALCLAD – CCM PICADORAS	2x(3x350MCM)	
METALCLAD – CCM MOLINO 1,2 y 3	2x(3x350MCM)	
METALCLAD – CCM MOLINO 4,5 y 6	2x(3x350MCM)	
CCM PICADORAS – MP 1	3x4/0	CONDUCTOR TRIFASICO COBRE N° 4/0 AWG, CABLE APANTALLAMIENTO CABRE-ALUMINIO, 5/8 KV AISLAMIENTO, 5 KV A 133% Y 8 KV A 100%, TEMP MAX 105 °C, CON CHAQUETA CORRUGADA DE ALUMINIO TYPO MC-HL, Y CHAQUETA PVC, HECHO EN EEUU POR GENERAL CABLE
CCM PICADORAS – MP 2	3x4/0	
CCM PICADORAS – MP 3	3x4/0	
CCM MOLINOS 1,2,3 – M1	3x4/0	
CCM MOLINOS 1,2,3 – M2	3x4/0	
CCM MOLINOS 1,2,3 – M3	3x4/0	
CCM MOLINOS 4,5,6 – M4	3x4/0	
CCM MOLINOS 4,5,6 – M5	3x4/0	
CCM MOLINOS 4,5,6 – M6	3x4/0	

ANEXO 3

RELE MULTILIN 750

El relé de manejo de alimentadoras 750 de la marca GE es una unidad basada en microprocesadores utilizada para el manejo y protección principal de alimentadoras de distribución, como también para el manejo y resguardo de barras , transformadores , y líneas de transmisión.



Cada relé provee funciones de protección, control, y monitoreo con ambas interfaces humanas en modo local y remoto. Ellos también despliegan las condiciones presentes de disparo y alarma, y una gran cantidad de más de 35 mediciones de parámetros del sistema de potencia. Graban los disparos, alarmas y eventos ocurridos, los niveles máximos de demanda, y el consumo de energía.

Estos relés contienen muchas características innovadoras. Para reunir diversas utilidades y requerimientos de la industria, esas características tienen la flexibilidad de ser programados según las necesidades del usuario. Esta flexibilidad lo hace naturalmente un equipo difícil de aprender. Para ayudar a usuarios nuevos en el inicio rápido, ciertos valores de configuración son fijados y las características avanzadas son deshabilitadas. Esas Configuraciones pueden ser reprogramadas en cualquier momento.

La programación puede ser realizada con la ayuda de las teclas y pantalla en el panel frontal. Este método puede ser muy laborioso. Para simplificar la programación y proveer de una interfase más intuitiva, las configuraciones pueden ser realizadas en un PC corriendo el software Enervista 750 que viene incluido con el relé. Aunque con un mínimo conocimiento de computadoras el programa Enervista permite fácilmente acceder a todas las funciones del panel frontal. Los valores actuales y configuraciones pueden ser desplegados, alterados, almacenados e impresos. Si los valores de operación son almacenados en un archivo de configuración, ellos pueden ser descargados en cualquier momento al relé 750 utilizando un cable conectado al puerto serial.

El setpoints constituye el grupo de valores programables ingresados por el usuario para configurar el relé para una aplicación específica. Y estos parámetros están organizados en ocho grupos:

1. S1 Relay Setup : Acceso a los siguientes parámetros

- Passcode

- Communications
- Clock
- Event Recorder
- Trace memory
- Data logger
- Front Panel
- Default messages
- User Text messages
- Clear Data
- Installation
- Mod 008 Upgrade

2. S2 System Setup: Acceso a los siguientes parametros

- Current Sensing
- Bus VT Sensing
- Line VT Sensing
- Power System
- Flex Curve A(B)

3. S3 Logic Inputs: Acceso a los siguientes parametros

- Logic Inputs Setup
- Breaker Functions
- Control Functions
- User Inputs
- Block Functions
- Block OC Functions
- Transfer Functions
- Reclose Functions

- Misc Functions

4. S4 Outputs Relays: Acceso a los siguientes parametros

- 1 Trip Relay
- 2 Close Relay
- 3(7) Aux Relay

5. S5 Protection: : Acceso a los siguientes parámetros

- Phase Current
- Neutral Current
- Ground Current
- Sensitive GND Current
- Negative Sequence
- Voltage
- Fequency
- Breaker Failure
- Reverse Power

6. S6 Monitoring: Acceso a los siguientes parámetros

- Current Level
- Power Factor
- Fault Locator
- Demand
- Analog Input
- Analog Output
- Overfrequency

- Equipment
- Pulsed Output

7. S7 Control: Acceso a los siguientes parámetros

- Setpoint Groups
- Syncrocheck
- Manual Close
- Cold Load Pickup
- Undervoltage Restoration
- Underfrequency restoration
- Transfer
- Autorreclose

8. S8 Testing: Acceso a los siguientes parámetros

- Outputs Relays
- Pickup Test
- Analog Outputs
- Simulation
- Factory Service

Los Valores Actuales sirven para acceder a la información de valores medidos, mantenimiento, y análisis de fallas. Los mensajes de valores actuales se encuentran organizados en cinco grupos lógicos:

1. A1 Status : Acceso a los siguientes parámetros

- Virtual Inputs
- Hardware Inputs
- Last Trip Data
- Fault Locations
- Clock
- Autoreclose

2. A2 Metering: Acceso a los siguientes parámetros:

- Current
- Voltage
- Frequency
- Synchro Voltage
- Power
- Energy
- Demand
- Analog Input

3. A3 Maintenance: Acceso a los siguientes parámetros

- Trip Counter
- Arcing Current

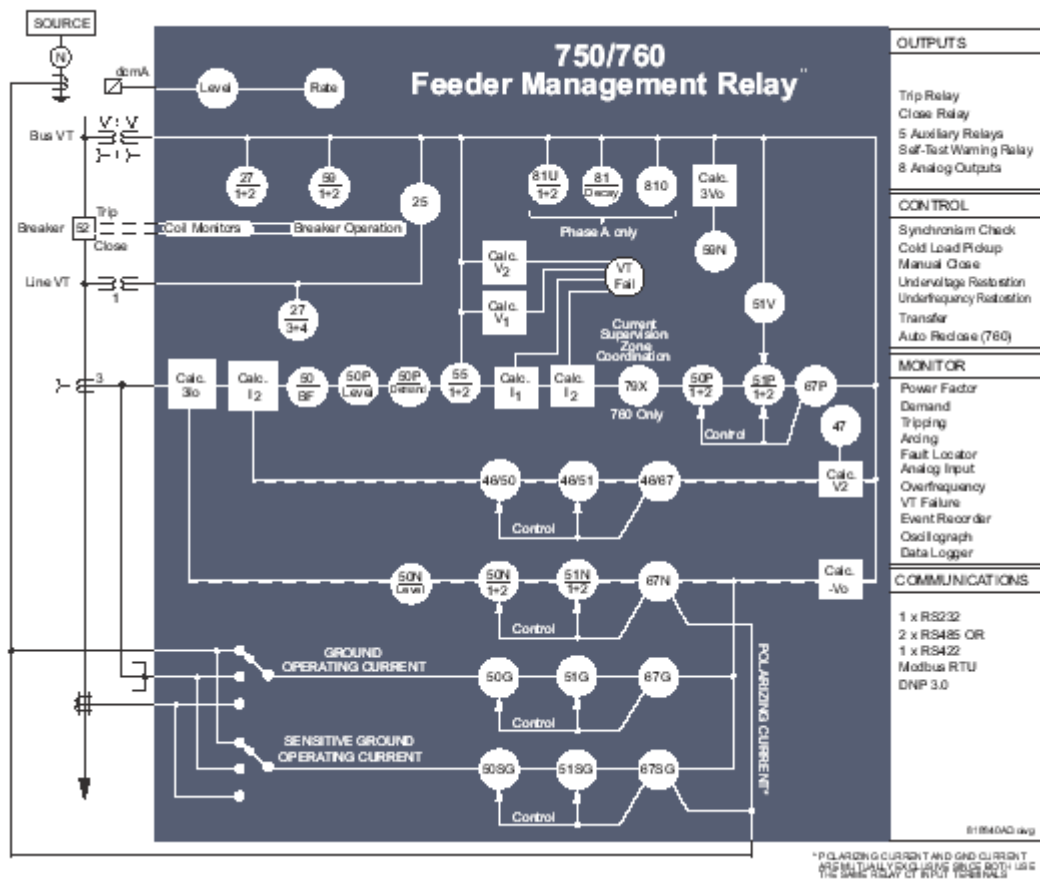
4. A4 Even recorder: Acceso a los siguientes parámetros

- E001(128)
- Last Reset Data

5. A5 Product Info: Acceso a los siguientes parámetros

- Thecnical Support
- Revision Codes
- Calibration dates

Se muestra abajo un diagrama unifilar de las características de protección y control del 750 utilizando codificación ANSI.



Los transformadores de corriente y voltaje (CTs y VTs) permiten el monitoreo a escala de las señales de voltaje y corriente. Se monitorea el voltaje tanto en la barra alimentadora asi como en la linea a proteger luego del breaker 52. De igual manera el

rele 750 mide las corrientes de línea y de falla a tierra. El objetivo principal del rele 750 es despejar cualquier tipo de falla eléctrica mediante la desconexión del breaker

52

Continuación se describen las principales características del rele 750 utilizando la codificación ANSI.

ANSI	PROTECTION / CONTROL	FEEDER			BUS		TRANSFORMER		LIFE	
		Capacitor	Radial	Tero-armed	Backup	Transfer	Backup	Life	Backup	
27	Bus / Line Undervoltage	●	●	●	●	●			●	●
47	Negative Sequence Voltage	●	●	●	●				●	●
60	Phase/Neutral/Gnd/Neg Seq/Sens Grd Inst O/C	●	●	●					●	●
61	Phase/Neutral/Gnd/Neg Seq/Sens Grd Time O/C	●	●	●	●	●			●	●
69	Bus Overvoltage/Neutral Displacement	●	●	●	●				●	●
67	Phase/Neutral/Neg Seq/Sens Grd/Gnd Directional Control			●	●				●	●
81	Bus Underfrequency/Rate of Change				●				●	●
	Undervoltage Automatic Restoration	●	●	●	●				●	
	Underfrequency Automatic Restoration	●	●	●	●				●	
	Breaker Failure with Current Superv.	●	●	●	●	●			●	●
	Bus Transfer					●				
	Programmable Logic Inputs	●	●	●	●	●			●	●
	Multiple Setpoint Groups	●	●	●	●	●			●	●

MONITORING / CONTROL		FEEDER			BUS		TRANSFORMER		LIFE	
		Capacitor	Radial	Tero-armed	Backup	Transfer	Backup	Life	Backup	
26	Synchrocheck			●		●			●	●
60	Phase/Neutral Current Level	●	●	●	●	●			●	●
66	Power Factor	●	●							
79	Autoreclose (780 only)		●	●					●	●
81	Overfrequency								●	●
	Breaker Open/Close	●	●	●	●	●			●	●
	Manual Close Feature Blocking	●	●	●		●			●	
	Cold Load Pickup Feature Blocking		●	●	●				●	
	Breaker Operation Failure	●	●	●	●	●			●	●
	Trip/Close Circuit Failure	●	●	●	●	●			●	●
	Total Breaker Arcing Current	●	●	●	●	●			●	●
	VT Failure	●	●	●					●	●
	Demand (A, MW, Mvar, MVA)	●	●	●	●	●			●	●
	Analog Input	●	●	●	●	●			●	●
	Event Recording	●	●	●	●	●			●	●
	Analog Output	●	●	●					●	●
	Fault Locator		●	●					●	●
	Trip Counter	●	●	●	●	●			●	●

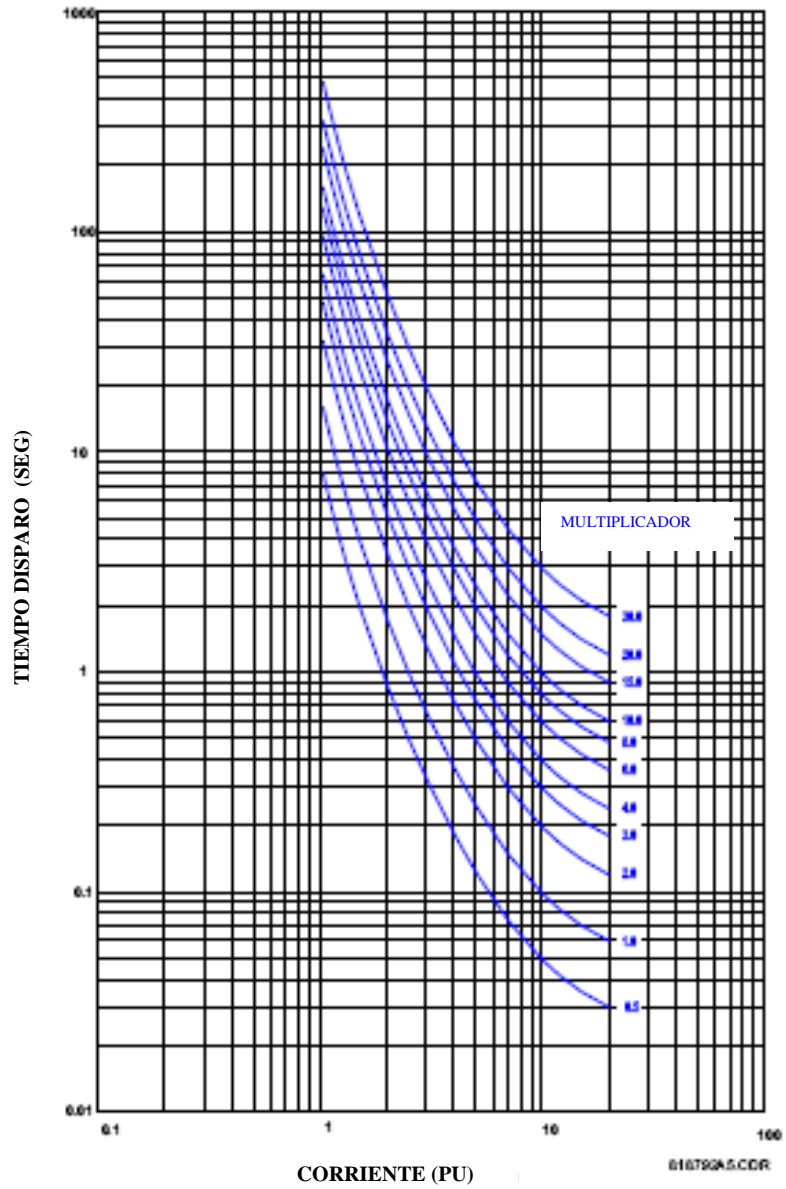
En la siguiente tabla se muestra los valores ingresados al rele 750 para la proteccion de las celdas de distribucion del Metaclad

Item	Descripción de la protección	Tiempo	Valor
1	Sobrecorriente en línea	Curva extremadamente inversa	1 x CT
2	Sobrecorriente en neutro	Curva extremadamente inversa	0.25 xCT
3	Sobrecorr.Instantanea neutro	0 segundos	1xCT
4	Sobrecorr.Secuencia negativa	Curva extremadamente inversa	0.15 x CT
5	Secuencia negativa de voltaje	2 segundos	0.15 xVT
6	Baja frecuencia 1	2 segundos	58 Hz
7	Baja frecuencia 2	1segundos	56 Hz

Finalmente se muestra la curva utilizada en el rele 750 para la protección de las celdas del Metalclad de molinos.



