

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS



INFORME DE SUFICIENCIA

**MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA DE GENERACIÓN
ELÉCTRICA EN UN INGENIO AZUCARERO**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

ALFONSO RICARDO GALBANI MERA

LIMA, SEPTIEMBRE DE 2002

***Dedico este trabajo
a mi esposa y mis hijos.***

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--------------------------|----------|
| RESUMEN EJECUTIVO | 1 |
|--------------------------|----------|

| | |
|---------------------|----------|
| INTRODUCCIÓN | 3 |
|---------------------|----------|

| | |
|---------------------------------|----------|
| Capítulo I: ANTECEDENTES | 5 |
|---------------------------------|----------|

Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A

| | | |
|---------|--------------------------------------|----|
| 1.1 | Diagnóstico E estratégico | 6 |
| 1.1.1 | Fortalezas | 6 |
| 1.1.2 | Debilidades | 7 |
| 1.1.3 | Oportunidades | 8 |
| 1.1.4 | Riesgos | 8 |
| 1.1.5 | Indicadores estratégicos (tablas) | 9 |
| 1.2 | Diagnóstico Funcional | 12 |
| 1.2.1 | Productos | 12 |
| 1.2.2 | Clientes | 13 |
| 1.2.2.1 | Grandes industrias alimenticias | 13 |
| 1.2.2.2 | Clientes corporativos | 13 |
| 1.2.2.3 | Mayoristas | 13 |
| 1.2.2.4 | Otros clientes | 13 |
| 1.2.3 | Proveedores | 14 |
| 1.2.3.1 | Insumos | 14 |
| 1.2.3.2 | Bienes de capital | 14 |
| 1.2.3.3 | Servicios | 14 |
| 1.2.3.4 | Energía | 14 |
| 1.2.4 | Esquema de los Proceso de producción | 15 |
| 1.2.5 | Organización de la empresa | 17 |
| 1.2.5.1 | Directorio | 17 |
| 1.2.5.2 | Gerencia general | 17 |
| 1.2.5.3 | Gerencia de campo | 17 |
| 1.2.5.4 | Gerencia de fábrica | 17 |
| 1.2.5.5 | Gerencia de transporte | 17 |
| 1.2.5.6 | Gerencia de recursos anos | 17 |
| 1.2.5.7 | Gerencia de comercialización | 18 |
| 1.2.5.8 | Gerencia financiera | 18 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.1 | Introducción | 21 |
| 2.2 | Metodología específica..... | 23 |
| 2.3 | Proceso de generación eléctrica y uso de vapor..... | 24 |
| 2.3.1 | Caldero o generador de vapor o energía térmica..... | 25 |
| 2.3.2 | Turbina y caja reductora | 26 |
| 2.3.3 | Alternador o generador | 28 |
| 2.3.4 | Concepto de generador y turbina | 29 |
| 2.3.5 | Partes principales de un generador | 32 |
| 2.3.5.1 | Estator | 32 |
| 2.3.5.2 | Rotor | 32 |
| 2.3.5.3 | Excitatriz | 32 |
| 2.3.5.4 | Regulador de voltaje | 33 |
| 2.3.6 | Turbina a vapor como motor primo..... | 33 |
| 2.3.7 | El sistema de excitación de un generador..... | 35 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.1 | Planteamiento del problema | 36 |
| 3.1.1 | Obsolescencia del sistema de excitación de un generador..... | 36 |
| 3.1.2 | Carencia de mano de obra especializada repuestos..... | 37 |
| 3.1.3 | Ineficiencia del sistema de generación | 37 |
| 3.1.4 | Limitaciones tecnológicas | 38 |
| 3.1.5 | Baja calidad de la energía generada | 38 |
| 3.1.6 | Costos elevados de mantenimiento | 38 |
| 3.2 | Alternativas de solución | 39 |
| 3.2.1 | Sistema digital de excitación estática | 39 |
| 3.2.2 | Sistema digital de regulación de tensión | 41 |
| 3.2.3 | Excitatriz rotativa | 41 |
| 3.3 | Metodologías de solución..... | 42 |
| 3.4 | Toma de decisiones | 43 |
| 3.4.1 | Los aspectos técnicos..... | 43 |
| 3.4.2 | Aspectos económicos..... | 43 |
| 3.4.3 | Aspectos normativos y legales..... | 44 |
| 3.5 | Estrategias adoptadas | 45 |
| 3.5.1 | Plan de trabajo..... | 45 |
| 3.5.1.1 | Tabla Gantt..... | 45 |
| 3.5.1.2 | Diagrama Pert..... | 45 |

| | | |
|---------|--------------------------------------|----|
| 3.5.2 | Detalle de plan de trabajo | 46 |
| 3.5.2.1 | Determinación de costos | 46 |
| | A Costos operativos de mantenimiento | |
| | B Costos de energía comprada | |
| 3.5.2.2 | Ingeniería | 50 |
| | A Especificaciones generales | |
| | B Selección del equipo | |
| | C Diseño | |
| 3.5.2.3 | Proceso de adquisición | 56 |
| 3.5.2.4 | Fabricación del equipo..... | 56 |
| 3.5.2.5 | Montaje electromecánico..... | 56 |

Capítulo IV: EVALUACIÓN DE RESULTADOS **59**

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | Evaluación Técnica..... | 59 |
| 4.2 | Evaluación económica y financiera..... | 60 |
| 4.2.1 | Costos y Beneficios | 60 |
| 4.2.2 | Análisis financiero | 62 |
| | 4.2.2.1 TIR | 62 |
| | 4.2.2.2 VAN | 63 |
| | 4.2.2.3 B/C | 63 |

Capítulo V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **65**

| | | |
|-----|-----------------------|----|
| 5.1 | Conclusiones | 65 |
| 5.2 | Recomendaciones | 68 |

BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO DE TÉRMINOS **71**

ANEXOS **74**

| | | |
|---------|---|----|
| Anexo1: | Requerimientos Operativos del sistema de excitación estática..... | 75 |
| Anexo2: | Datos de planta | |
| Anexo3: | Catálogos y especificaciones del equipo | |

DESCRIPTORES TEMÁTICOS

- **BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA**
- **CONFIABILIDAD Y REEMPLAZO DE EQUIPO**
- **GENERACIÓN ELÉCTRICA**
- **GESTIÓN DE PLANTA**
- **INDUSTRIA AZUCARERA**
- **MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**
- **MODERNIZACIÓN DE PLANTAS**
- **PROYECTOS DE INVERSIÓN**
- **REGULACIÓN DE TENSIÓN**
- **SISTEMAS DE EXCITACIÓN ESTÁTICA**
- **TECNOLOGÍA ELÉCTRICA**

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo es un proyecto de inversión en la mejora de sistema de generación de la planta eléctrica del ingenio azucarero de la empresa Complejo Agroindustrial Cartavio SAA ubicada en la localidad de Cartavio, Provincia de Chicama, departamento de La Libertad. Esta mejora consiste en el cambio del sistema de excitación obsoleto de un turbogenerador eléctrico por un equipo digital de tecnología de punta.

La aplicación de esta tecnología brinda una serie de beneficios técnicos y económicos en el resultado de la gestión de la planta, debido a la mejora en la confiabilidad del despacho de energía en planta. Se logran además importantes ahorros en costos operativos y de mantenimiento y sobre todo se evitan costos hundidos y ventas perdidas por paralización de la planta. Se aplican herramientas de ingeniería industrial como el análisis de costos, ingeniería de mantenimiento, ingeniería eléctrica y gestión de proyectos.

El desarrollo de este Informe está compuesto por 4 bloques temáticos, destacándose los antecedentes, los cuales son la información relevante a la empresa sujeta al estudio tales como estructura organizacional, características de su estrategia empresarial, características de su sistema de producción y diagnóstico de aspectos comerciales de la empresa.