750/760 EXTREMA INVERSA



NOTE:
LOG CHART SCALED AS PER:
KEUFFEL & ESSER TIME-CURRENT CHARACTERISTIC PAPER

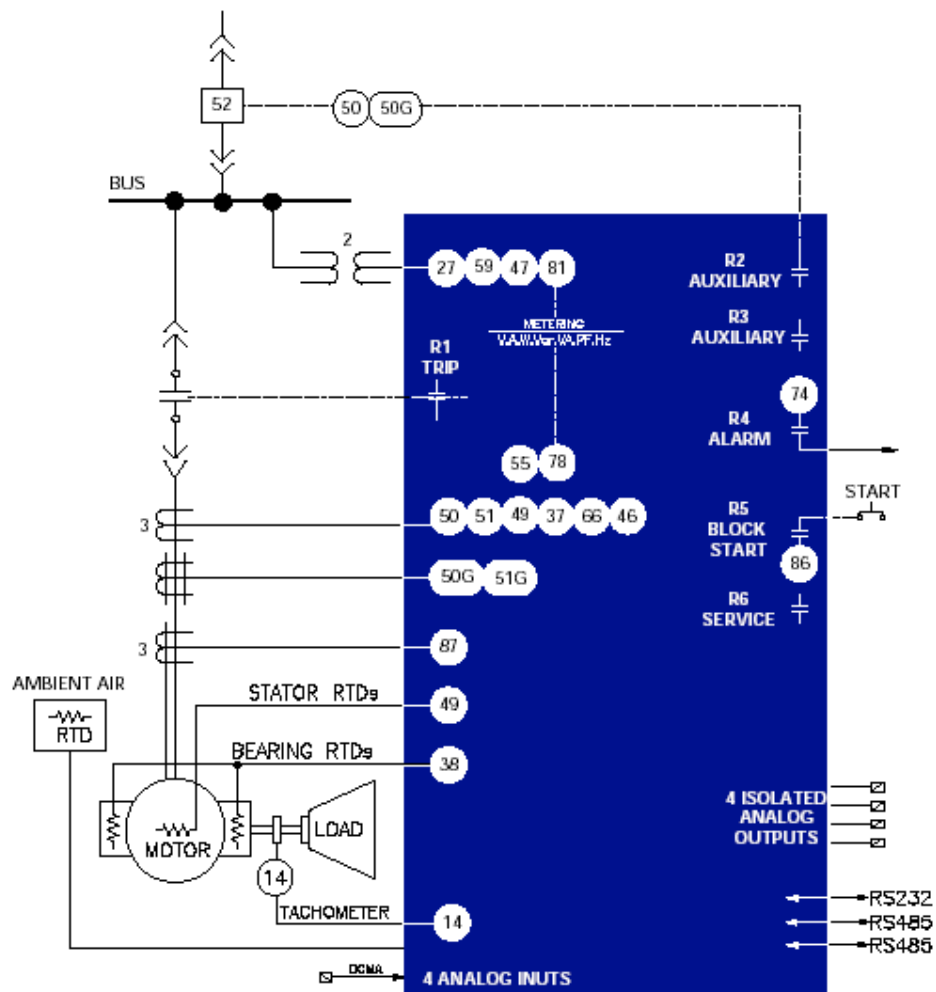
GE ORDER #: GES10066

REV.	DATE	BY	DESCRIPTION
001	01/01/00	W. J. W.	INITIAL DESIGN
002	01/01/00	W. J. W.	REVISED
003	01/01/00	W. J. W.	REVISED
004	01/01/00	W. J. W.	REVISED
005	01/01/00	W. J. W.	REVISED
006	01/01/00	W. J. W.	REVISED
007	01/01/00	W. J. W.	REVISED
008	01/01/00	W. J. W.	REVISED
009	01/01/00	W. J. W.	REVISED
010	01/01/00	W. J. W.	REVISED
011	01/01/00	W. J. W.	REVISED
012	01/01/00	W. J. W.	REVISED
013	01/01/00	W. J. W.	REVISED
014	01/01/00	W. J. W.	REVISED
015	01/01/00	W. J. W.	REVISED
016	01/01/00	W. J. W.	REVISED
017	01/01/00	W. J. W.	REVISED
018	01/01/00	W. J. W.	REVISED
019	01/01/00	W. J. W.	REVISED
020	01/01/00	W. J. W.	REVISED
021	01/01/00	W. J. W.	REVISED
022	01/01/00	W. J. W.	REVISED
023	01/01/00	W. J. W.	REVISED
024	01/01/00	W. J. W.	REVISED
025	01/01/00	W. J. W.	REVISED
026	01/01/00	W. J. W.	REVISED
027	01/01/00	W. J. W.	REVISED
028	01/01/00	W. J. W.	REVISED
029	01/01/00	W. J. W.	REVISED
030	01/01/00	W. J. W.	REVISED
031	01/01/00	W. J. W.	REVISED
032	01/01/00	W. J. W.	REVISED
033	01/01/00	W. J. W.	REVISED
034	01/01/00	W. J. W.	REVISED
035	01/01/00	W. J. W.	REVISED
036	01/01/00	W. J. W.	REVISED
037	01/01/00	W. J. W.	REVISED
038	01/01/00	W. J. W.	REVISED
039	01/01/00	W. J. W.	REVISED
040	01/01/00	W. J. W.	REVISED
041	01/01/00	W. J. W.	REVISED
042	01/01/00	W. J. W.	REVISED
043	01/01/00	W. J. W.	REVISED
044	01/01/00	W. J. W.	REVISED
045	01/01/00	W. J. W.	REVISED
046	01/01/00	W. J. W.	REVISED
047	01/01/00	W. J. W.	REVISED
048	01/01/00	W. J. W.	REVISED
049	01/01/00	W. J. W.	REVISED
050	01/01/00	W. J. W.	REVISED
051	01/01/00	W. J. W.	REVISED
052	01/01/00	W. J. W.	REVISED
053	01/01/00	W. J. W.	REVISED
054	01/01/00	W. J. W.	REVISED
055	01/01/00	W. J. W.	REVISED
056	01/01/00	W. J. W.	REVISED
057	01/01/00	W. J. W.	REVISED
058	01/01/00	W. J. W.	REVISED
059	01/01/00	W. J. W.	REVISED
060	01/01/00	W. J. W.	REVISED
061	01/01/00	W. J. W.	REVISED
062	01/01/00	W. J. W.	REVISED
063	01/01/00	W. J. W.	REVISED
064	01/01/00	W. J. W.	REVISED
065	01/01/00	W. J. W.	REVISED
066	01/01/00	W. J. W.	REVISED
067	01/01/00	W. J. W.	REVISED
068	01/01/00	W. J. W.	REVISED
069	01/01/00	W. J. W.	REVISED
070	01/01/00	W. J. W.	REVISED
071	01/01/00	W. J. W.	REVISED
072	01/01/00	W. J. W.	REVISED
073	01/01/00	W. J. W.	REVISED
074	01/01/00	W. J. W.	REVISED
075	01/01/00	W. J. W.	REVISED
076	01/01/00	W. J. W.	REVISED
077	01/01/00	W. J. W.	REVISED
078	01/01/00	W. J. W.	REVISED
079	01/01/00	W. J. W.	REVISED
080	01/01/00	W. J. W.	REVISED
081	01/01/00	W. J. W.	REVISED
082	01/01/00	W. J. W.	REVISED
083	01/01/00	W. J. W.	REVISED
084	01/01/00	W. J. W.	REVISED
085	01/01/00	W. J. W.	REVISED
086	01/01/00	W. J. W.	REVISED
087	01/01/00	W. J. W.	REVISED
088	01/01/00	W. J. W.	REVISED
089	01/01/00	W. J. W.	REVISED
090	01/01/00	W. J. W.	REVISED
091	01/01/00	W. J. W.	REVISED
092	01/01/00	W. J. W.	REVISED
093	01/01/00	W. J. W.	REVISED
094	01/01/00	W. J. W.	REVISED
095	01/01/00	W. J. W.	REVISED
096	01/01/00	W. J. W.	REVISED
097	01/01/00	W. J. W.	REVISED
098	01/01/00	W. J. W.	REVISED
099	01/01/00	W. J. W.	REVISED
100	01/01/00	W. J. W.	REVISED

ANEXO 4

RELE MULTILIN 469

El relé 469 de la marca GE esta diseñado para la protección y manejo de motores eléctricos de mediano y gran tamaño. Esta basado en tecnología de microprocesadores y equipado con seis relés de salida para disparos, alarmas y bloques de arranques. Además de proteger al motor este rele permite diagnosticar fallas, realizar mediciones de potencia y comunicaciones con otros equipos. Se muestra continuación un diagrama unifilar de bloques usando la codificación ANSI



En el diagrama funcional se ve el uso de RTDs para el monitoreo de la temperatura del motor. Esto se debe a que el rele calcula el modelo térmico del motor para protegerlo de temperaturas elevadas.

Las protecciones de corriente, voltaje, potencia inversa, secuencia negativa, sobre frecuencia y falla a tierra utilizan los transformadores de corriente y voltaje para ajustarse a los niveles de voltaje y corriente manejados por el rele.

El rele 469 al detectar cualquier anomalía en el funcionamiento del motor produce inmediatamente el disparo del contactor que energiza el motor e incluso puede actuar en coordinación con otros equipos de protección.

Las principales características de protección del rele se indican en la siguiente tabla

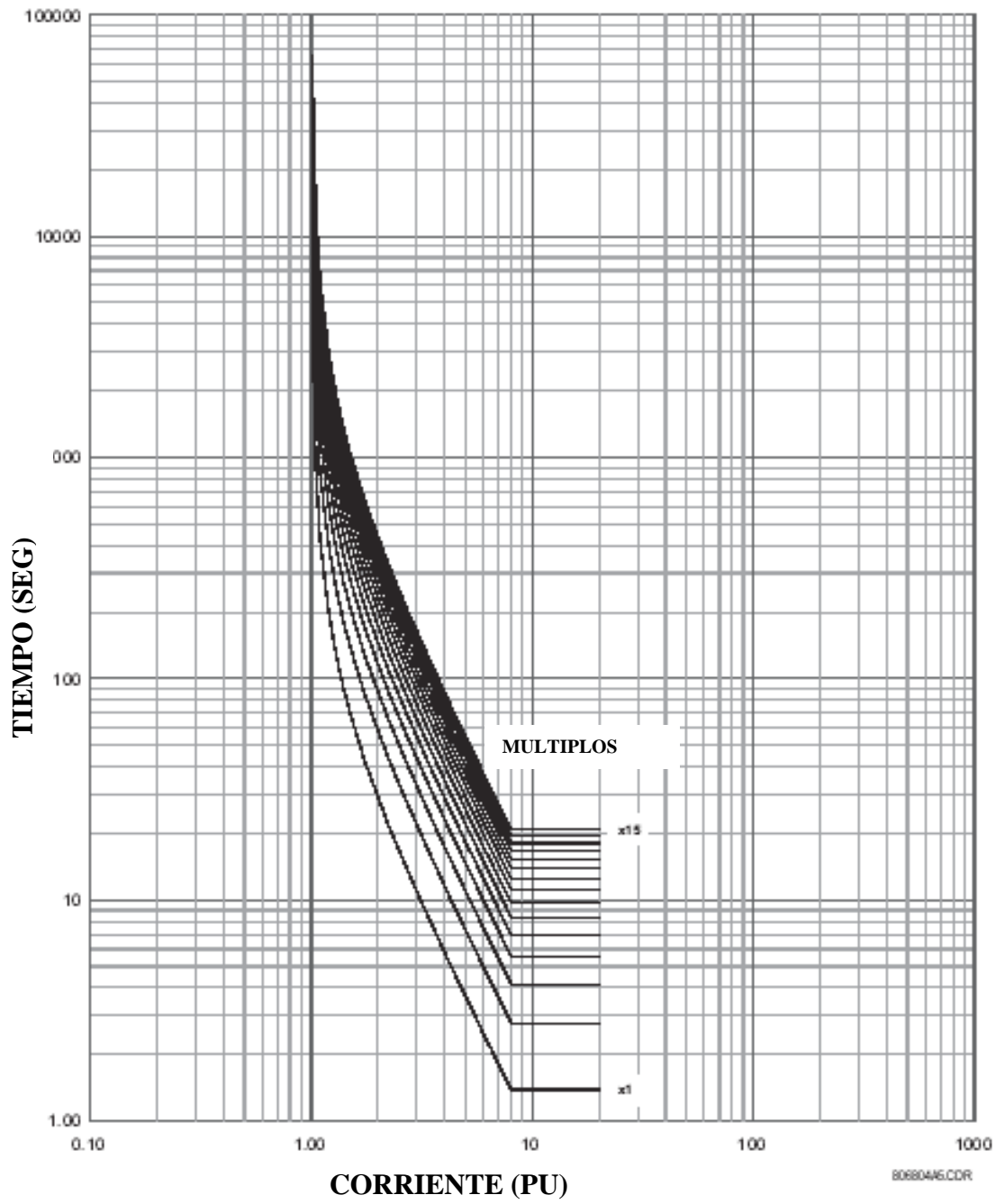
ANSI	DESCRIPCION	TRIP	ALARM	BLOCK START	CONTROL
51	Overload	○	○	○	○
86	Overload Lockout			○	
66	Starts/Hour & Time Between Starts			○	
50	Short Circuit & Short Circuit Backup	○		○	
32	Reverse Power	○	○	○	
37	Undercurrent/Underpower	○	○	○	
46	Current Unbalance	○	○	○	
50G/51G	Ground Fault & Ground Fault Backup	○	○	○	
87	Differential	○		○	
49	Stator RTD	○	○	○	
38	Bearing RTD	○	○	○	
27/59	Undervoltage/Overvoltage	○	○	○	
47	Phase Reversal	○		○	
81	Frequency	○	○	○	
55/78	Power Factor	○	○	○	○
14	Speed Switch & Tachometer Trip	○	○	○	
19	Reduced Voltage Start				○
48	Incomplete Sequence (Reduced Voltage Start)	○		○	○

DATOS DE CONFIGURACION MULTILIN 469

Se mencionan acontinuacion los ajustes realizados en el rele 469 para la protecci3n de los motores electricos de las picadoras de caña.

Item	Descripcion	Valor	Tiempo Segundos	Accion
1	Corriente de corto circuito	10xCT	0	Disparo
2	Corriente desbalance	20%	1	Disparo
3	Corrinete falla a tierra	1xCT	0.1	Disparo
4	Bajo voltaje	0.85 VT	3	Disparo
5	Sobrevoltaje	1.1 VT	3	Disparo
6	Frecuencia	60.5 Hz		Alarma
7	Frecuencia	59.5 Hz		Alarma
8	Frecuencia	62 Hz		Disparo
9	Frecuencia	58 Hz		Disparo
10	Temperatura del estator Fase A	120°C - 145°C		Alarma-Disparo
11	Temperatura del estator Fase B	120°C - 145°C		Alarma-Disparo
12	Temperatura del estator Fase C	120°C - 145°C		Alarma-Disparo
13	Temparatura del Rodamiento delantero Izquierda	90°C - 100°C		Alarma-Disparo
14	Temparatura del Rodamiento delantero Derecha	90°C - 100°C		Alarma-Disparo

CURVA DE SOBRECARGA ESTANDAR DEL RELE 469

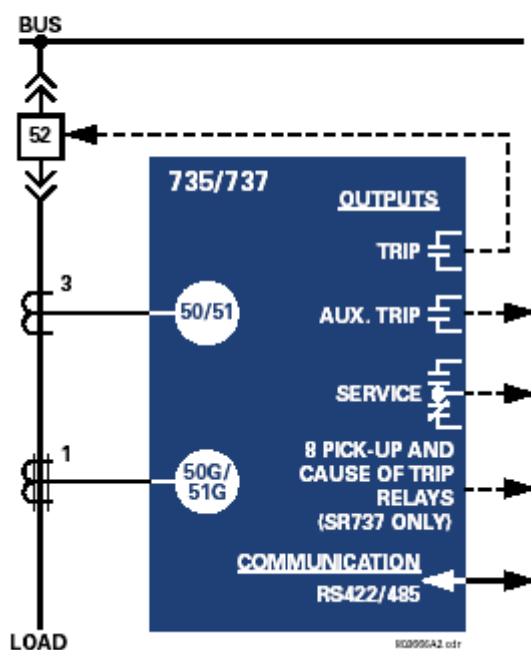


ANEXO 5

RELE MULTILIN 735

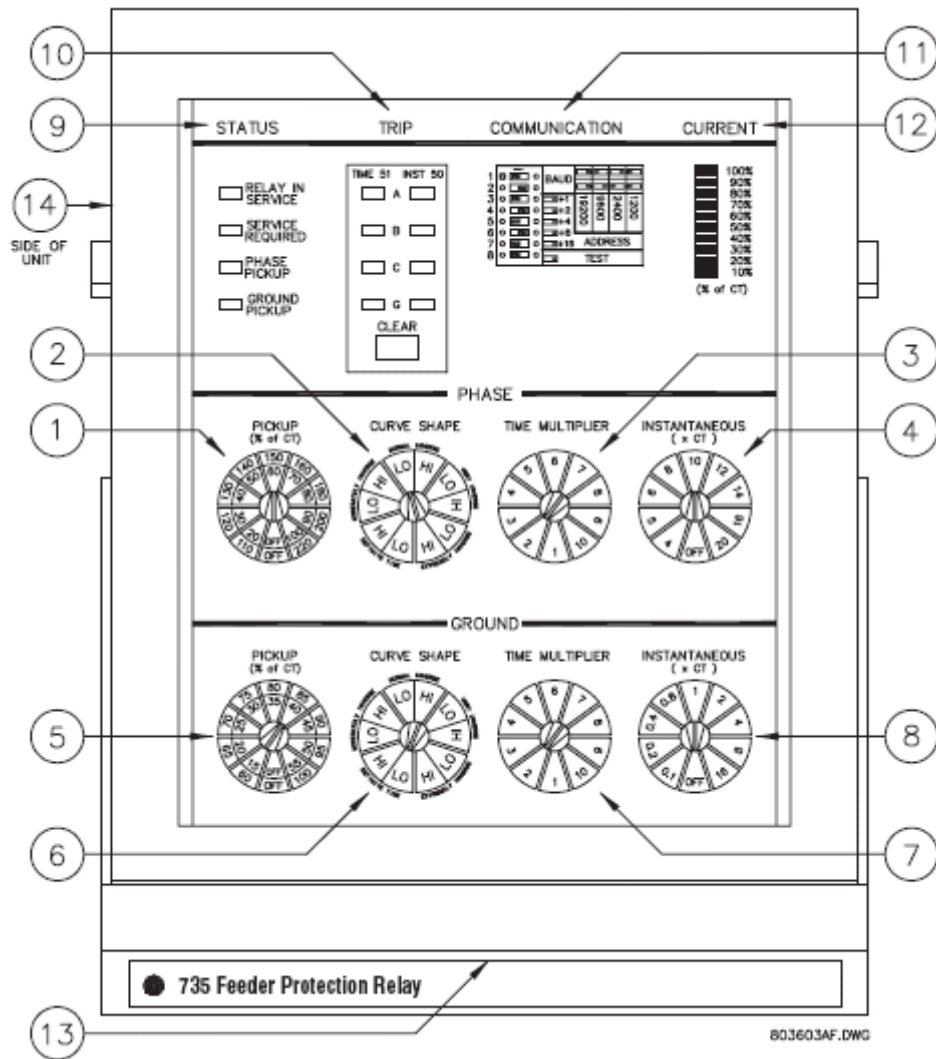
El rele multilin 735 es de la marca GE y esta basado en microprocesadores. Este relé es utilizado para la protección primaria sobre redes de distribución a cualquier nivel de voltaje. Las características de protección de tierra y fase por sobrecorriente reemplazan a un equivalente de ocho protecciones separadas.

DIAGRAMA FUNCIONAL DE BLOQUE



En el diagrama funcional se distingue la protección 50/51 por sobrecorriente de fase en la carga y la protección 50G/51G la protección por sobrecorriente de falla a tierra. Para el control se disponen de tres relés: disparo, disparo auxiliar y servicio, donde el rele de disparo actúa directamente sobre el control del interruptor o breaker 52.

Cada elemento de protección puede ser selectivamente habilitada desde el panel frontal utilizando los discos de ajuste tal como se muestra en la siguiente figura.



1. PHASE PICKUP (Protección de fase)

Este control determina el pico de corriente para la protección por sobrecorriente basándose en cualquier forma de curva de fase y curva multiplicadora. Su valor se fija en un porcentaje del valor nominal de operación del CT.

2. PHASE CURVE SHAPE

Cinco formas de curva diferente están disponibles para la protección por sobrecorriente para actuar en coordinación con otros equipos de protección. Estas curvas se denominan:

- De tiempo definido
- Moderadamente inversa
- Normalmente inversa
- Muy inversa
- Extremadamente inversa

En el disco de regulación se pueden escoger 2 bandas de operación: banda baja LO (20% al 100% del valor del CT) y banda HI (110% - 220% del valor del CT) . Esto se observa en la siguiente figura.

3. PHASE TIME MULTIPLIER

El disco time multiplier permite la selección de un múltiplo de la forma de la curva base para cada curva. Es ajustable de 1 a 10 en incrementos de 1.

4. PHASE INSTANTANEOUS

Niveles de disparo instantáneo por fase sin ningún retardo de tiempo (30 ms max) puede ser fijado utilizando el disco de regulación instantáneo como un múltiplo del CT. Esta configuración es independiente de la protección PHASE PICKUP

5. GROUND PICKUP (Protección falla a tierra)

Protección similar a PHASE PICKUP pero con bandas de protección diferente

Banda bala LO: 15% -55%

Banda Alta HI: 60% - 100%

Se puede fijar en OFF para desactivar este tipo de protección

6. GROUND CURVE SHAPE

Protección similar a PHASE CURVE SHAPE.

7. GROUND TIME MULTIPLIER

Protección similar a PHASE TIME MULTIPLIER

8. GROUND INATANTANEOUS

Protección similar en funcionamiento a PHASE INSTANTANEOUS que se puede configurar de 0.1 a 16 veces el CT

9. STATUS INDICATOR

Permite al usuario el estado de funcionamiento del rele:

- RELAY IN SERVICE: Indica que la protección esta activa
- SERVICE REQUIRED: El rele requiere de servicio debido a una falla interna
- PHASE PICKUP: Se activa cuando la corriente sobrepasa los valores fijados

- **GROUND PICKUP:** Se activa cuando la corriente a tierra excede los valores fijados

10. TRIP INDICATORS

Estos indicadores sirven para determinar las causas del disparo y son indicadores led luminosos que permanecen encendidos mientras no se efectuó el borrado con la tecla CLEAR

11. COMMUNICATIONS

Son los interruptores que sirven para configurar el puerto de comunicaciones

12. CURRENT INDICATORS

Son cinco leds luminosos que permiten determinar el porcentaje de corriente que esta pasando por la carga

En la protección de los CCMs de molinos se utilizaron 6 reles 735 configurados de la siguiente manera:

- Protección de fase

Pickup (% de CT) : 70

Curve Shape: Extremadamente inversa LO

Time Multiplier: 1

Instantaneous(x CT): 4

- Protección falla a tierra

Pickup (% CT): OFF

Curve Shape: Extremadamente inversa LO

Time Multiplier: 1

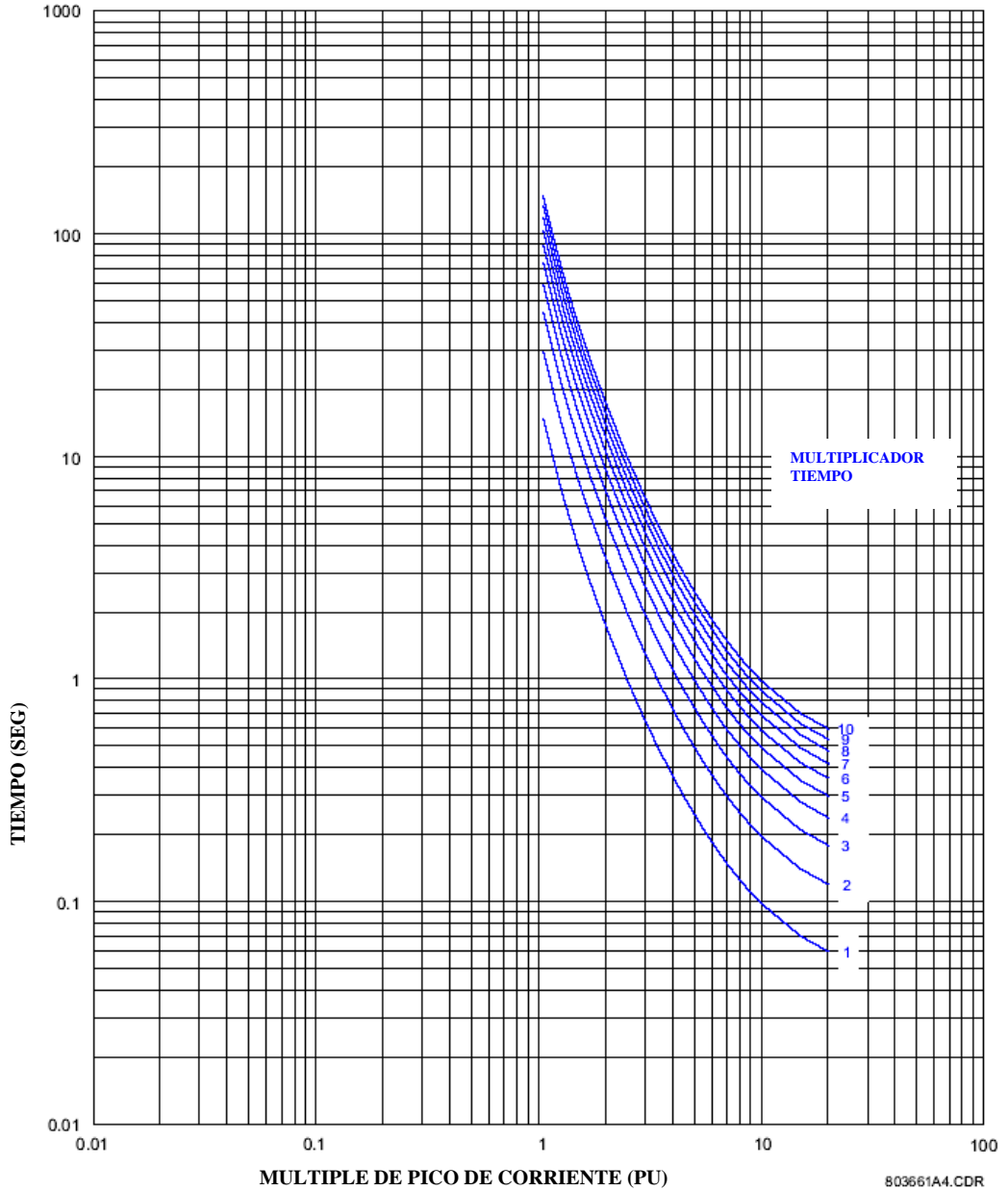
Instantaneous (xCT): OFF

Finalmente se muestra la curva utilizada en el rele 735 para la protección de los CCMs de molinos.



GE POWER MANAGEMENT

735/737 ANSI
CURVA EXTREMADAMENTE
INVERSA



ANEXO 6

RESULTADOS DE PRUEBAS ELECTRICAS

1. Pruebas en el transformador de aislamiento del molino 1

Primario-Tierra	4.31	GIGA OHMS
Secundario 1- Tierra	6.57	GIGA OHMS
Secundario 2- Tierra	5.98	GIGA OHMS
Primario – Secundario 1	15.0	GIGA OHMS
Primario – Secundario 2	16.3	GIGA OHMS
Secundario 1- Secundario	17.0	GIGA OHMS

2. Pruebas en el convertidor de frecuencia

740	MEGA OHMS	15 seg
1.73	MEGA OHMS	1 min

3. Pruebas en el motor eléctrico

554	MEGA OHMS	15 seg
634	MEGA OHMS	1 min

4. Cables de fuerza

MCB – Transformador	4.00	GIGA OHMS
Transformador secundario 1- ACS 1000	600	MEGA OHMS
Transformador secundario 2- ACS 1000	2.4	GIGA OHMS
ACS 1000- Motor	640	MEGA OHMS

5. Pruebas en vacío

Dirección de rotación	SI	Sentido Horario
Drive en control local	SI	100-1190 rpm
Drive en control remoto	SI	839-1190 rpm

6. Prueba con carga

Speed ref (rpm/Hz)	Motor speed (rpm/Hz)	Motor current (A)	Motor torque (%)	Shaft power (%)	DC voltage Udc1+Udc2 (%)	Inverter air temp. (°C)
910	908	125	56	40	100	30
940	940	203	99	85	101	30
955	955	200	98	83	101	30
1050	1050	74	5	5	103	30
1100	1100	184	84	86	100	30

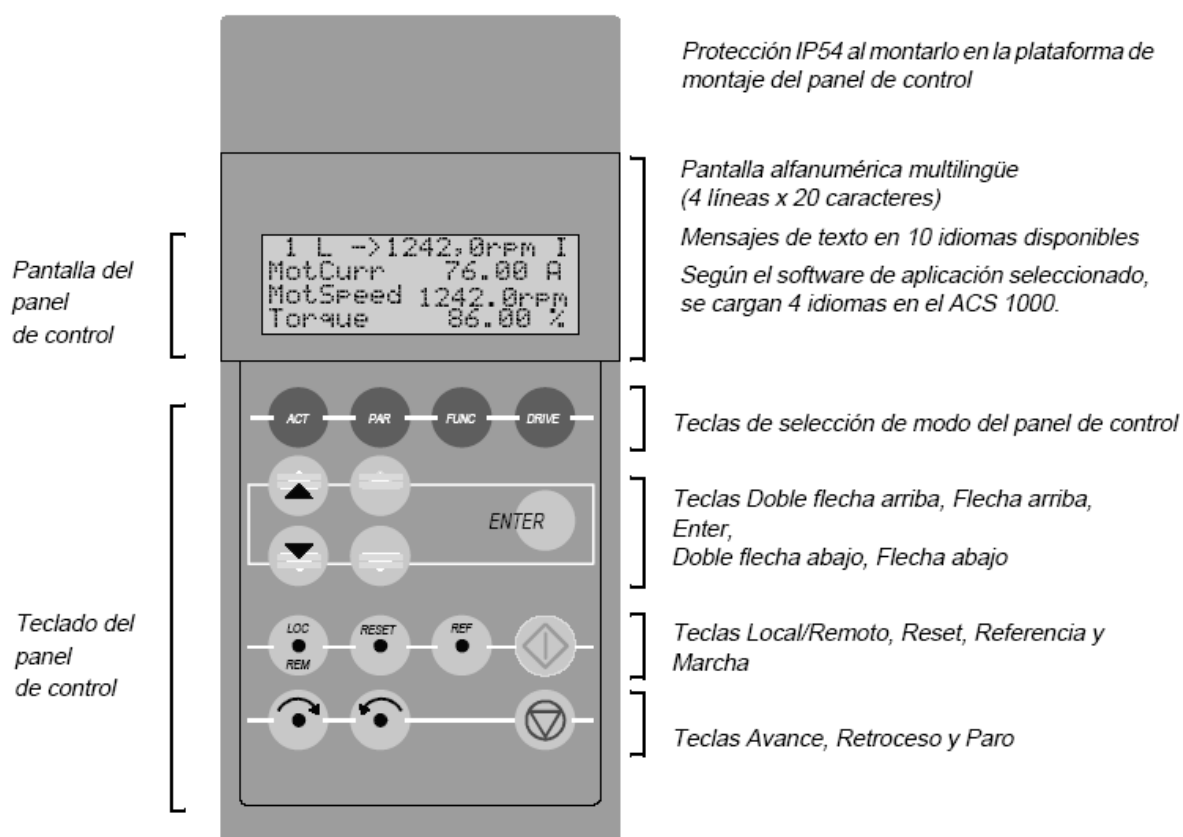
ANEXO 7

Parametrización del variador de velocidad ACS1000

El ACS1000 cuenta con un panel de control extraíble en la puerta frontal del Convertidor, el cual es la interfase de usuario básica para:

- Ver y ajustar parámetros
- Monitorizar el funcionamiento del ACS 1000
- Entrar comandos de marcha y paro
- Ajustar el valor de referencia
- Solucionar problemas.

El panel de control puede conectarse y desconectarse mientras funciona.



El panel de control CDP 312 tiene los siguientes modos de teclado:

- Modo de Identificación
- Modo de Visualización de señales actuales, seleccionado con ACT
- Modo de Parámetro, seleccionado con la tecla PAR
- Modo de Función, seleccionado con la tecla FUNC
- Modo de Selección de convertidor, seleccionado con la tecla DRIVE.