La segunda parte correspondiente al marco teórico y que comprende la descripción y fundamentos de operación de los equipos involucrados en el proyecto de modernización, tales como el generador eléctrico, la turbina a vapor y el excitador del generador, asimismo el registro de datos y las capacidades de los equipos en estudio.

El tercer bloque o proceso de toma de decisiones implica un exhaustivo análisis de la problemática operativa de la planta de generación eléctrica y sus implicancias en el sistema eléctrico del ingenio. Se presentan además ventajas del cambio del sistema de excitación con todos los beneficios potenciales tanto económicos como técnicos. Se hace un planteamiento de las diversas alternativas técnicas a seleccionar, la metodología de solución y la formulación de la estrategia adoptada, debidamente sustentada en un plan de trabajo detallado.

El bloque final es el análisis de resultados de la gestión del proyecto, destacando los beneficios obtenidos tanto técnicos como económicos-financieros. Se concluye que el proyecto es viable bajo estos dos aspectos, y donde la tasa de retorno de la inversión es de 31,31%, cifra mucho más alta que una tasa esperada de 12%. El financiamiento del proyecto también es beneficioso para la empresa.

Finalmente se encuentran las conclusiones de trabajo desarrollado y anexos con información técnica que sustenta la propuesta.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es lograr optimizar la operación de una planta de generación eléctrica mediante el cambio y modernización de los sistemas de excitación y control del generador eléctrico, lo cual produce un elevamiento de la confiabilidad operativa de la planta, reducir el tiempo de paradas por mantenimiento eléctrico rutinario en cerca de 90%, ahorrar 1% del total de costos operativos de generación de energía eléctrica y mejorar la calidad de energía al producir electricidad más estable y en niveles más precisos.

El manejo de la energía en la gran industria se ha convertido en un factor estratégico para planificar las operaciones y donde cada costo debe ser analizado rigurosamente, así como también las inversiones que se realicen en este sector, por lo que es importante que los proyectos desarrollados tengan el mejor horizonte de recuperación económica.

Este proyecto requiere de la aplicación de herramientas de formación de ingeniería industrial tales como diseño y evaluación de proyectos, costos y presupuestos e ingeniería eléctrica, que integrados permiten formular estrategias de aplicación de tecnología de punta determinando las variables que aseguren el efectivo desempeño del proyecto.

La propuesta es una pequeña contribución a la gran cantidad de acciones correctivas que deben ser consideradas para mejorar en forma integral la eficiencia de una industria tan compleja como lo es la azucarera.

Es de importancia estratégica, puesto que las plantas de generación son el corazón de la actividad productiva. Simplemente una falla operativa del generador significa la paralización de la planta en su totalidad.

Bajo estas circunstancias, el presente trabajo plantea un proyecto de optimización de una planta de generación termoeléctrica en un ingenio azucarero, mediante el cálculo, selección y reemplazo de las unidades de control / regulación eléctrica por un regulador digital multifunción y de los sistemas de excitación del generador (Sistema de Excitación Estática). Para esto, se detallará las características técnicas de los equipos, debidamente fundamentadas, el proceso de implementación y la demostración de los beneficios técnicos y económicos de esta propuesta.

La propuesta de modernización de los sistemas de control y excitación de los generadores es una tecnología aplicada satisfactoriamente a nivel mundial y extendida a todos los sectores económicos como el de empresas eléctricas de servicio público, industria azucarera, papelera, cemento, minería e industria petrolera. Los logros a obtener se centran en mejorar la confiabilidad operativa de la planta y una recuperación efectiva en el mediano plazo de las inversiones por disminución de los costos operativos.

Dentro de las limitaciones se debe acotar que el proyecto sólo está centrado en la parte eléctrica de la planta generadora, donde no se toma en cuenta a la turbina y equipos de generación de vapor como los calderos, u otros como tuberías. Si bien las actividades de optimización de la eficiencia de la planta son numerosas, por el objetivo del trabajo, solo se centrará en la propuesta descrita, la cual es resultado de la experiencia del suscrito en los últimos 10 años de su desempeño profesional.

Capítulo I

ANTECEDENTES

COMPLEJO AGROINDUSTRIAL CARTAVIO S.A.A.

Este complejo azucarero es uno de los más grandes del Perú, se encuentra localizado a 50 Km. al noreste de Trujillo, a través de un desvío de 9 Km desde la Panamericana Norte. El complejo posee una rica plantación de caña de azúcar, contando con 5600 hectáreas al 100%, más 1600 hectáreas en la localidad de Sintuco, irrigadas todo el año por el río Chicama en época de abundancia y en época de estiaje por un sistema de agua subterránea que es extraída de pozos tubulares con bombas de gran potencia y que se ubican estratégicamente según los criterios de expertos.

El complejo consta de una plantación agrícola, una planta de procesamiento de azúcar y una destilería de alcohol, dando empleo directo a 1200 personas e indirecto a 1,600 personas más. Entre los principales productos que se procesa son el azúcar rubia doméstica, azúcar blanca refinada, tanto en bolsas de 50Kg, como a granel y los productos de la refinería son alcohol industrial, alcohol rectificado y aceite fusel.

El complejo tiene una capacidad de producción máxima de 6000 TM diarias para molienda de caña y 5,000 TM diarias como promedio sostenido y la producción de azúcar en 1998 llegó a las 54,000 TM de azúcar el año siguiente

A pesar de dos meses de paralización de la fábrica por motivos de reparaciones se llegó al monto de 77,000 TM. Para el año 2000 se llegó a 121,000 TM de azúcar logrando el primer lugar en producción y en el año 2001 se llegó al nivel de 145,000 TM. La capacidad instalada máxima consume 6000 KW, distribuidos en 2500KW a 3500KW por parte de las turbinas de generación propia y de 3500KW por potencia contratada con Hidrandina.

1.1 Diagnostico estratégico

El sector azucarero está reconocido como uno de los sectores con mayor crecimiento, después que la industria del azúcar haya pasado prolongados periodos de crisis. A pesar que los problemas no están resueltos del todo, existen asuntos pendientes delicados por definirse, donde a pesar de todo, los indicadores sectoriales muestran una tendencia de crecimiento bastante alentadora. Esta oportunidad presente deberá ser aprovechada y será responsabilidad de quienes diseñen las políticas respectivas en este sector para el logro de mejores resultados. La actividad productiva está muy relacionada con la energía que se produce en la planta, por lo que este tema también pasa a ser determinante en la estrategia de desarrollo del sector

1.1.1 Fortalezas

- Autonomía energética, lo cual garantiza la continuidad del proceso de producción habiendo posibilidad de independizarse del sistema eléctrico comercial
- Costo de energía relativamente bajo al utilizar cogeneración eléctrica usando como combustible el bagazo de caña
- Eficiencia productiva y alto rendimiento: Cartavio es una de las empresas azucareras con mayor rendimiento por Hectárea llegando a 149 TM de caña logrando que tenga precios competitivos en el mercado nacional

- Planta en continuo proceso de modernización de equipos: Se ha invertido 20 millones de dólares para inversiones de planta, siendo esto el 13% de la inversión total en el sector
- Aplicación de nuevas tecnologías de procesos de producción: La empresa está invirtiendo en un nuevo caldero de última tecnología, así como en equipos de control para los procesos y energía de la planta
- Empresa con administración privada, lo cual permite una rápida reacción en el mercado, orientada a una alta eficiencia y competitividad
- Alta capacidad potencial de producción: La planta tiene una capacidad máxima de 6000 TM de molienda de caña, estando en el promedio de 5000 TM diarias
- Disposición de plantaciones extensas propias: 7,200 Has al 100% de producción
- Capacidad financiera, donde la empresa está activa en el sistema financiero, permitiendo disponer de capital para la gestión operativa

1.1.2 Debilidades

- Alta dependencia de su sistema de generación de energía, el cual tiene más de 40 años operando con equipos obsoletos, creando potenciales paradas de planta
- Algunos sectores de la fabrica son antiguos con problemas permanentes: donde existen continuas paralizaciones, ineficiencias y gastos de mantenimiento.
- Existe fuerte dependencia de máquinas críticas como los calderos y generadores que si bien están operando normalmente, una falla de estas maquinas puede acarrear en la paralización total de la planta.