Modo de identificación

Después de que el convertidor se haya excitado o de que el panel se haya conectado al convertidor para el que ya se ha conectado la tensión auxiliar, la pantalla de Identificación aparece mostrando la versión del panel y el número de ID del convertidor. Cuando se está inicializando el panel de control, la pantalla cambia a este modo.

Modo de visualización de señales actuales

Pueden seleccionarse dos pantallas en el modo de Visualización de señales actuales:

- Pantalla de señales actuales
- Pantalla de historial de fallos.

La Pantalla de señales actuales aparece en primer lugar cuando se ha seleccionado el modo Visualización de señales actuales. Sin embargo, si el convertidor presenta un estado de fallo, se mostrará la Pantalla de fallo.

La Pantalla de señales actuales se emplea para monitorizar el ACS 1000 sin interferir en el funcionamiento del convertidor. Se muestran tres valores actuales preseleccionables de forma continua en la pantalla.

El panel volverá automáticamente al modo de Visualización de señales actuales desde otros modos en el espacio de un minuto si no se pulsan teclas (excepciones: Visualización de estado y Visualización de referencia común en el modo de Selección de convertidor y Visualización de fallos).

La memoria de fallos incluye información acerca de los 40 sucesos más recientes que ocurrieron en el ACS 1000. En caso de un fallo de alimentación permanecen los dieciséis fallos más recientes en la memoria de fallos. El nombre del fallo y el tiempo total transcurrido se visualizan. .

Cuando se genera un fallo o una advertencia en el convertidor, el mensaje se visualiza inmediatamente, excepto en modo de Selección de convertidor.

Es posible cambiar del modo de Visualización de fallos a otros modos de visualización sin restaurar el fallo. Si no se pulsan teclas el texto de fallo o advertencia se visualiza mientras el fallo esté pendiente.

El modo de Visualización de señales actuales se selecciona pulsando la tecla ACT.

Modo de parámetro

Los parámetros permiten la configuración y el ajuste del ACS 1000 específicamente para una aplicación. Inicialmente, los parámetros son ajustados por el encargado de la puesta

a punto de ABB en colaboración con el usuario. Especialmente si se añaden opciones, deben comprobarse los parámetros correspondientes y, si es necesario, ajustarse.

Los parámetros en el ACS 1000 se organizan en grupos funcionales. Todas las funciones de control son representadas por un grupo de parámetros y pueden activarse y configurarse individualmente.

Se mencionan entre los principales parámetros los siguientes:

Parameters 01: ACTUAL SIGNALS
Parameters 02: ACTUAL SIGNALS
Parameters 03: ACTUAL SIGNALS
Parameters 04: ACTUAL SIGNALS
Parameters 05: ACTUAL SIGNALS
Parameters 06: INFORMATION
Parameters 07: CONTROL WORDS
Parameters 08: STATUS WORDS
Parameters 09: FAULT&ALARM WORD
Parameters 11: START/STOP/DIR
Parameters 12: REFERENCE SELECT
Parameters 13: ANALOGUE INPUT
Parameters 14: DIGITAL OUTPUTS
Parameters 15: ANALOGUE OUTPUTS
Parameters 16: SYST CTRL INPUT
Parameters 17: UTILITIES
Parameters 18: PROCESS SPEED
Parameters 19: DATA STORAGE
Parameters 20: LIMITS
Parameters 21: START/STOP/MCB
Parameters 22: RAMP FUNCTIONS
Parameters 23: SPEED REFERENCE
Parameters 24: SPEED CONTROL
Parameters 25: TORQUE REFERENCE
Parameters 26: TORQREF HANDLING
Parameters 27: FLUX CONTROL
Parameters 30: MOTOR PROTECTION
Parameters 31: FAULT FUNCTIONS
Parameters 32: SUPERVISION
Parameters 33: CONSTANT SPEED
Parameters 34: CRITICAL SPEEDS
Parameters 38: OPTIONAL FUNC
Parameters 39: RIDE THROUGH
Parameters 41: COOLING SYSTEM
Parameters 42: LOAD PROTECTION
Parameters 43: ESP PROTECTION
Parameters 48: CUSTOMER SUP SIG
Parameters 50: SPEED MEASURING
Parameters 51: MASTER ADAPTER
Parameters 70: DDCS CONTROL
Parameters 75: OPTION MODULES
Parameters 98: REAL TIME CLOCK
Parameters 99: START-UP DATA

Modo de función

En el ACS 1000 el modo de Función se emplea para ajustar el contraste de la pantalla.

Modo de Selección de convertidor

En este modo el ACS 1000 permite asignar un nombre único al drive cuando existan mas de un variador de velocidad en una aplicación monitoreada o controlada por un sistema automatizado.

Selección de las macros de aplicación

Una macro de aplicación consta de un juego de fábrica de parámetros que se adapta a una aplicación específica. Ofrece interfases de señal preajustadas para la apertura/cierre del interruptor principal, la marcha/paro del sistema de accionamiento, el ajuste de valores de referencia y otras funciones.

Los valores de fábrica pueden dejarse como están o pueden ajustarse individualmente según las necesidades del usuario. Para optimizar el ACS 1000 para una configuración determinada, se recomienda comprobar si los ajustes de fábrica concuerdan con los requisitos y si es necesario, personalizar los ajustes si procede.

Las macros de aplicación se seleccionan en el grupo de parámetros 99 (datos de partida). Una sinopsis de las macros de aplicación disponibles puede encontrarse en la siguiente tabla:

Macro	Selección
Fábrica	FACTORY
Manual/Auto	HAND/AUTO
Control PID	PID-CTRL
Control del par	TORQUE-CTRL
Control secuencial	SEQ-CTRL
Maestro/Esclavo	M/F-CTRL
Control de velocidad	SPEED-CTRL

Macros de usuario

Además de las macros de aplicación estándar, es posible crear dos macros de usuario. Permiten al usuario guardar el juego de parámetros completo de un convertidor, incluyendo el grupo 99 (datos de partida) y los parámetros de motor calculados automáticamente (marcha de identificación) en la Flash PROM del ACS 1000 y recuperarlo posteriormente.

Ejemplo: Con las macros es posible conmutar el ACS 1000 entre dos motores (por ejemplo el motor principal y el de reserva) sin tener que ajustar los datos de partida y repetir la marcha de identificación cada vez que se cambia el motor. Todos los parámetros pueden determinarse una vez y guardarse en dos macros de usuario posteriormente. Cuando se cambia un motor, sólo tiene que cargarse la macro de usuario correspondiente y el convertidor está listo para funcionar.

ANEXO 8

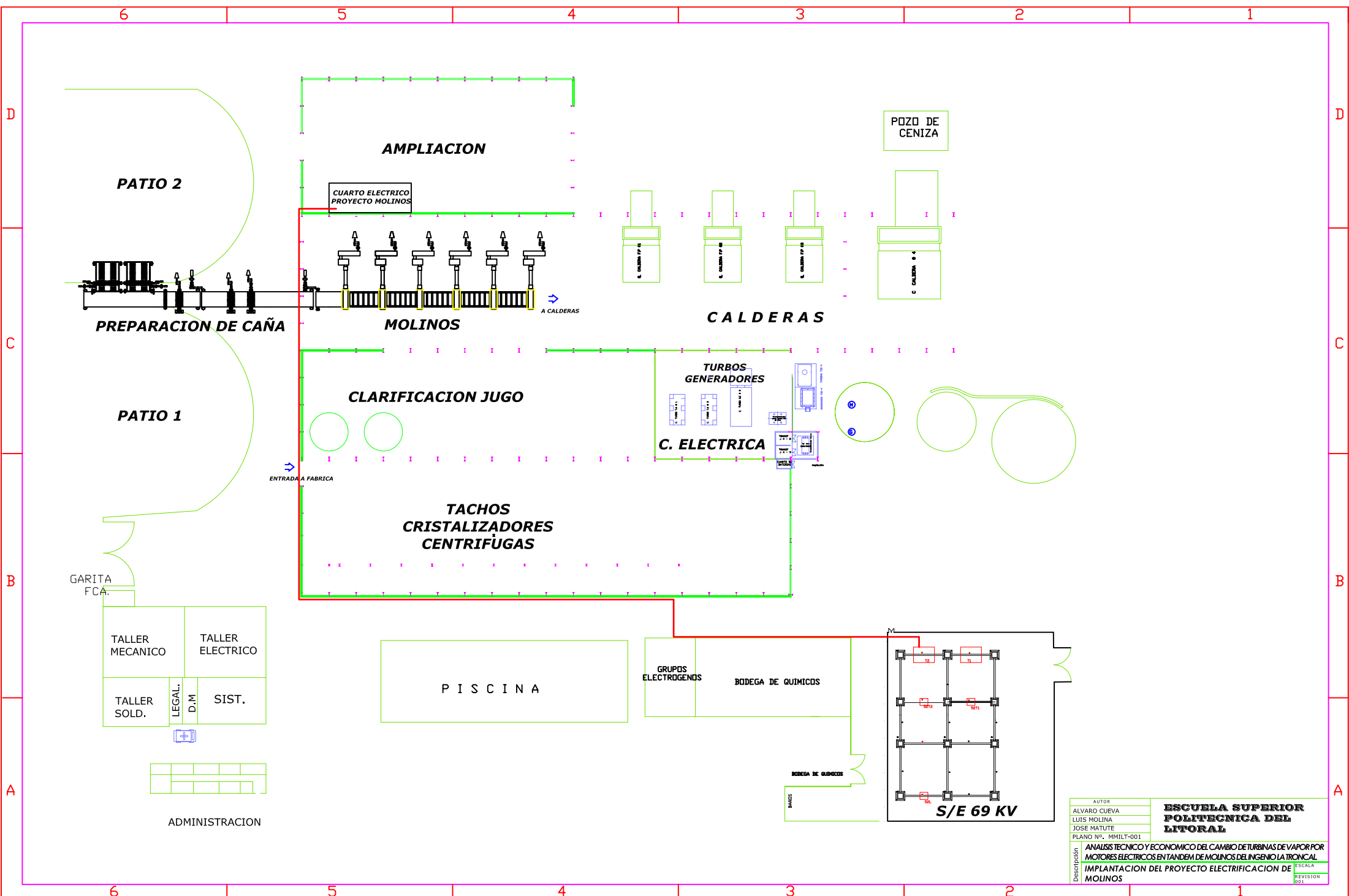
OFERTA MOTORES DE MOLINOS Y PICADORAS

ANALISIS COTIZACIONES MOTORES MOLINOS

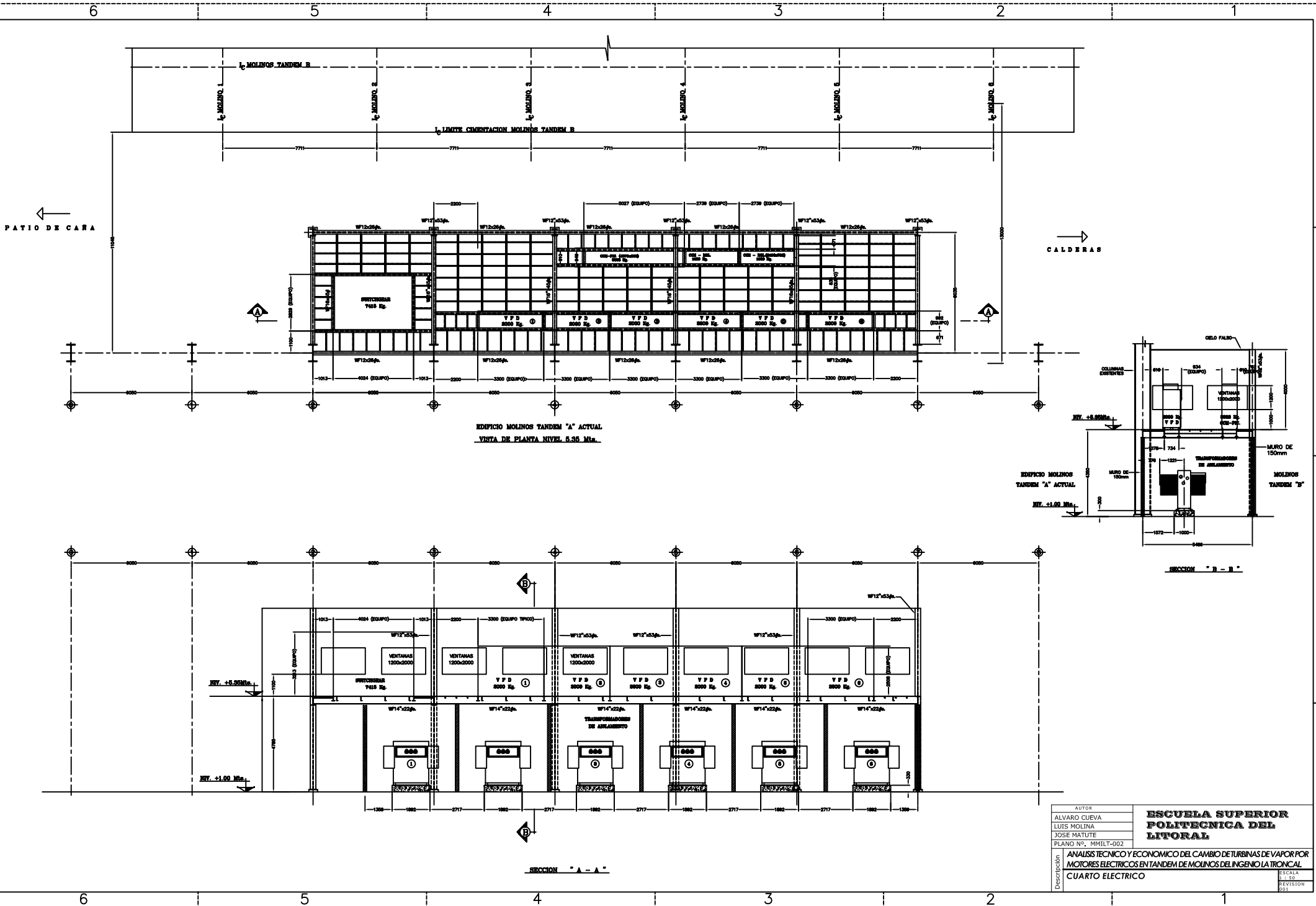
ITEM	PROVEEDOR	MARCA MOTOR	COTIZ #	P.UNIT	P.TOTAL FOB	P.TOTAL CIF
1	ABB	ABB	AT50415-A	53.500,00	321.000,00	
2	LA LLAVE	RELIANCE	DTOD	101.880,00	586.828,80	
		WEG	WEX-4768-0/2005	81.200,00	487.200,00	
3	SIEMENS	SIEMENS - NEMA	511-A&D-COS-U-180	98.800,00	592.800,00	
		SIEMENS - IEC		60.200,00	361.200,00	
4	ELECTROECUATORIANA	US MOTORS	P2005-0801	124.700,00	748.200,00	748.200,00
5	UNI-SYSTEMS	WEG	41883-QU01-R00	63.835,00	383.010,00	
6	INTERUNION	GEVISA	mbq779mr1	82.970,00	497.820,00	
7	INPROEL	TECO- WESTINGHOUSE	AA002-05	88.441,92	530.651,52	

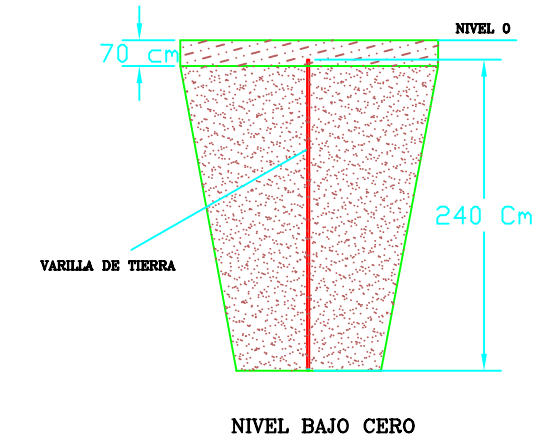
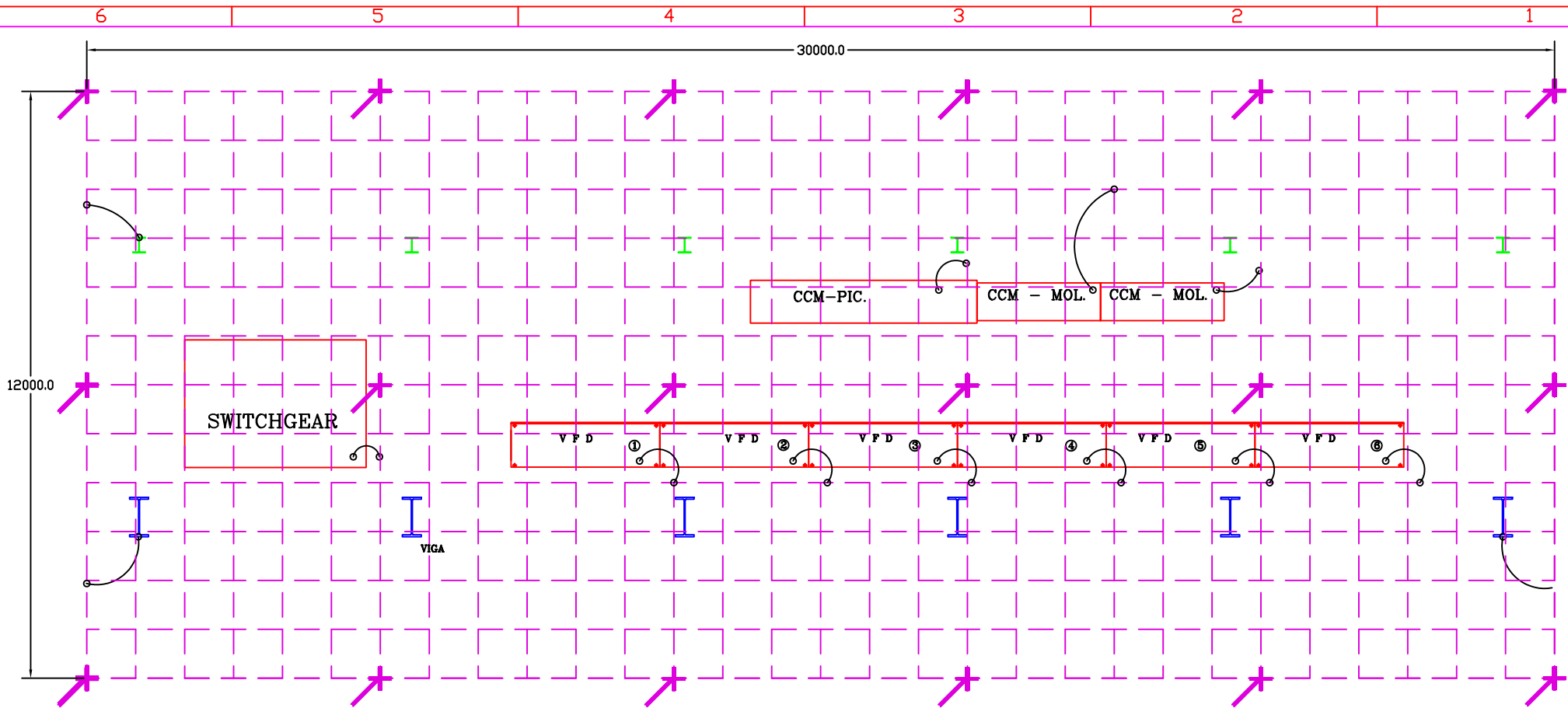
ANALISIS COTIZACIONES MOTORES PICADORAS

PROVEEDOR	MARCA MOTOR	COTIZ #	P.UNIT	P.TOTAL FOB	P.TOTAL CIF
LA LLAVE	WEG		56.000,00	168.000,00	
SIEMENS	SIEMENS	511-A&D-COS-U-188	83.100,00	249.300,00	
ELECTROECUATORIANA	US. MOTORS	P2005-0800B	95.000,00	285.000,00	312.975,00
UNI-SYSTEMS	WEG	41883-QU01-R00	77.925,00	233.775,00	
INTERUNION	GEVISA	032241	73.000,00	219.000,00	
INPROEL	TECO-WESTINGHOUSE	AA001-06	96.314,98	288.944,94	



AUTOR		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
ALVARO CUEVA		
LUIS MOLINA		
JOSE MATUTE		
PLANO Nº. MMILT-001		Descripción ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELÉCTRICOS EN TANDEM DE MOLINOS DE INGENIERÍA TRONCAL IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN DE MOLINOS
Escala		
Revisión		
001		001





NOTAS DEL PLANO

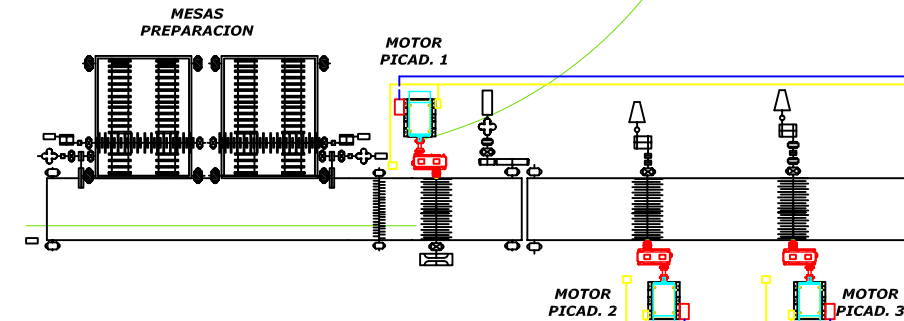
- VARILLA COPPERWEL Diam. 5/8pul x 240 cm Largo.
- CABLE COBRE DESNUDDO 4/0

AUTOR		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL	
ALVARO CUEVA			
LUIS MOLINA			
JOSE MATUTE			
PLANO N°. MMILT-003		ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELECTRICOS EN TANDEM DE MOLINOS DEL INGENIO LA TONCAL	
Descripción	MALLA DE TIERRA.		
	ESCALA		REVISION 001

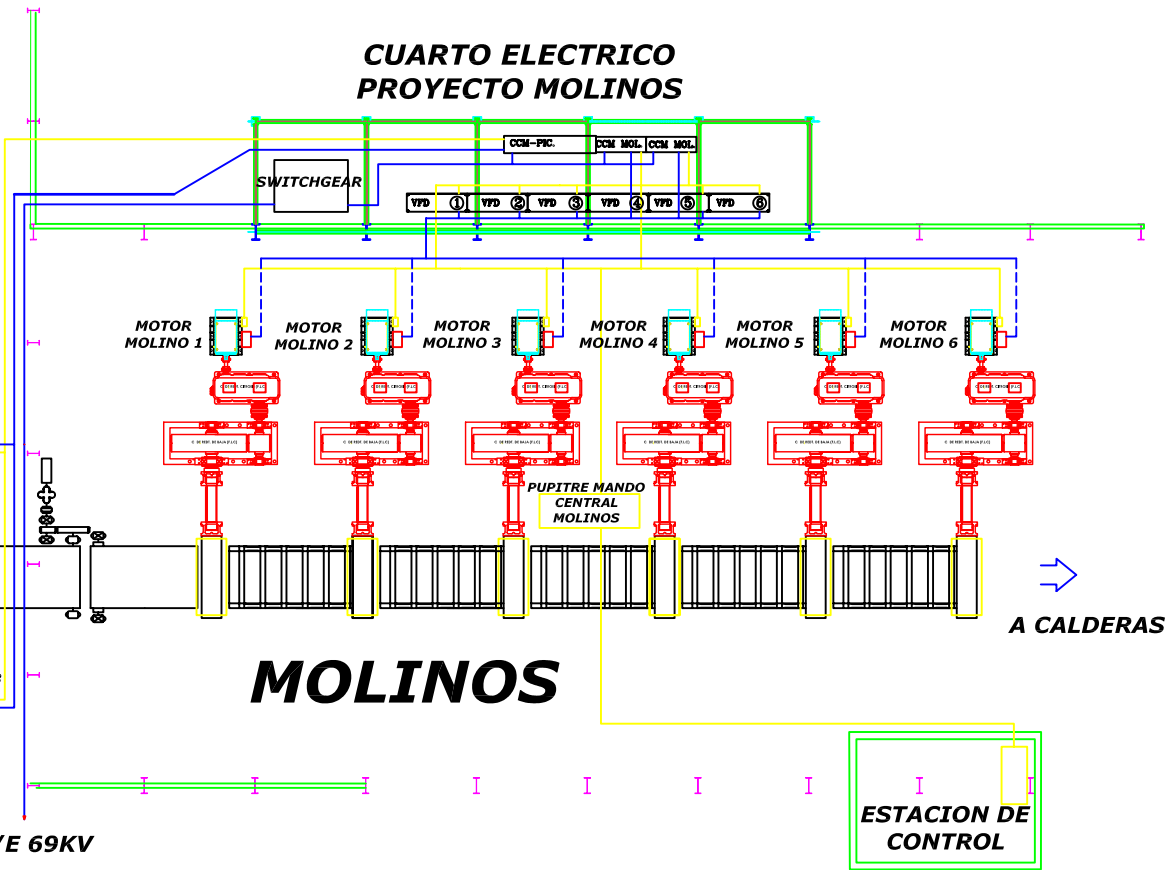
AMPLIACION

CUARTO ELECTRICO PROYECTO MOLINOS

PATIO 2



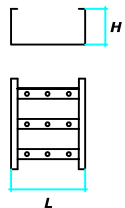
PREPARACION DE CAÑA



A S/E 69KV

NOTAS DEL PLANO.

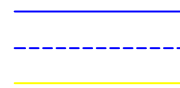
CANASTILLA



TIPO CABLEADO

FUERZA
FUERZA
MANDO

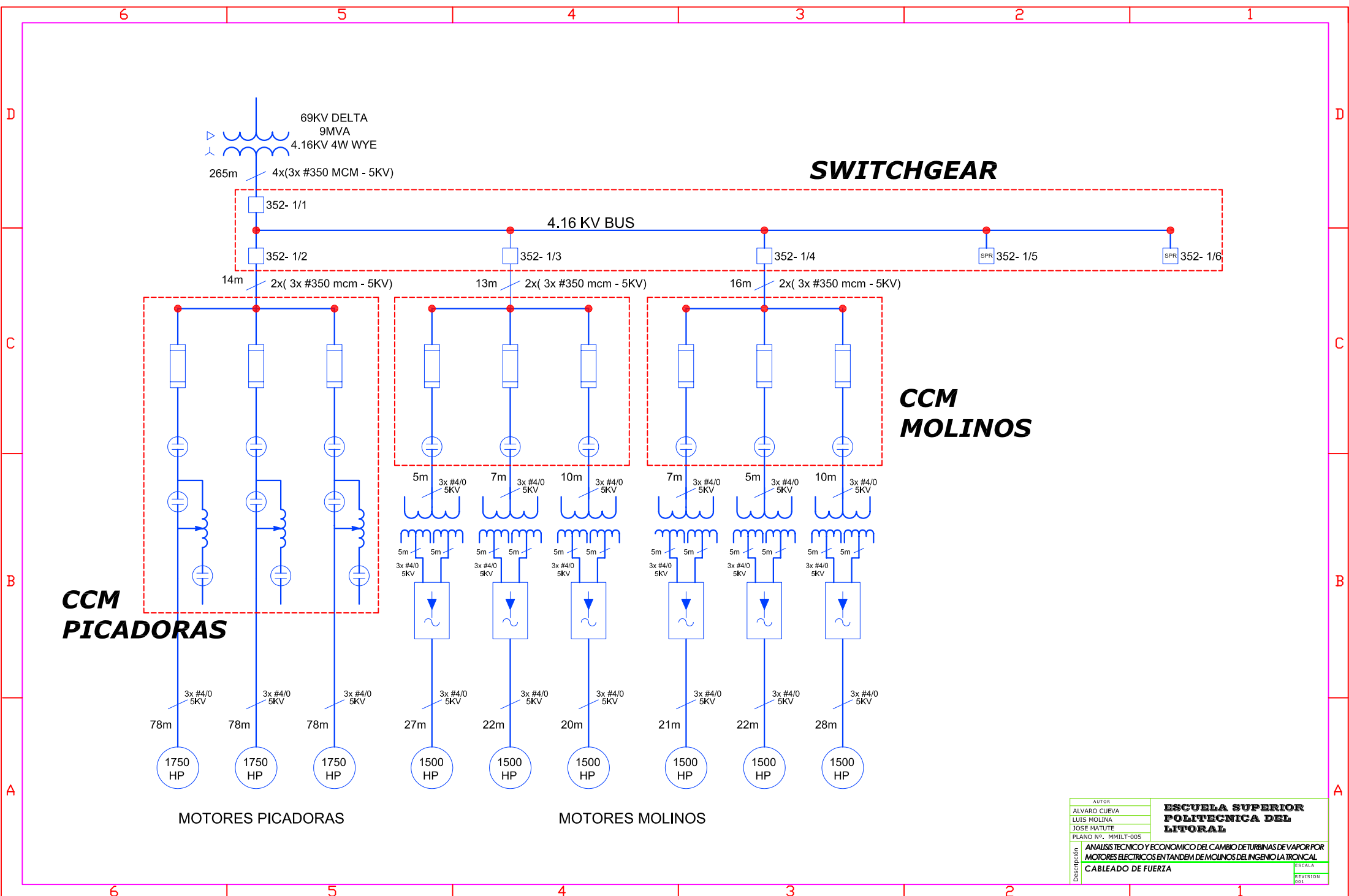
CANASTILLA



DIMENSIONES

H = 15cm; L = 60cm
H = 15cm; L = 20cm
H = 15cm; L = 20cm

AUTOR	ALVARO CUEVA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
LUIS MOLINA		
JOSE MATUTE		
PLANO Nº. MMILT-004		
Descripción	ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELÉCTRICOS EN TANDEM DE MOLINOS DE LA TRONCAL	ESCALA 1 : 50
	TRAZADO CANASTILLAS DE FUERZA Y CONTROL	REVISIÓN 001



SWITCHGEAR

CCM MOLINOS

CCM PICADORAS

MOTORES PICADORAS

MOTORES MOLINOS

AUTOR	ALVARO CUEVA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
DESCRIPCION	ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELECTRICOS EN TANDEM DE MOLINOS DEL INGENIO LA TRONCAL	
PLANO NO.	MMILT-005	
REVISION	001	ESCALA

69KV DELTA
9MVA
4.16KV 4W WYE

SWITCHGEAR

4.16 KV BUS 4000 AMP

CCM PICADORAS 1, 2 Y 3

CCM MOLINOS 1, 2 Y 3

CCM MOLINOS 4,5 Y 6

RESERVA

SIMBOLOGIA

	AUTOTRANSFORMADOR		VARIADOR DE VELOCIDADES
	TRANSFORMADOR TRIFASICO, 3 DEVANADOS, CONEXION TRIANGULO-HV / TRIANGULO-Y-V, ESTRELLA LV 30°		MEDIDOR DE ENERGIA, POTENCIA ACTIVA, REACTIVA Y ARMANTE MEDIDOR V. A. F.
	TRANSFORMADOR DE CONJUNTE		VOLTIMETRO DE CORRIENTE ALTERNIA
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA		FRECUENCIOMETRO
	INTERRUPTOR / DISYUNTOR DE POTENCIA		RELAY PROTECCION MOTOR
	CONTACTOR		RELAY PROTECCION ALIMENTADOR
	TRIANGULO		RELAY PROTECCION ALIMENTADOR
	ESTRELLA		FUSEBLE ULTRARAPIDO
	TRANSFORMADOR DE PODER		

NOMENCLATURA

352	DISYUNTOR DE POTENCIA	TRF AISL	TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO
FS	FUSEBLE	MM	MOTOR ELECTICO DE MOLINOS
M	CONTACTOR	MP	MOTOR ELECTICO DE PICADORAS DE CASA
R	CONTACTOR	CCM	CENTRO DE CONTROL DE MOTORES
S	CONTACTOR	VFD	DRIVE VARIADOR DE FRECUENCIA