1.1.3 Oportunidades

- Creciente producción nacional, fortalece el mercado en su conjunto lo cual permite definir estrategias gremiales en defensa de la producción nacional
- Capacidad de cosecha y producción en todo el año, pues el clima brinda condiciones óptimas para un crecimiento regular de la caña de azúcar
- La privatización del sector, crea interés en socios estratégicos e inversionistas que están desarrollando alianzas estratégicas con empresas privadas.
- Demanda de mercado no satisfecha y creciente en todos los sectores
- Caída de competitividad de empresas no privatizadas, lo cual permite disponer de mas caña para molienda y tener mejores plazos de entrega
- El gobierno para compensar un menor margen de protección, decidió incrementar el arancel del azúcar del 12% al 20%.

1.1.4 Riesgos

- Factores climáticos extremos como *El Niño*, afectan potencialmente la producción y la comercialización por inundaciones de sembríos, cierre de carreteras, etc.
- Cuotas de importación no reguladas con beneficios arancelarios para los productores del mercado andino
- Elevados aranceles al azúcar peruana para exportación, lo cual no es recíprocamente aplicado en Perú. (de 200 a 400%)
- Baja sensible de precio por iliquidez de las azucareras quienes llevan al precio a niveles por debajo del costo para el pago de planillas, afectando el mercado en su conjunto

1.1.5 Indicadores estratégicos

Tabla 1.1 Principales parámetros de la industria azucarera Peruana

| | |
|--|----------------------|
| Total mercado | US\$ 510 millones |
| Producción anual año 2000 | 723,800 tm (65%) |
| Producción anual potencial | 1'100,000 (100%) |
| Participación producto bruto agrícola | 4% |
| I.G.V. Generado Actual | US\$ 78 millones |
| Hectáreas cosechadas | 65,000 Has (60%) |
| Hectáreas cultivables potencial | 110,000 Has (100%) |
| Capacidad de fabrica utilizada | 26,046 TM/día (65%) |
| Capacidad de fabrica instalada | 40,000 TM/día (100%) |
| Empleo Directo (1) | 25,000 Trabajadores |
| Personas económicamente vinculadas (2) | 250,000 personas |
| Empleo total actual (1+2) | 275,000 personas |
| Empleo total potencial | 500,000 personas |

Tabla 1.2 Evolución estratégica del sector azucarero nacional

| INDICADORES ESTRATÉGICOS | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|--|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Produc de azúcar (miles de TM) | 608.7 | 666 | 449.6 | 603.1 | 724.1 | 753 | 810 |
| Caña de azúcar (miles de TM) | 6119 | 6930 | 5705 | 6279 | 7135 | 7386 | 7767 |
| Sup. cosechada (miles de ha) | 54.4 | 63.5 | 52.6 | 58.1 | 63.8 | 60.2 | 62.5 |
| Rendimiento (TM x ha) | 112.5 | 109.1 | 108.4 | 108 | 111.8 | 122.7 | 124.4 |
| Consumo aparente (miles TM) | 838 | 841.3 | 884.2 | 925.8 | 853.3 | 897.1 | 956.9 |
| Importaciones | 312.7 | 254.7 | 494.9 | 344 | 171 | 185.6 | 190.1 |
| Exportaciones | 82.5 | 79.4 | 60.3 | 21.3 | 41.7 | 41.6 | 43.2 |
| Balanza Comercial azucarera (mill | -78.8 | -51 | -129.4 | -75.1 | -30.2 | -39.6 | -25.2 |
| Exportaciones | 37.2 | 34.4 | 26.9 | 9.4 | 16 | 16.7 | 16.8 |
| Importaciones | 115.9 | 85.4 | 156.3 | 84.5 | 46.2 | 56.4 | 42.1 |
| Cotiza. internacional (US\$ /TM) | | | | | | | |
| Contrato N° 14 | 486.1 | 476.9 | 478.8 | 466.3 | 420.6 | 465.3 | 447.9 |
| Contrato N° 11 | 266 | 262.1 | 201.5 | 144.2 | 187.7 | 201 | 170.6 |

Fuente: Maximixe

Tabla 1.3 Producción nacional

| EMPRESAS | 1995 | 2001 | % |
|----------------|------------|------------|------------|
| TM / HA | | | |
| ANDAHUASI | 163 | 131 | -20% |
| CARTAVIO | 83 | 149 | 79% |
| CASAGRANDE | 83 | 108 | 30% |
| CHUCARAPI | 134 | 242 | 81% |
| LAREDO | 130 | 152 | 17% |
| PARAMONGA | 113 | 130 | 14% |
| POMALCA | 127 | 87 | -32% |
| PUCALA | 112 | 83 | -26% |
| SAN JACINTO | 82 | 124 | 52% |
| TUMAN | 130 | 124 | -5% |
| TOTAL | 116 | 133 | 15% |