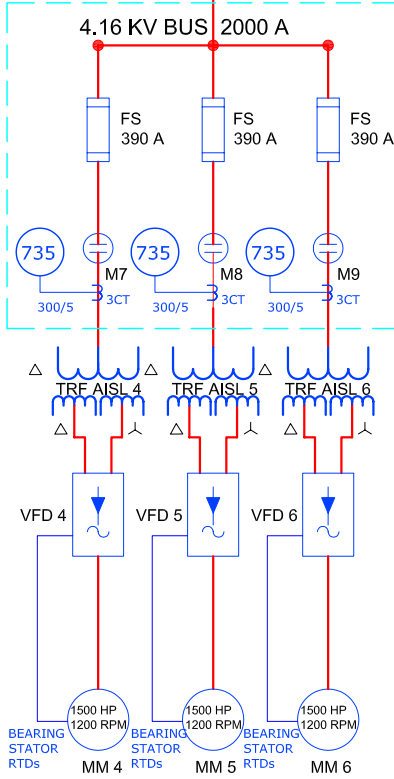
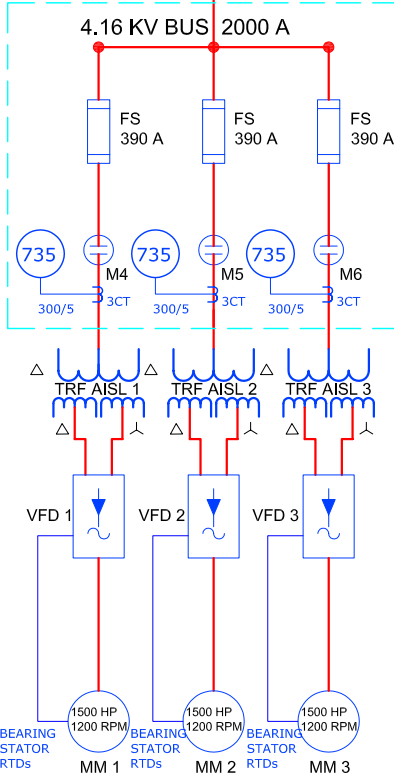
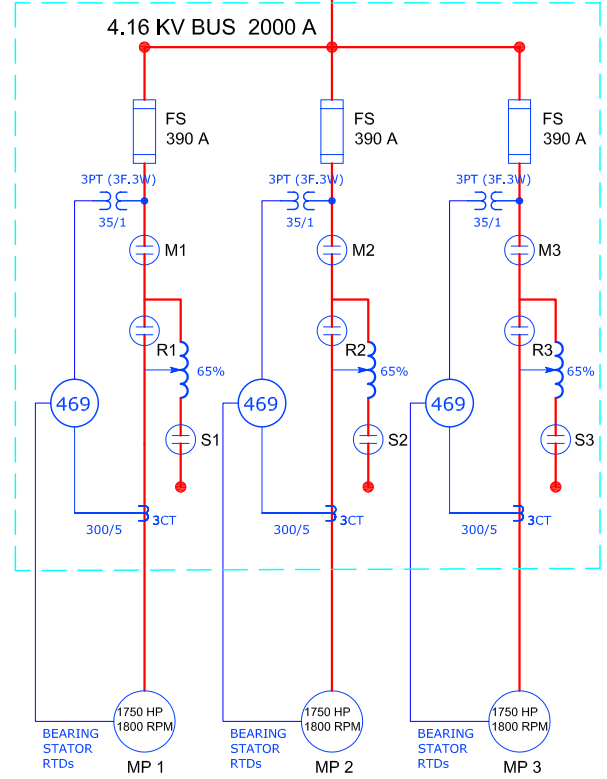
AUTOR:
 ALVARO CUEVA
 LUIS MOLINA
 JOSE MATUTE
 PLANO N°: MMILT-006

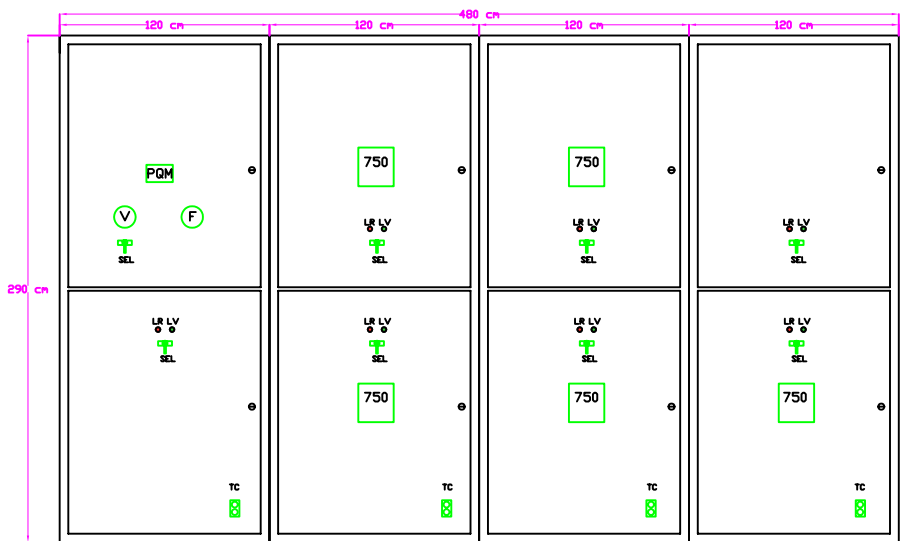
**ESCUELA SUPERIOR
 POLITECNICA DEL
 LITORAL**

ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR
 MOTORES ELECTRICOS EN TANDEN DE MOLINOS DEL INGENIATRONCAL

Descripción: **DIAGRAMA UNIFILAR**

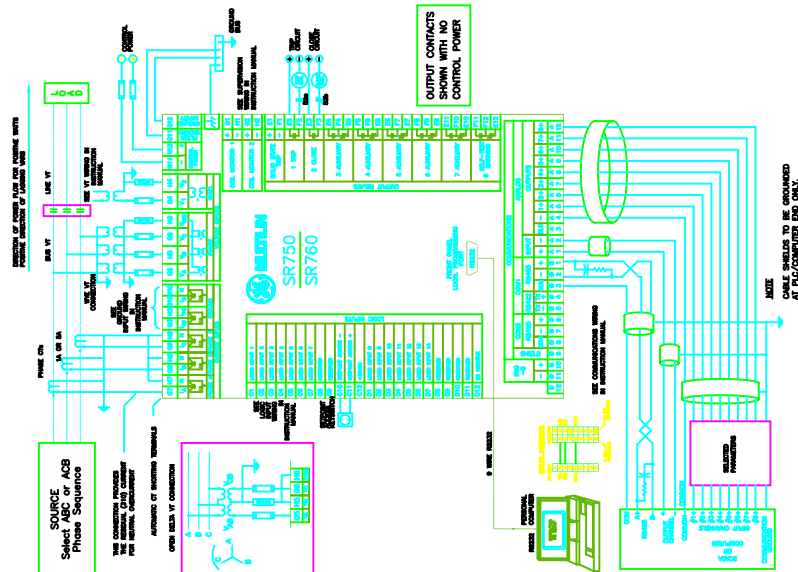
ESCALA: 1:1
 REVISION: 001



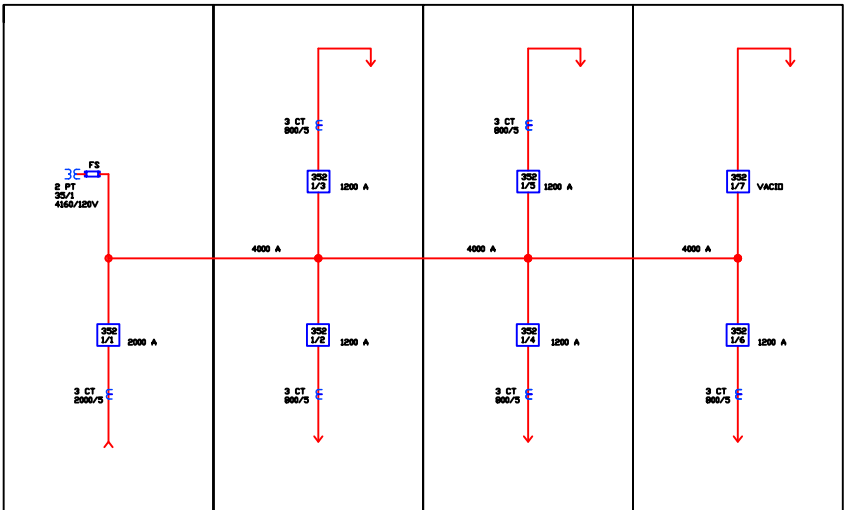


- NOMENCLATURA**
- PGM: MEDIDOR DE POTENCIA Y ENERGIA GE
 - 750: RELAY MULTILIN GE PROTECCION ALIMENTADOR
 - V: VELTOMETRO
 - F: FRECUENCIOMETRO
 - SEL: SELECTOR DE CIERRE Y DISPARO
 - TC: TIMOCORRIENTE 110V
 - L.V: LUZ VERDE
 - LR: LUZ ROJA

VISTA FRONTAL

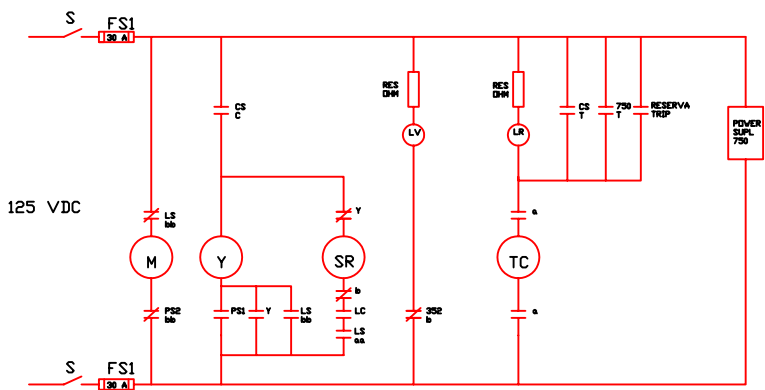


CONEXIONES RELAY MULTILIN 750



- NOMENCLATURA**
- PT: TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
 - CT: TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
 - FS: FUSIBLE

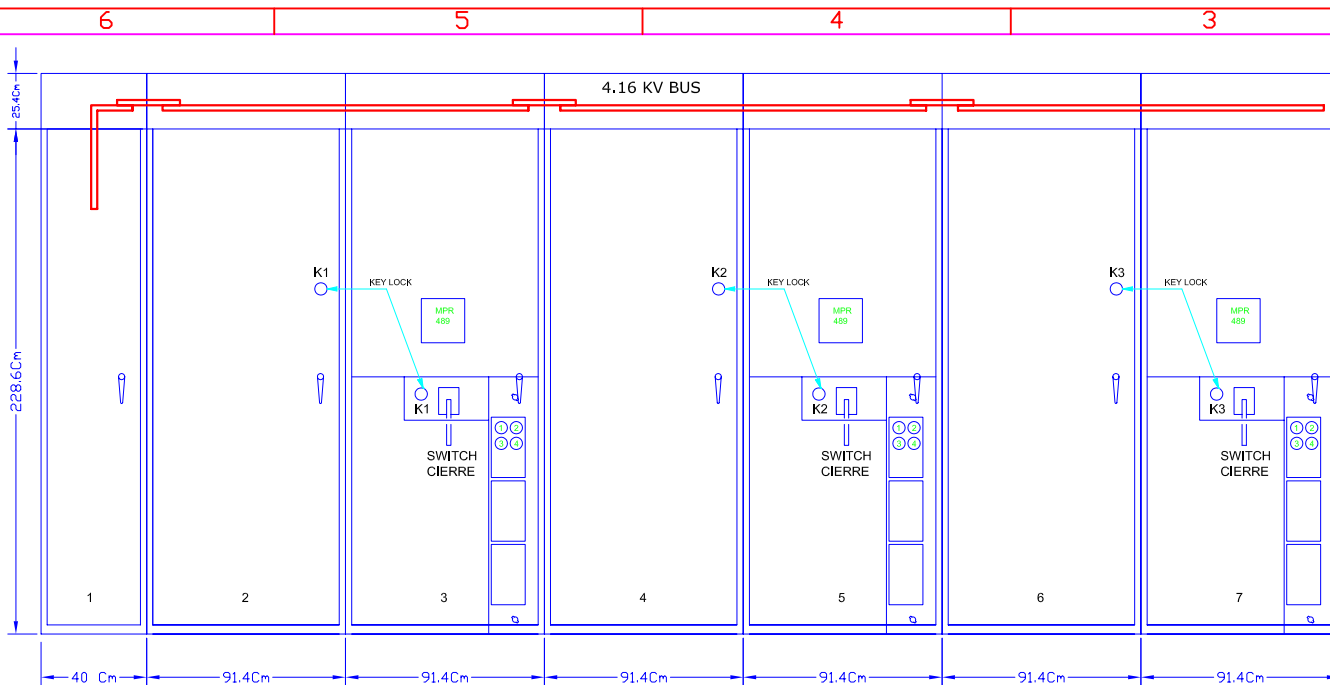
DIAGRAMA UNIFILAR



- NOMENCLATURA**
- FS1: FUSIBLE
 - S: BREAKER ALIMENTACION 125VDC
 - M: MOTOR ELECTRICO AJUSTE RESORTE
 - Y: BOBINA DE CIERRE DISYUNTOR 352
 - SR: BOBINA DE DISPARO DISYUNTOR 352
 - SR S: BOBINA AUXILIAR
 - CS S: CONTACTO DE CIERRE DISYUNTOR 352
 - CS T: CONTACTO DISPARO DISYUNTOR 352
 - LVA: LUZ VERDE CONFIRMACION DE DISPARO BREAKER 352
 - LR: LUZ ROJA CONFIRMACION CIERRE BREAKER 352
 - 750T: SERVAL DISPARO POR ACCION DEL RELAY MULTILIN GE 750
 - LS: LIMIT SWITCH
 - PS: POSITION SWITCH

CIRCUITO MANDO DISYUNTOR 352

AUTOR		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
ALVARO CUEVA		
LUIS MOLINA		
JOSE MATEU		ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELECTRICOS EN TANDEM DE MOLINOS DEL INGENIO LA TRONCAL
PLANO N°: MMILT-007		
Descripción	METALCLAD	ESCALA
		REVISION



VISTA FRONTAL CCM PICADORAS

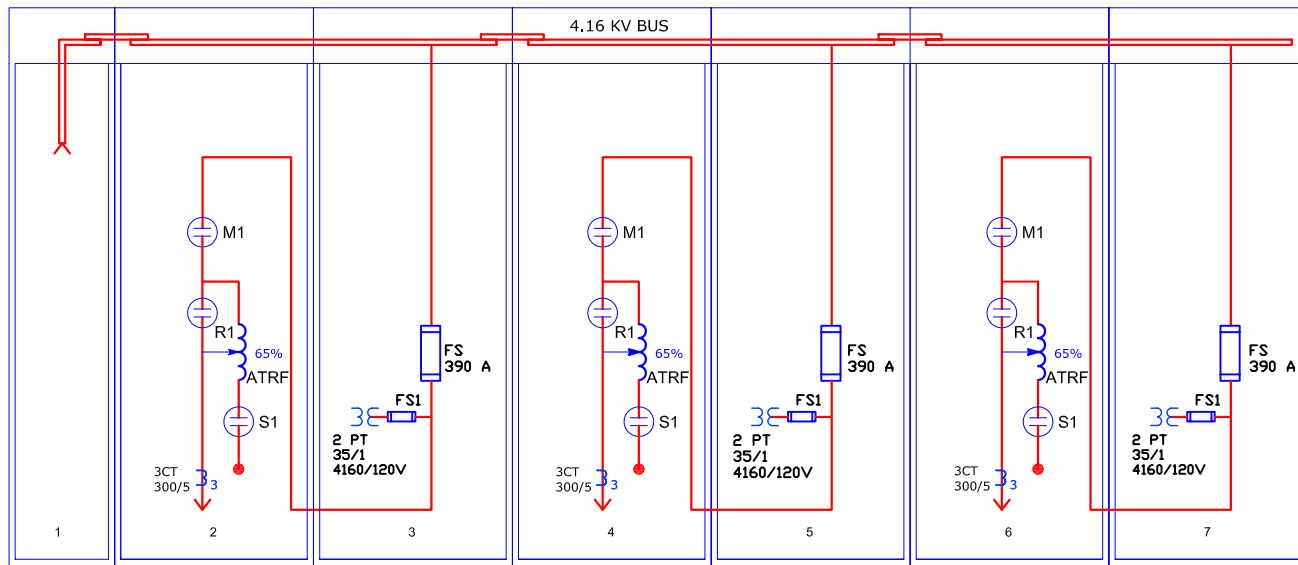


DIAGRAMA UNIFILAR CCM PICADORAS DE CAÑA

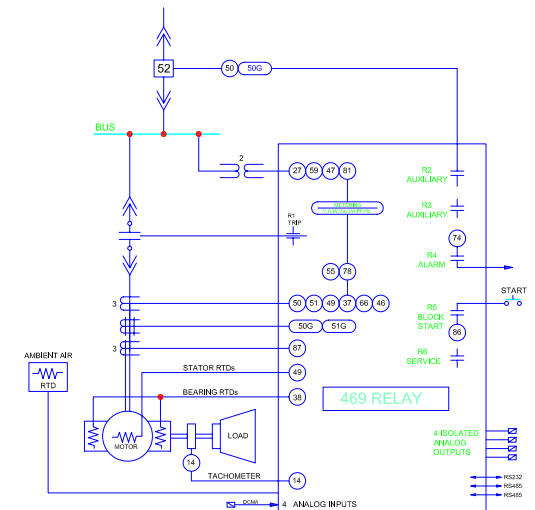


DIAGRAMA UNIFILAR RELAY MULTILIN 469

NOMENCLATURA

- K1 SEGURO DE LLAVE
- 469 RELAY PROTECCION MOTOR MULTILIN
- M CONTACTOR FUERZA
- R CONTACTOR FUERZA
- S CONTACTOR FUERZA
- ATRF AUTOTRANSFORMADOR
- CT TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
- PT TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
- FS FUSIBLE DE FUERZA
- FS1 FUSIBLE DE CONTROL

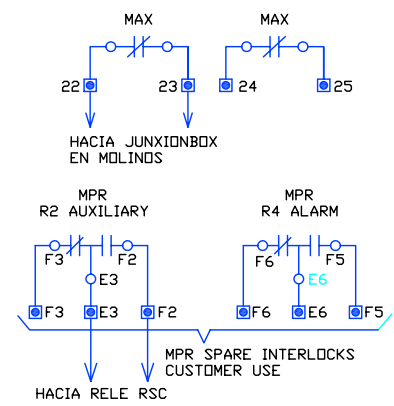
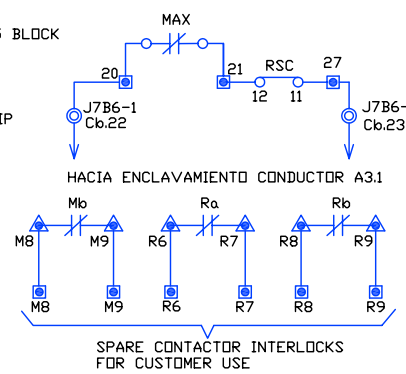
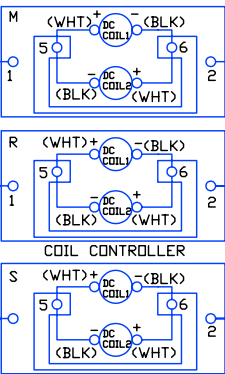
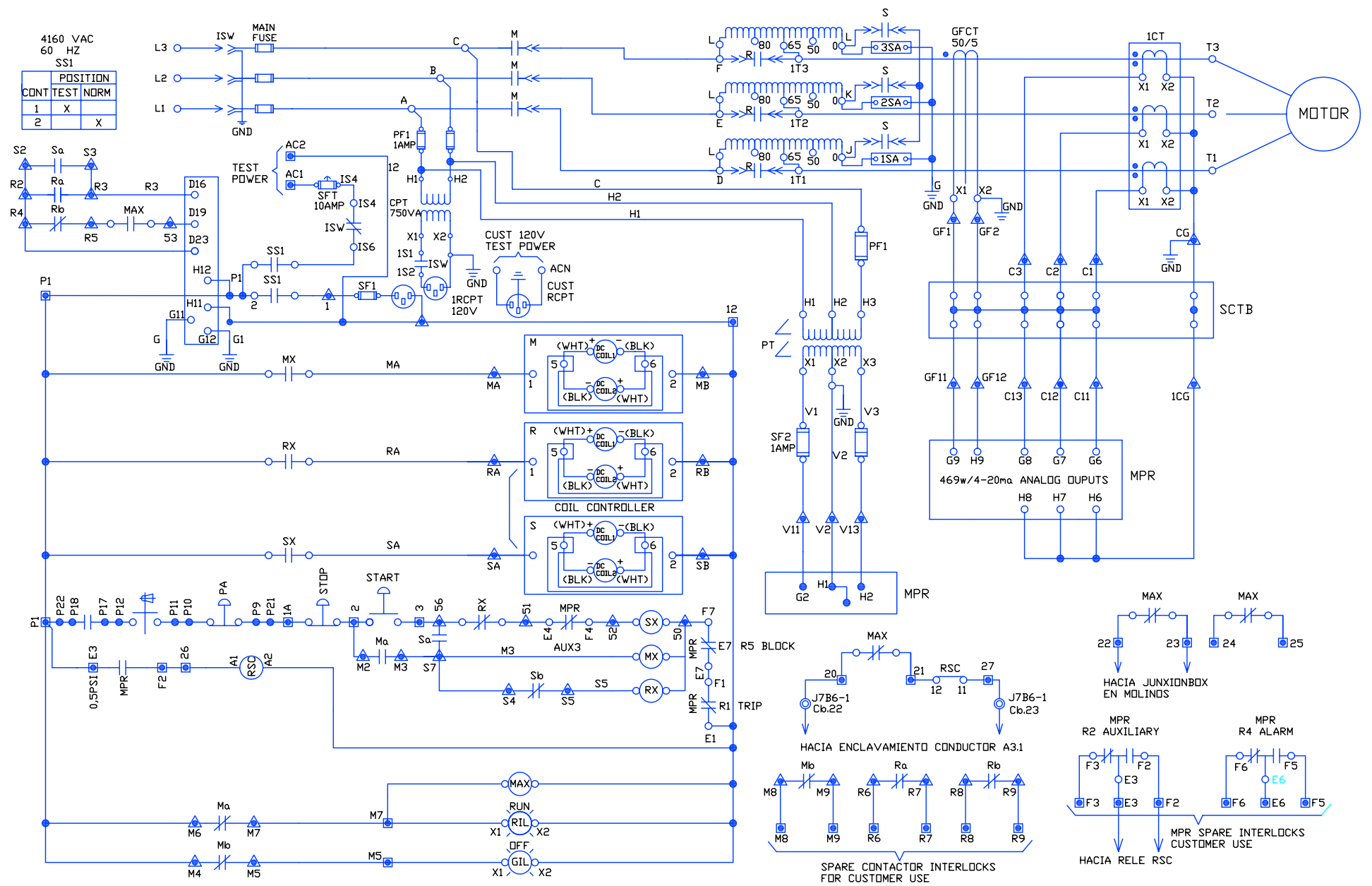
AUTOR
ALVARO CUEVA
LUIS MOLINA
JOSE MATUTE
PLANO N°. MMILT-008

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL
LITORAL**

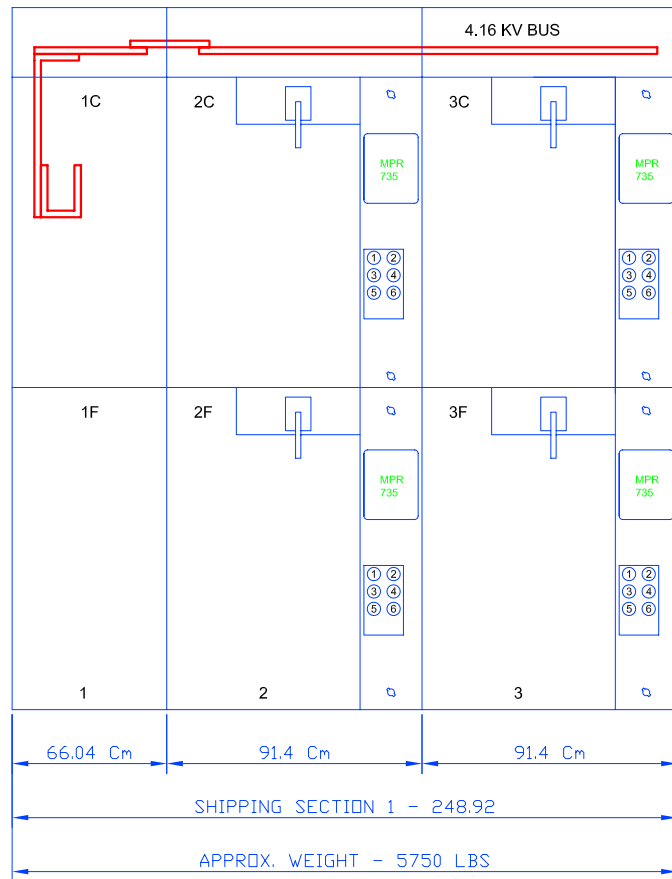
Descripción	ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELÉCTRICOS EN TANDEM DE MOLINOS DEL INGENIO LA TRONCALA	ESCALA
	CCM PICADORAS DE CAÑA	REVISION 001

4160 VAC
60 HZ
SS1

CONT	POSITION	TEST	NORM
1	X		
2		X	



AUTOR		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
ALVARO CUEVA		
LUIS MOLINA		
JOSE MATUTE		
PLANO Nº. MMILT-009		ESCALA
DESCRIPCIÓN		
ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELÉCTRICOS EN TÁNDEM DE MOLINOS DE INGENIERÍA TRONCAL		
CIRCUITO DE FUERZA Y CONTROL DE MOTORES PICADORAS DE CAÑA 1, 2 Y 3.		
REVISIÓN		001



VISTA FRONTAL

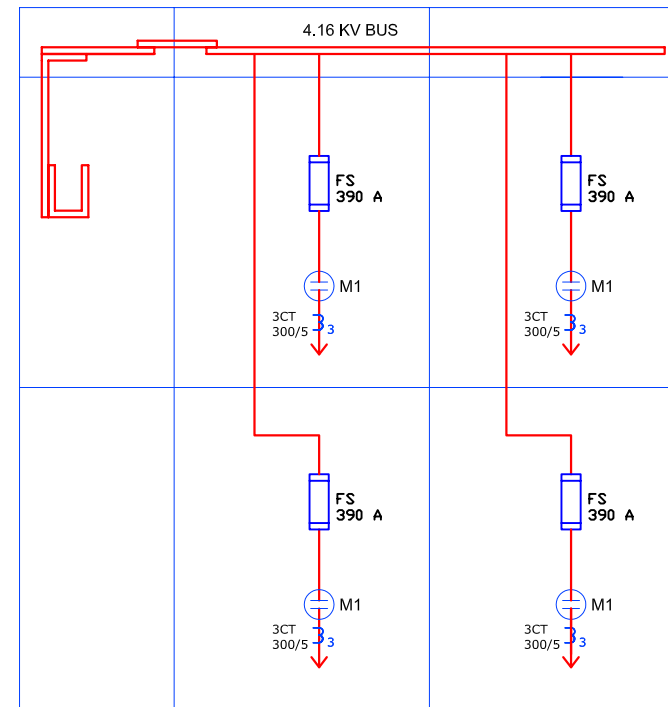
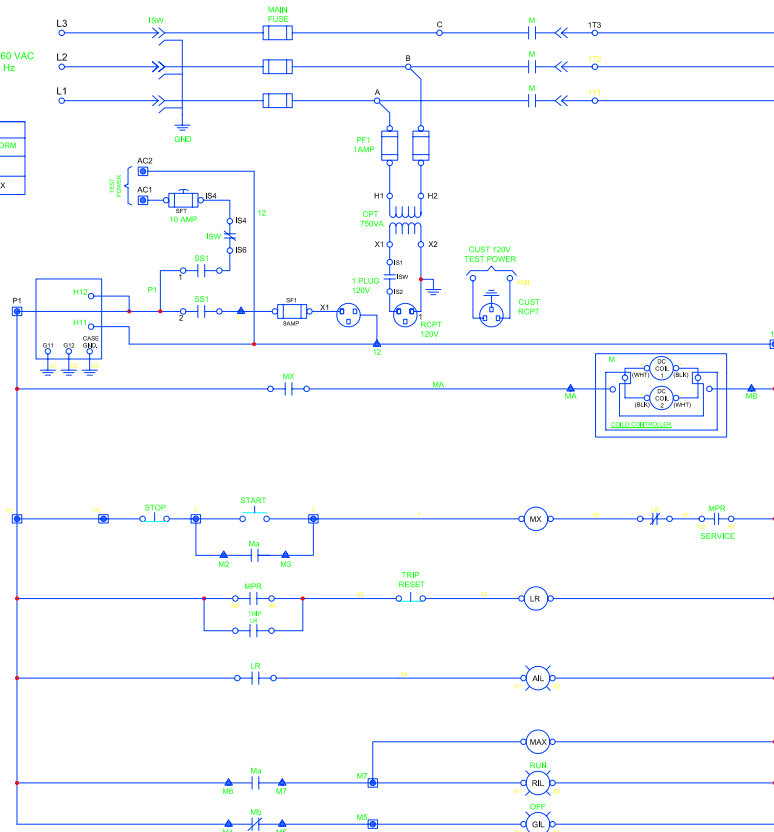


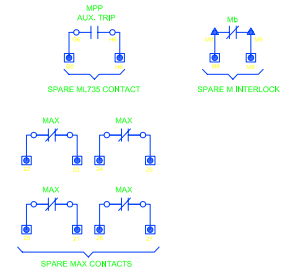
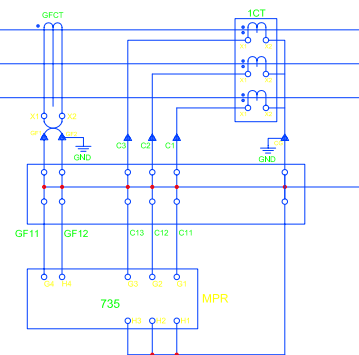
DIAGRAMA UNIFILAR

AUTOR		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
ALVARO CUEVA		
LUIS MOLINA		
JOSE MATUTE		
PLANO N°. MMILT-010		
Descripción	ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELECTRICOS EN TANDEM DE MOLINOS DEL INGENIO LA TRONCAL	
	CCM MOLINOS	
		ESCALA
		REVISION 001