Fuente: APPAR

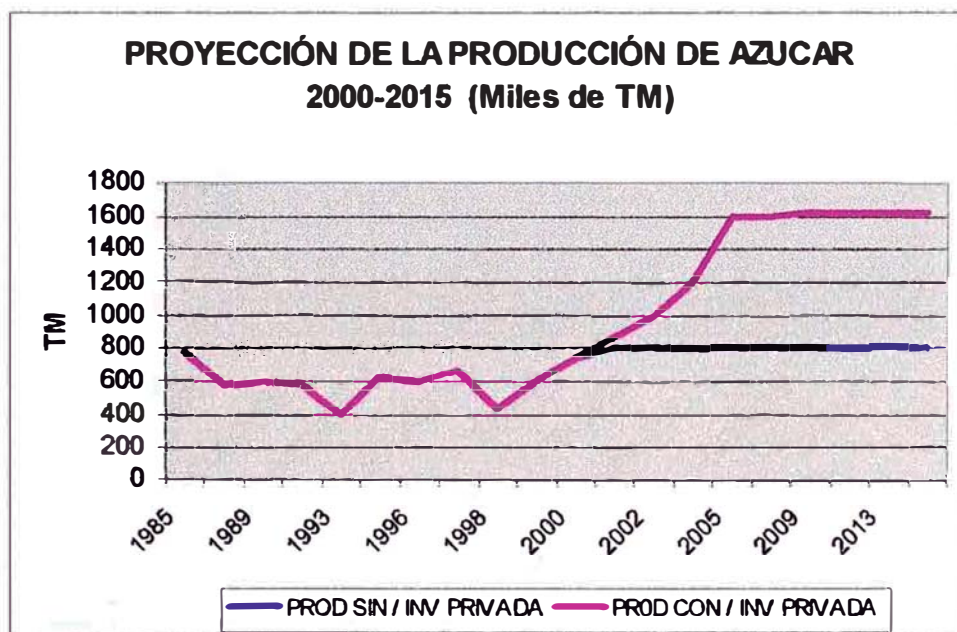


Figura 1.1 Fuente: Maximixe

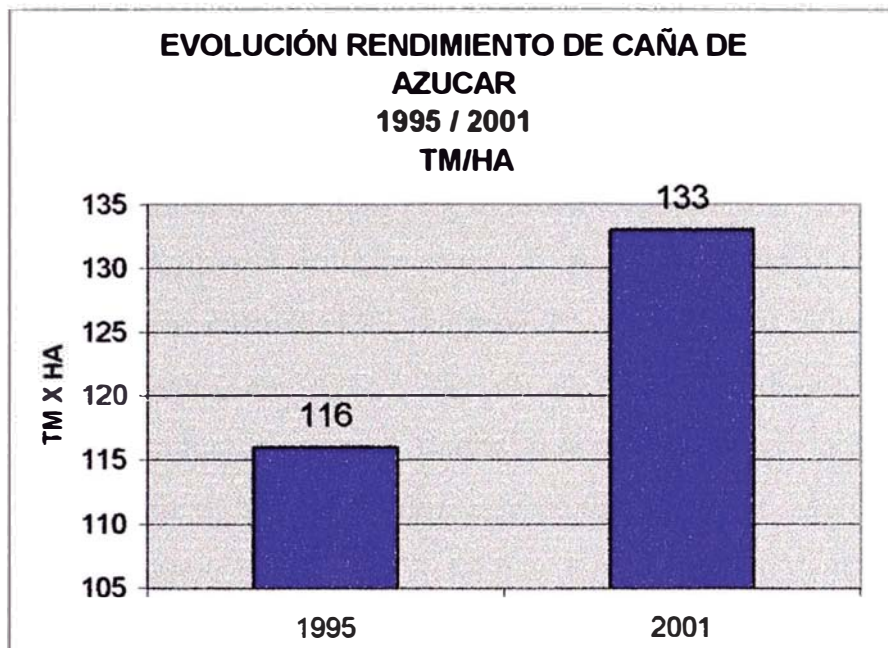


Figura 1.2 Fuente APPAR



Figura 1.3 Fuente: APPAR

1.2 Diagnóstico funcional

1.2.1 Productos

En la empresa en estudio, Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A., el principal producto es el azúcar, siendo la producción más importante el azúcar rubia, teniendo una participación de 75%. La producción de azúcar refinada o blanca tiene una participación de 20%, y de 5% el azúcar premium o industrial. Existen otros subproductos como el Alcohol que se produce en la destilería y el bagazo de caña, que es la fibra residual que tiene alto poder calorífico y puede ser usado como combustible o para la fabricación de papel o cartón. El bagazo tiene un equivalente calorífico de 55gl de petróleo residual por cada TM de bagazo. La producción de azúcar se divide de la siguiente manera:

Tabla 1.4 Producción diaria de Cartavio SAA

| Tipo | Cantidad sacos | % |
|-------------|-----------------------|----------|
| Rubia | 7,500 sacos | 75%-80% |
| Refinada | 2,000 sacos | 20%-25% |
| Refinada | 500 sacos | 5% |

Fuente : Complejo Agroindustrial Cartavio SAA

El rendimiento es de 10% de azúcar sobre el peso de la caña. Así se estima que la producción diaria es de 500TM a 550 TM sobre una molienda de caña de 5000 a 5500 TM diarias. El subproducto melaza pasa a la destilería, siendo al de 4% de la caña molida. La producción de alcohol etílico es de 60,000 litros diarios.

1.2.2 Clientes

1.2.2.1 Grandes industrias alimenticias: Dichos clientes pertenecen mayormente a la gran industria de aguas gaseosas azucaradas, industrias fabricantes de mermeladas, gelatinas, chocolates, industria panificadora, adquieren el azúcar a granel tanto refinada como rubia y se destina como insumo que se integra el producto final en el proceso transformación

1.2.2.2 Clientes corporativos: Compuesto por entidades estatales y privadas, tales como programas sociales de alimentación, fuerzas armadas, empresas de alimentación institucional (catering), hospitales, supermercados, envasadoras, etc. Son clientes directos que por el volumen de adquisición y por la naturaleza de sus funciones, compran directamente a la fábrica.

1.2.2.3 Mayoristas: Es el canal de distribución, adquiere el azúcar rubia y refinada en grandes volúmenes a través de sacos de 50Kg. Están compuestos normalmente por empresas privadas que cuentan con subcanales de distribución mayorista y minorista. Sus clientes y sus centros de distribución están ubicados estratégicamente en zonas de alto volumen comercial. Entre los clientes mayoristas se tienen Empresas Distribuidoras, Hipermercados, Envasadoras, ferias comerciales, etc.

1.2.2.4 Otros clientes: Los sub-productos del proceso de fabricación del azúcar son el bagazo, melaza y alcohol. Parte del bagazo es vendido a la industria papelera y para la generación eléctrica. El alcohol destilado de la melaza es vendido directamente a fábricas como Ron Cartavio, a la industria y laboratorios farmacéuticos.

1.2.3 Proveedores

1.2.3.1 Insumos: Los insumos están compuestos por reactivos químicos, cal, ácidos, y todo elemento que se integra directamente en el proceso de producción del azúcar. Los insumos indirectos son lubricantes, material refractario, etc.

1.2.3.2 Bienes de capital: Al ser una industria compleja existe una gran cantidad de equipamiento mecánico, tales como ejes, máquinas herramientas, reductores, acoplamientos, molinos, tolvas. Material eléctrico como motores, transformadores, generadores y tableros eléctricos de mando. Equipos térmicos como calderos y sus equipos complementarios, turbinas de vapor. Equipos para proceso como partes y repuestos para el trapiche, macheteros y de proceso de fabricación de azúcar. Por otro lado existen proveedores para equipo móvil como camiones, tractores, camionetas, donde muchos de los proveedores son grandes empresas especializadas en la fabricación de equipos de proceso.

1.2.3.3 Servicios: Dentro de los servicios que están relacionados con el proceso de producción está el de reparación de calderos, servicios de mecanizado de partes, transporte de caña en camiones, servicios de mantenimiento de planta, reparación de motores y transformadores, además de todos los proveedores de servicios convencionales de infraestructura, oficinas y financieros.

1.2.3.4 Energía: Para efectos de este estudio, se destaca el servicio de abastecimiento de energía. La empresa está ubicada en el departamento de La Libertad, estando dentro de la zona de concesión de la empresa Hidrandina SA. Hidrandina provee energía y potencia a una tensión de 10KV siendo la potencia contratada de 4 MW en horas fuera de punta y de 3.6MW en horas punta¹

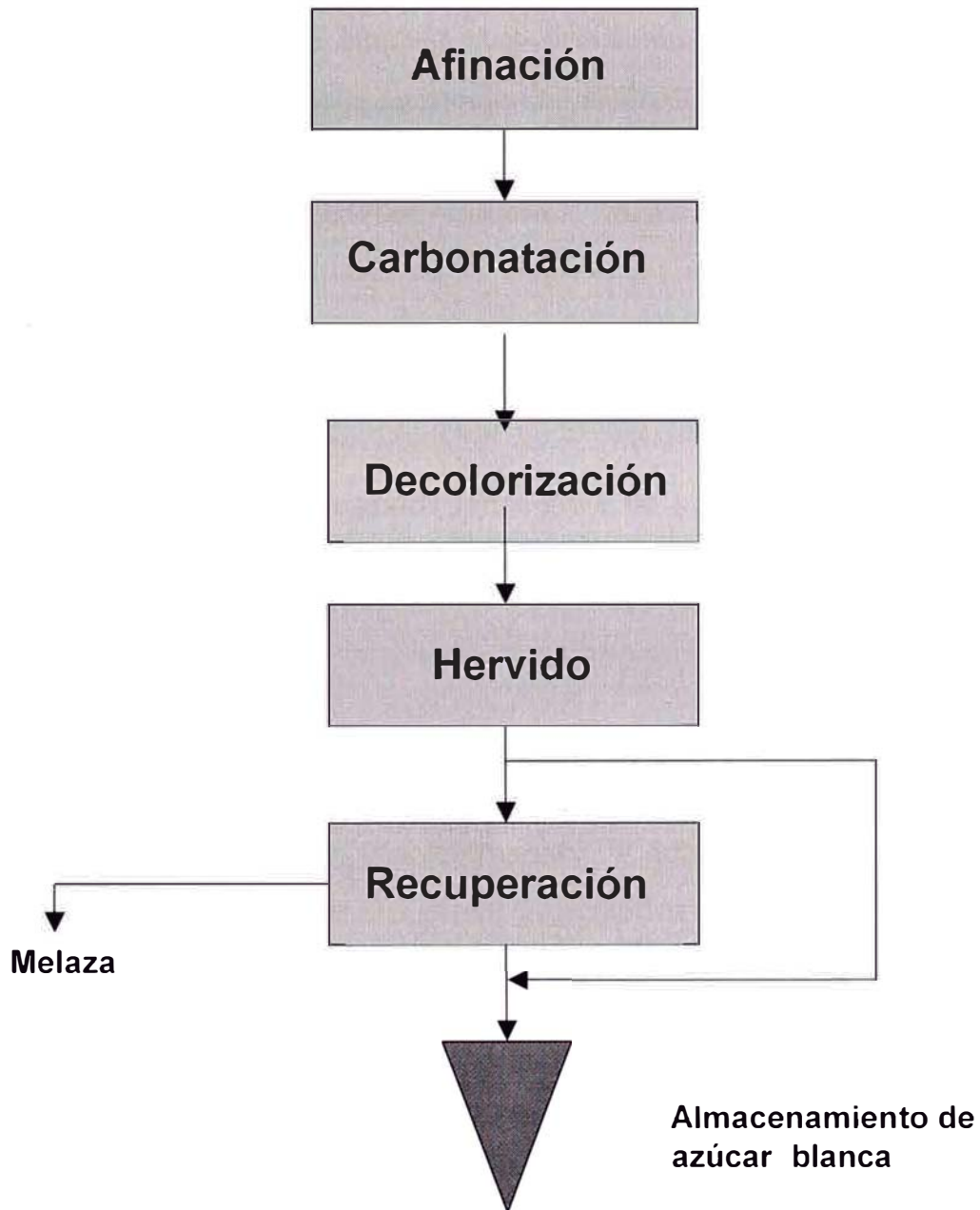
¹ Hora punta HP es dentro de las 6PM y 10PM. Hora fuera de punta FP es fuera de este horario

1.2.4 Esquemas de los procesos de producción

Esquema del proceso de producción del azúcar rubia



Esquema del proceso de producción del azúcar blanca



1.2.5 Organización de la empresa

1.2.5.1 Directorio: Compuesto por los propietarios accionistas y representantes de accionistas de la empresa. Las decisiones estratégicas de inversiones y actividades empresariales se generan en el directorio.

1.2.5.2 Gerencia general: Coordina todas las actividades económicas, comerciales e industriales de la empresa en un nivel estratégico dirigiendo todas las gerencias, siendo responsable de informar al directorio de los resultados de la gestión.

1.2.5.3 Gerencia de campo: Encargada de las operaciones fuera de planta donde se comprende la administración de la siembra, riego y abono de los campos de cultivo

1.2.5.4 Gerencia de fábrica: Se encarga de las todas las operaciones dentro del ingenio, administrando la gestión de producción o elaboración, ingeniería y proyectos, laboratorios, mantenimiento y equipos de planta como calderas, planta de fuerza, pozos. La gerencia de fábrica cuenta con talleres eléctricos y maestranza para el mantenimiento de los trapiches y planta de proceso y refinación.

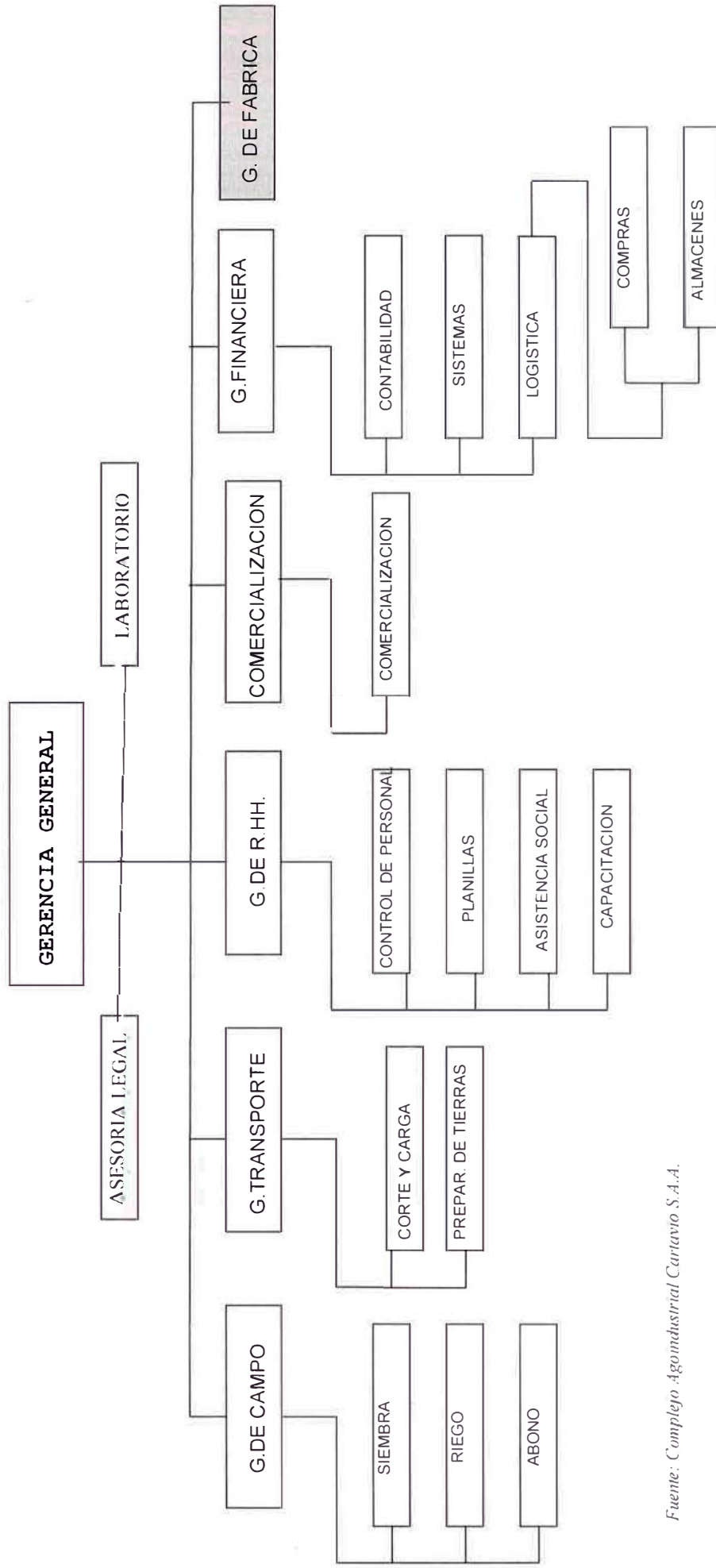
1.2.5.5 Gerencia de transporte: Administra la flota de camiones de carga de caña y las máquinas de remoción de tierra

1.2.5.6 Gerencia de recursos humanos: Encargada de la administración de personal, control de planillas, capacitación y asistencia social de los trabajadores

1.2.5.7 Gerencia de comercialización: Su función es la vender la producción de azúcar y alcohol. Desarrolla actividades de planeamiento comercial, coordinando con la gerencia de fábrica la planificación de actividades para lograr las metas comerciales.