SS1		
CONF	TEST	NORM
1	X	
2		X



CIRCUITO DE CONTROL



- * = REMOTE DEVICE
- ▲ = INTERNAL TERM. BLK(S)
- = TERM. BLK FOR CUSTOMER CONN.
- ⊠ = TX TYPE LIGHT

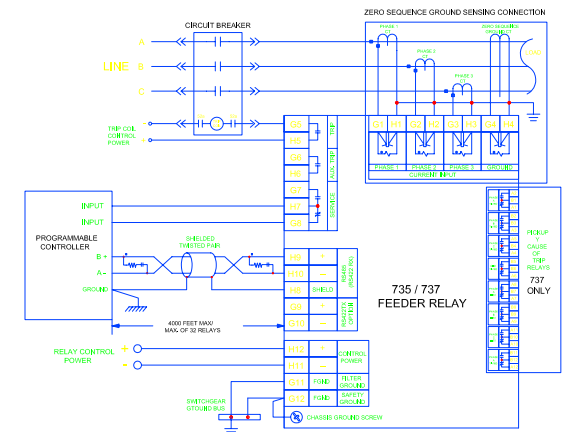
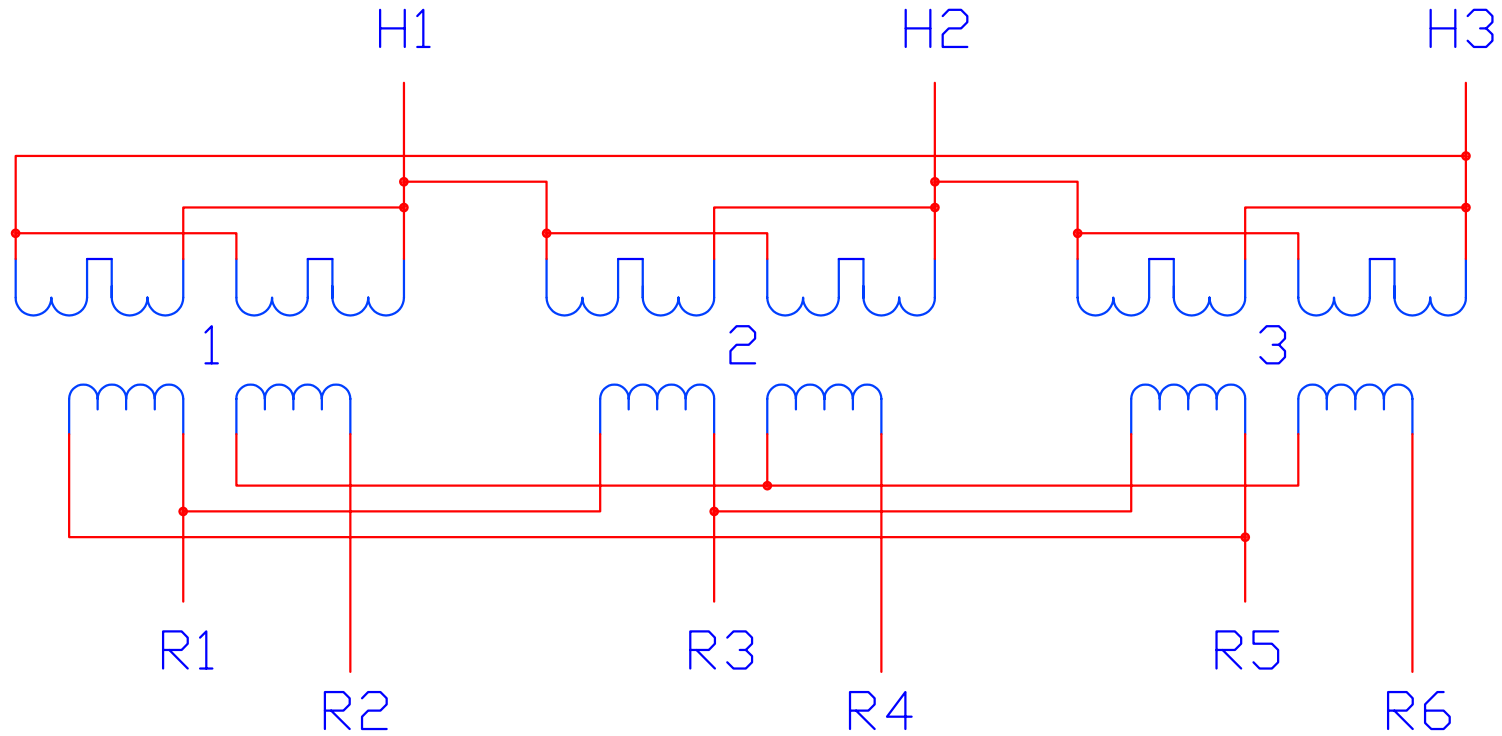


DIAGRAMA DE CONEXIONES DE RELAY MULTILIN 735

AUTOR		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL	
ALVARO CUEVA			
LUIS MOLINA			
JOSE MATUTE			
PLANO N°, MMILT-011		ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELECTRICOS EN TANDEM DEL INGENIO LA TRONCAL	
Descripción	CIRCUITO DE FUERZA Y CONTROL DE ARRANCADOR DE MOTOR DE MOLINOS.		
	ESCALA		REVISION 001

PRIMARIO



SECUNDARIO

CARACTERISTICAS

POTENCIA: 1500 KVA

ALTA TENSION.	AMP	BAJA TENSION.	AMP
4368	198	2300 Y	198
4264	203	2300 Δ	203
4160 Δ	208		
4056	214		
3952	219		

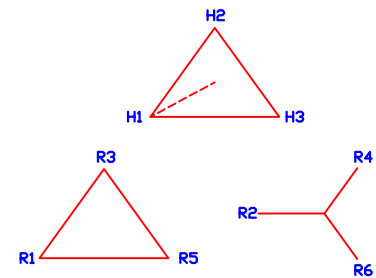
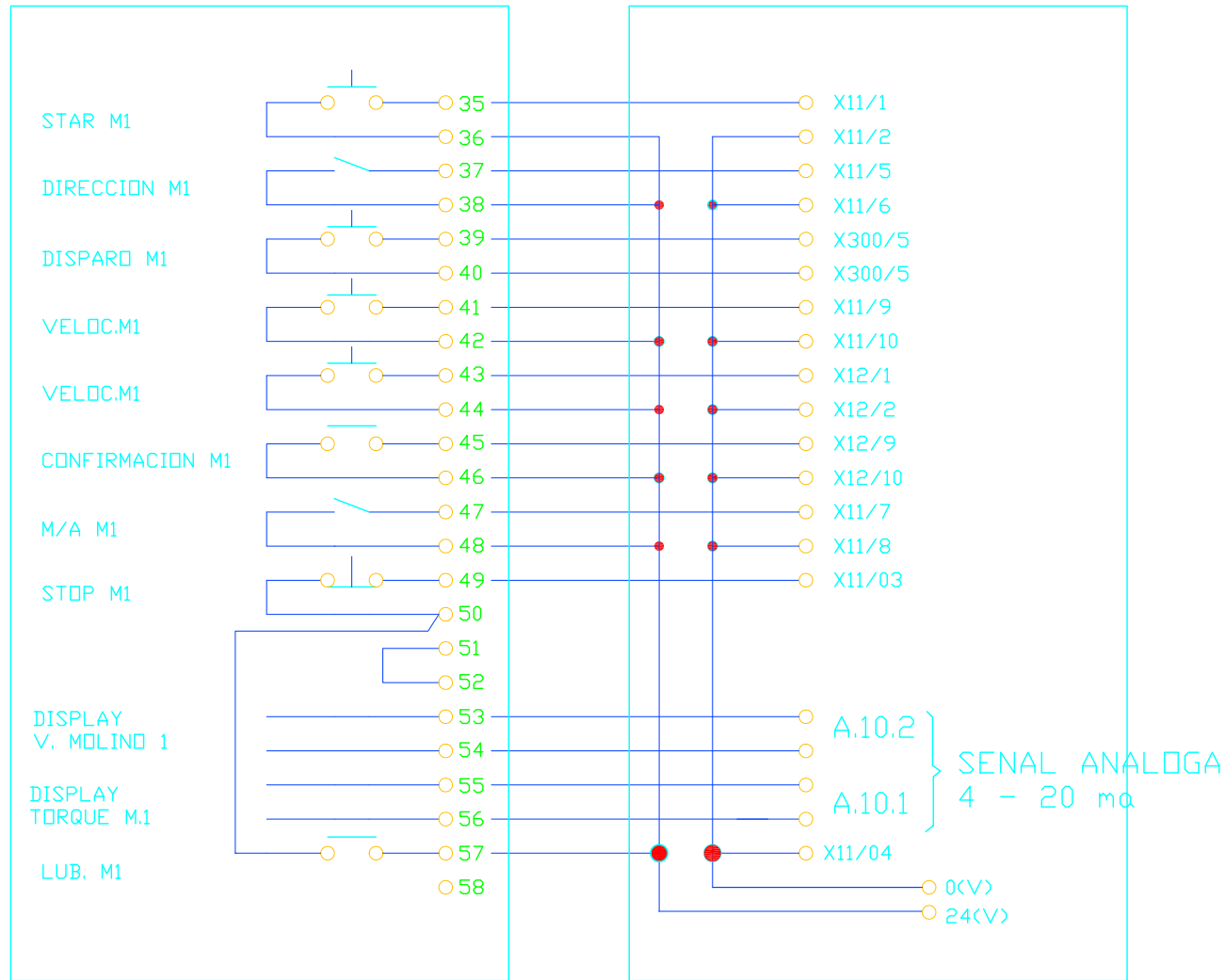


DIAGRAMA VECTORIAL

AUTOR		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
ALVARO CUEVA		
LUIS MOLINA		
JOSE MATUTE		
PLANO Nº. MMILT-012		
Descripción	ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELÉCTRICOS EN TANDEM DE MOLINOS DE INGENIERÍA TRONCAL	ESCALA
	CONEXIONES TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO	REVISIÓN
		001

CONEXIONES TABLERO MANDO MOLINOS

MOLINO 1



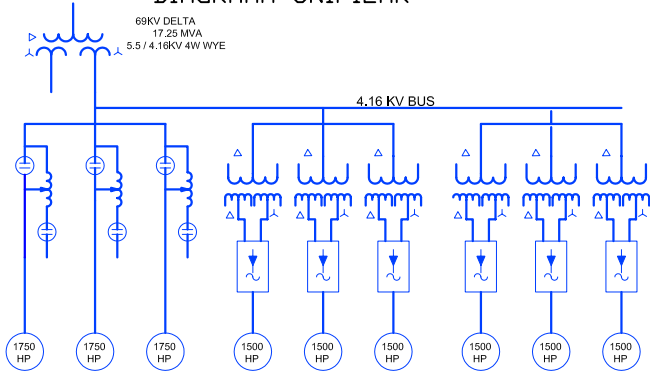
NOTA

LAS CONEXIONES PARA LOS MOLINOS DEL 2 AL 6

SON SIMILARES A LA DETALLADA EN EL PLANO.

AUTOR		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
ALVARO CUEVA		
LUIS MOLINA		
JOSE MATUTE		
PLANO N°. MMILT-013		
Descripción	ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELÉCTRICOS EN TANDEM DE MOLINOS DEL INGENIO LA TRONCAL	
	CONEXIONES DE CONTROL PUPITRE DE MANDO MOLINOS.	
	ESCALA	
	REVISION	001

DIAGRAMA UNIFILAR



CALCULO CORRIENTE DE FALLA

BASES
50 KVA
69 KV

DATOS DE EQUIPOS.

TRANSFORMADOR DE IMPORTACION

17.25 MVA
69 KV DELTA / 5.5 KV Y - 4.16 KV Y

ZPS 0.07 pu
ZPT 0.105 pu
ZST 0.0875 pu

TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

1.5 MVA
4.16 KV DELTA / 2.3 KV DELTA - 2.3 KV Y

ZPS 0.0607 pu
ZPT 0.0607 pu
ZST 0.0607 pu

MOTOR PICADORA DE CAJA

1700 HP FP 0.924
4.16 KV Y

Z1 0.189 pu
Z2 0.189 pu
Z0 0.038 pu

MOTOR MOLINOS

1500 HP FP 0.84
4.16 KV Y

Z1 0.2 pu
Z2 0.2 pu
Z0 0.04 pu

CAMBIO DE BASES

TRANSFORMADOR DE IMPORTACION

50 MVA
69 KV

ZPS 0.2029 pu ZP 0.1268 pu
ZPT 0.3043 pu ZS 0.1775 pu
ZST 0.2536 pu ZT 0.0761 pu

TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

50 MVA
69 KV

ZPS 2.0233 pu ZP 1.0117 pu
ZPT 2.0233 pu ZS 1.0117 pu
ZST 2.0233 pu ZT 1.0117 pu

MOTOR PICADORA DE CAJA

50 MVA
69 KV

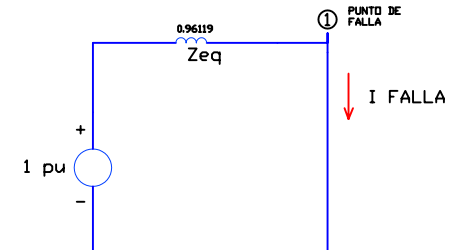
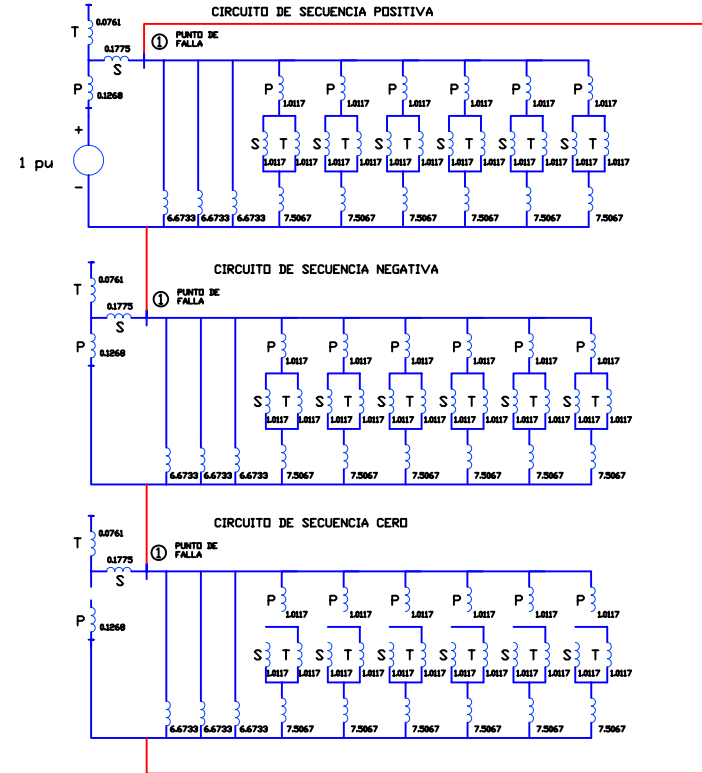
Z1 6.6733 pu
Z2 6.6733 pu
Z0 1.3347 pu

MOTOR MOLINOS

50 MVA
69 KV

Z1 7.5067 pu
Z2 7.5067 pu
Z0 1.5013 pu

FALLA 1F A TIERRA BARRA 4.16 KV



$$I_{FALLA} = \frac{3VF}{Z_{eq}} = \frac{1}{0.3043} = 3.121 \text{ pu}$$

$$I_{BASE} = \frac{KVA_{BASE}}{\sqrt{3} KVA_{BASE}} \times \frac{69}{4.16} = 6947.53 \text{ Amp.}$$

$$I_{FALLA} = 3.121 \times 6947.53 = 21684.041 \text{ AMP}$$

AUTOR	ALVARO CUEVA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
LUIS MOLINA		
JOSE MATUTE		
PLANO N°. MMILT-014		
Descripción	ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL CAMBIO DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELÉCTRICOS EN TÁNDEM DE MOLINOS DEL INGENIO LA TRONCAL	ESCALA
	CORRIENTES DE FALLA	REVISIÓN
		001

BIBLIOGRAFIA

1. Análisis de Sistemas de Potencia, John J. Grainger, William D. Stevenson, Jr.
2. Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica.
3. Manual de Técnicos Azucareros. E. Hugot.
4. Manual de Operación de Turbinas de Vapor, Editorial Mc. Grill.
5. Manual de Instalación y Operación, Drive ACS1000 ABB.
6. García Marque Rogelio. La puesta a tierra de instalaciones eléctricas, Editorial Alfa y Omega. 1999.
7. Días Pablo. Soluciones prácticas para puesta a tierra de sistemas eléctricos. Editorial Mc Graw Hill. 2001.
8. CONELEC, Regulación 003/02, Precios de energías renovables. 2004.
9. CONELEC, Regulación 001/02, Precios de energías renovables. 2004.
10. www.smar.com, sugar applications notes
11. www.cec.uchile.cl, turbinas de vapor
12. www.miliarium.com/monografias/Energia, cogeneración
13. www.all-biz.info, turbinas de vapor para centrales termoeléctricas
14. www.stilar.net, eficiencia energética en motores eléctricos
15. www.mrelectromecanica.com, recomendaciones para ahorro de energía en motores eléctricos
16. www.motors-electrics.com, Motores de alta eficiencia
17. <http://www.abb.com>, Variadores ACS1000

18. www.amazon.com, Handbook-Cane-Sugar-Engineering-Hugot
19. www.voltran.com, transformador de aislamiento
20. www.geindustrial.com, reles multilin
21. www.conelec.gov.ec, regulaciones