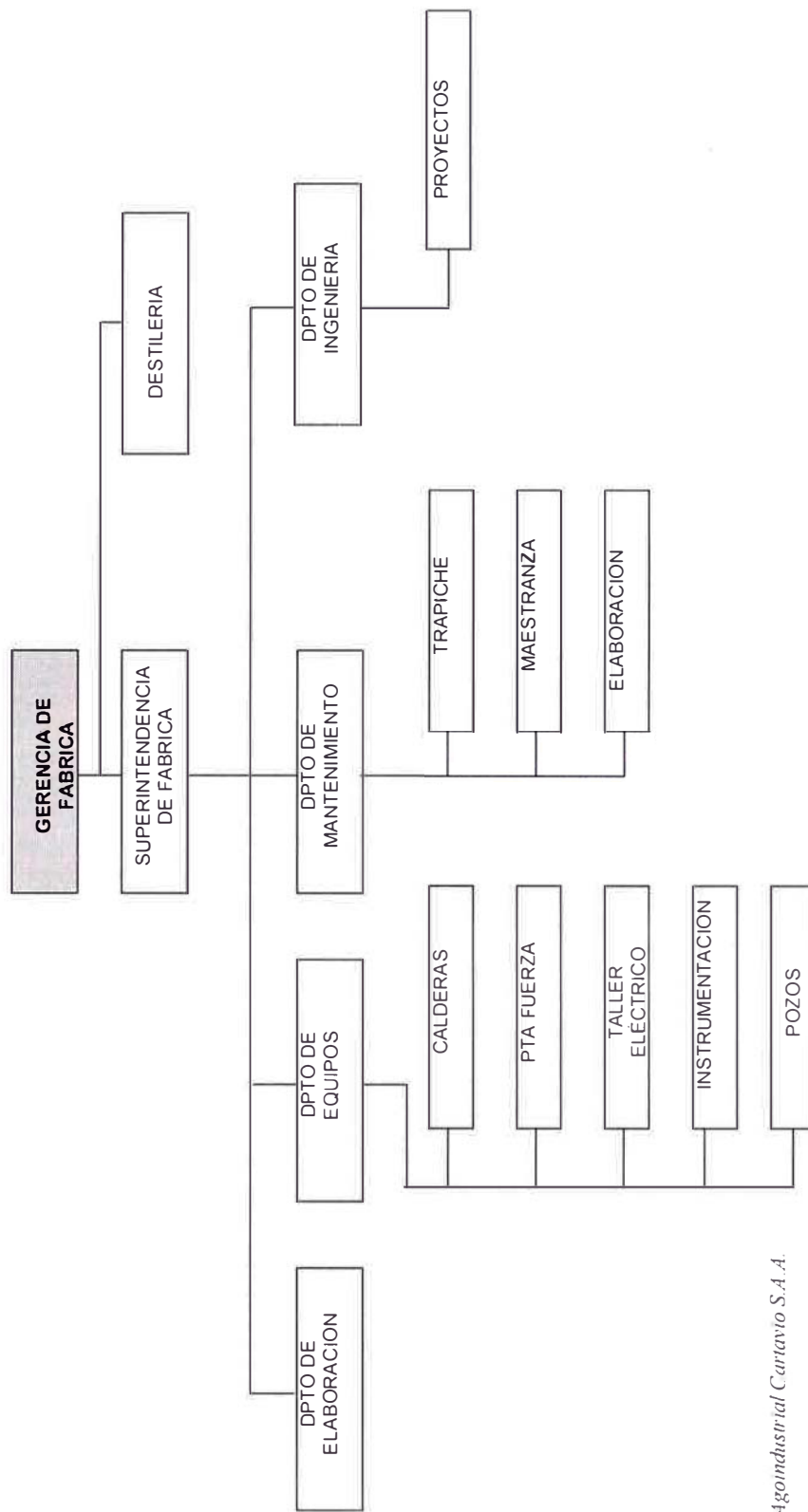
1.2.5.8 Gerencia financiera: Comprende las áreas de contabilidad, sistemas y logística. En coordinación estrecha con todas las gerencias planifica los recursos económicos y financieros para atender los requerimientos de operaciones de la empresa.

ORGANIGRAMA: COMPLEJO AGROINDUSTRIAL CARTAVIO S.A.A.



Fuente: Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A.

ORGANIGRAMA: COMPLEJO AGROINDUSTRIAL CARTAVIO S.A.A. (CONT)



Fuente: Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

Las plantas de generación termoeléctrica en la industria azucarera son por excelencia plantas de cogeneración de energía, es decir usan recursos disponibles de su propia producción de azúcar como el bagazo de caña con el propósito de producir vapor y generar en gran parte energía eléctrica que alimenta el proceso de producción de la fábrica, esto a través de turbo generadores.

El bagazo cuyo poder calorífico es de 8280 BTU/libra es quemado en calderos donde se produce gran cantidad de calor, que se usa para hervir agua y producir vapor a alta presión. El vapor es entonces usado para operar unas turbinas con el propósito de crear electricidad y luego vapor de baja presión para el proceso de elaboración del azúcar. El bagazo quemado es un recurso renovable a comparación de los combustibles fósiles que contaminan altamente el medio ambiente, este proceso se llama cogeneración.

El parque de generación eléctrica en la industria azucarera peruana es antiguo con una edad promedio de 50 años, ineficiente y en muchos casos obsoletos,

lo que deviene en un mayor consumo de insumos como petróleo, bagazo y por consiguiente mayor uso de vapor que se requiere para mover las turbinas.

Por otro lado se producen problemas como paralizaciones de planta con la reducción directa de la capacidad de producción, compra de energía y potencia eléctrica de reserva a la empresa distribuidora. Se requieren de programas permanentes de mantenimiento, consumo de suministros y reparaciones costosas.

La energía eléctrica producida no está dentro de los estándares de calidad necesarios y definidos por las normas de los entes reguladores del estado que permitan garantizar la preservación de la vida útil de los equipos eléctricos de la fábrica, tales como motores eléctricos, transformadores, circuitos electrónicos de control, etc. Todo estos aspectos se traducen en onerosos y permanentes costos que no contribuyen a la eficiencia operativa de una empresa azucarera, con lo cual a su vez se afecta su competitividad en un mercado altamente afectado sensible a los precios.

Esta creciente obsolescencia se refleja en los elementos más sensibles como son los dispositivos de control y regulación del generador así como en la unidad de excitación la cual está sujeta a severo y permanente desgaste, lo que deviene en problemas técnicos como oscilaciones de voltaje, falta de un control de la potencia reactiva e incapacidad de un control automático, lo cual obliga a disponer de personal permanente en supervisión de estos equipos. además de paralizaciones de planta que conlleva y donde debe tomarse en cuenta todos los costos a incurrir por estas eventualidades

2.2 Metodología específica

La ingeniería industrial brinda herramientas que permitan detectar posibilidades de optimizar cualquier sector de una empresa, sea de producción, mantenimiento, energía, recursos humanos, sistemas o financiero, entre muchos sectores más.

Basados en lo expuesto anteriormente se plantea la metodología de un “Proyecto Técnico de Inversión”, a ser desarrollado para la Gerencia de Fábrica, centrando el estudio en la generación eficiente, confiable y de alta calidad, titulado este proyecto como ***“Modernización de la planta de generación eléctrica en un ingenio azucarero”***

Este proyecto de inversión contempla el uso de herramientas como Costos y Presupuestos, Ingeniería de Mantenimiento, Confiabilidad y Reemplazo de Equipo, Ingeniería Eléctrica, Análisis Financiero y aplicación de Investigación de Operaciones al aplicar la programación PERT para el desarrollo del proyecto. Finalmente es aplicable las herramientas de Diseño y Evaluación de Proyectos para determinar la viabilidad técnico económica de la propuesta.

Debido a que el trabajo requiere de cambios en el sistema de generación eléctrica, es importante definir claramente conceptos de los equipos y la implicancia de la parte a modernizar en la operación del sistema.

2.3 Proceso de generación eléctrica y uso de vapor.

La energía eléctrica de un ingenio azucarero normalmente se genera en plantas eléctricas impulsadas por vapor de agua a través de turbinas, las cuales mueven un alternador o generador eléctrico. El vapor se genera a través de la combustión de bagazo de caña, el cual es el residuo fibroso de la caña al final del proceso de producción de azúcar. Este bagazo es a veces mezclado con petróleo residual N°6.

El vapor es generado en 4 calderos, saliendo a alta presión y temperatura a través de circuitos de tuberías aisladas térmicamente, donde distribuyen el vapor de agua hacia el proceso, saliendo de los calderos 14,15 y 16 y para la generación eléctrica por el caldero 17.

Tabla 2.1 Información de calderas

| CONCEPTO | Valor | Unidad |
|---------------------------------------|---------------|---------------|
| Molienda Diaria | 5500 | T.C.D. |
| Molienda Horaria | 250.00 | T.C.H. |
| Fibra en Caña | 14.00 | % |
| Bagazo en Caña | 28.37 | % |
| Eficiencia en Calderas N° 14 (Bagazo) | 46.91 | % |
| Eficiencia en Calderas N° 15 (Bagazo) | 47.69 | % |
| Eficiencia en Calderas N° 16 (Bagazo) | 47.69 | % |
| Eficiencia Caldera 17 (Bagazo) | 53.74 | % |

Tabla 2.2 Consumo de bagazo

| CONSUMO DE BAGAZO | |
|---------------------------------------|----------------------|
| Demanda de Bagazo | Ton.vapor/Ton.Bagazo |
| - Caldera N° 14 - 1241 KPa (180 PSIG) | 1.8082 |
| - Caldera N° 15 - 1241 KPa (180 PSIG) | 1.8384 |
| - Caldera N° 16 - 1241 KPa (180 PSIG) | 1.8384 |
| - Caldera N° 17 - 4136 KPa (600 PSIG) | 1.9289 |
| Consumo Bagazo Calderas 14, 15 y 16 | 40.04 Ton/hr |
| Consumo Bagazo Caldera 17 | 25.55 Ton/hr |
| Total Consumo de Bagazo | 65.59 Ton/hr |
| PRODUCCION DE BAGAZO | |
| Bagazo de Trapiche | 70.93 Ton/hr |
| Bagazo disponible | 65.96 Ton/hr |
| CONSUMO DE PETROLEO | |
| Calderas Cartavio | 0.00 gls/día |
| BAGAZO DISPONIBLE PARA PAPEL | |
| Por balance | 8.13 Ton/día |

2.3.1 Caldero o generador de vapor o energía térmica

El proceso de generación y uso de vapor en la industria azucarera se inicia cuando el bagazo de caña con alto poder calorífico es quemado en un gran caldero de 50TM de vapor por hora. Al producirse el vapor a alta temperatura 700° F y alta presión 575 PSI², inmediatamente pasa a la turbina de vapor.

² 1 PSI es la presión expresada en Libras/pulgada cuadrada

2.3.2 Turbina y caja reductora

La turbina es una máquina rotativa hermética y aislada térmicamente que produce la rotación de un eje a muy alta velocidad (aprox. 7,200 rpm). Este eje está conectado a un grupo de alabes múltiples en varias etapas, lo que permite que el vapor impulse el eje-motriz que se conectará con el alternador. El extremo del eje de la turbina se conecta a una caja reductora de velocidad conformada por trenes de engranajes, bajando la velocidad a 3600 RPM.

La caja reductora se conecta al eje del alternador. La capacidad de diseño de la turbina se refleja en la velocidad de rotación. Si se aplica mucha carga, el sistema tratará de mantenerse a la misma velocidad a través de sensores y mecanismos de actuación sobre el paso de vapor, de manera que siempre la velocidad de giro se mantenga constante, lo cual repercute directamente en la estabilidad de frecuencia o ciclaje de un generador eléctrico que está conectado a la turbina.

Muchas turbinas usan el vapor excedente para que sea aplicado en el proceso de producción. El vapor que sigue su camino tiene menor entalpía y por consiguiente menor temperatura y presión. Sin embargo para que este tipo de turbina funcione correctamente requiere de una gran cantidad de vapor, lo que significa que el caldero siempre debe trabajar al máximo. Si por alguna razón el vapor de proceso no es utilizado, debe ser liberado a la atmósfera a través de válvulas de alivio.

Para el presente trabajo se tomará en cuenta una turbina a vapor del tipo de condensación, es decir el vapor usado para girar la turbina sale en estado líquido y muy poco vapor de escasa capacidad térmica se expulsa por una purga.

COMPLEJO AGROINDUSTRIAL CARTAVIO S.A.A.

BALANCE DE VAPOR EN FABRICA PARA 5500 TCD

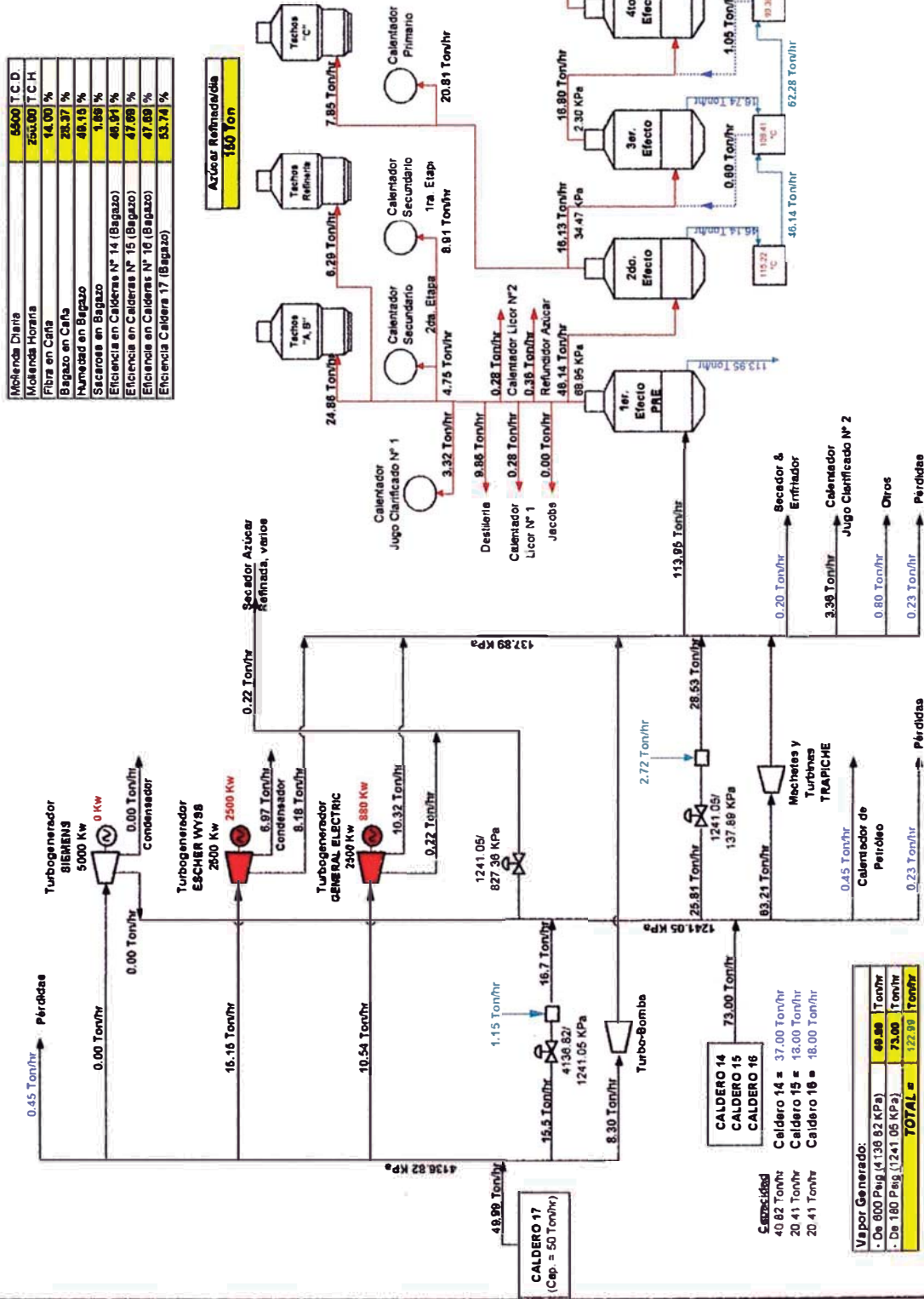
| Molenda Diaria | 5500 TCD |
|---------------------------------------|------------|
| Molenda Horaria | 250.00 TCH |
| Fibra en Carta | 14.00 % |
| Bagazo en Carta | 23.37 % |
| Humedad en Bagazo | 48.15 % |
| Sacarosa en Bagazo | 1.88 % |
| Eficiencia en Calderas N° 14 (Bagazo) | 48.81 % |
| Eficiencia en Calderas N° 15 (Bagazo) | 47.89 % |
| Eficiencia en Calderas N° 16 (Bagazo) | 47.89 % |
| Eficiencia Caldera 17 (Bagazo) | 53.74 % |

| CONSUMO DE BAGAZO | |
|---------------------------------------|----------------------|
| Demanda de Bagazo | Ton vapor/Ton Bagazo |
| - Caldera N° 14 - 1241 KPa (180 PSIG) | 1.8082 |
| - Caldera N° 15 - 1241 KPa (180 PSIG) | 1.8354 |
| - Caldera N° 16 - 1241 KPa (180 PSIG) | 1.8354 |
| - Caldera N° 17 - 4136 KPa (600 PSIG) | 1.9289 |
| Consumo Bagazo Calderas 14, 15 y 16 | 40.04 Ton/hr |
| Consumo Bagazo Caldera 17 | 25.92 Ton/hr |
| Total Consumo de Bagazo | 65.96 Ton/hr |

| PRODUCCION DE BAGAZO | |
|----------------------|--------------|
| Bagazo de Trapiche | 70.83 Ton/hr |
| Bagazo disponible | 65.89 Ton/hr |

| CONSUMO DE PETROLEO | |
|---------------------|--------------|
| Calderas Centavo | 0.00 gal/dia |

| BAGAZO DISPONIBLE PARA PAPEL | |
|------------------------------|--------------|
| Por balance | 0.01 Ton/dia |



PTAC - II UNI/FIS

Fig. N° 2.1 Proceso termodinámico de generación de energía eléctrica



2.3.2 Alternador o generador

El movimiento rotativo del generador produce electricidad. El voltaje que se produce en los bornes del alternador es de 2400 Voltios alternos o VA. Este generador tiene la capacidad de 3.125 MVA o Megavoltios amperios, la cual es la máxima capacidad operativa de dicho equipo. Este valor de capacidad esta debidamente calculada.

Si se excede en tomar carga eléctrica, se elevara la temperatura de las bobinas hasta un limite de daño potencial, por lo que normalmente la capacidad máxima esta limitada por la capacidad de la turbina y supervisada por instrumentos de medición como amperímetros y kilowatímetros, así como por equipos de protección que desconectan el generador en caso de falla o exceso.

Es importante destacar que en el fenómeno eléctrico de generación, la aplicación de cargas tales como motores eléctricos, resistencias, luces, tienden a que el voltaje del generador disminuya, esto por un fenómeno llamado inductancia u oposición al flujo magnético. Para contrarrestar estas variaciones de voltaje por las variaciones de carga eléctrica se usa un equipo llamado regulador de voltaje, el cual permite compensar las variaciones, aplicando señales correctivas adecuadas.

Tabla 2.3 Equipos de generación eléctrica de la CT Complejo Agroindustrial Cartavio

| Equipo | Potencia | Voltaje/Frec. | Marca | Velocidad |
|--|-----------------|----------------------|------------------|------------------|
| Turbo generador a vapor N°1 | 2500KW | 2400 VAC 60 Hz | General Electric | 3600RPM |
| Turbo generador a vapor N° 2 | 2500KW | 2400VAC 60 Hz | Escher Wyss | 3600 RPM |
| Turbogenerador a vapor N°3 (inoperativo) | 5000 KW | 13,800 VAC 60 Hz | Siemens | 1800 RPM |
| Grupo Electrógeno (de emergencia, servicios) | 500 KW | 480VAC 60 Hz | Caterpillar | 1800 RPM |

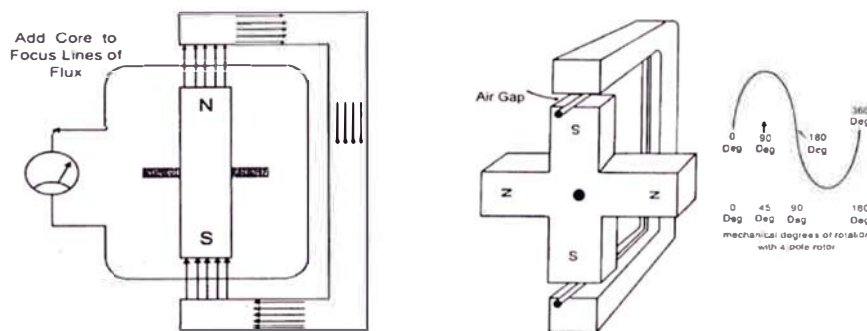
2.3.4 Concepto de un generador y una turbina

Un generador es un dispositivo que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, es decir cuando un conductor es movido a través de las líneas de flujo de un campo magnético, se induce una corriente eléctrica en este conductor. Esta corriente crea un potencial de voltaje que es directamente proporcional con el grado de movimiento del conductor y la potencia del campo magnético, llamado también densidad de flujo.

Después de muchos años, los resultados de la experimentación definieron un modo práctico para generar electricidad. Los primeros generadores eléctricos, producían corriente continua (CC). Posteriormente se estableció como corriente estándar la corriente alterna (CA) debido a la facilidad de ser elevada o reducida o ser transmitida a largas distancias. El nombre correcto para un generador de corriente alterna es “alternador”, debido a que efectivamente produce corriente alterna, aunque la industria ha aceptado el nombre genérico de generador, por lo que también es usado. Existen diversos tipos de generadores: Continuos, inducción y síncronos. Para efectos de este trabajo nos vamos a referir a los generadores síncronos.

La característica de que lo haga “síncrono” es el uso de electroimanes rotativos para la fuente de flujo magnético y para generar potencia eléctrica. El flujo magnético en el rotor del generador causa que la salida de voltaje del estator de un generador síncrono, varíe en ángulo de fase y frecuencia en sincronismo con el rotor. Adicionalmente, si el generador síncrono está conectado a otra fuente de potencia alterna, tal como otro generador síncrono, estos logran engancharse en un paso con sus rotores en el mismo ángulo y rotando en sincronismo, enganchados por la atracción magnética de los polos del rotor y los bobinados del estator.

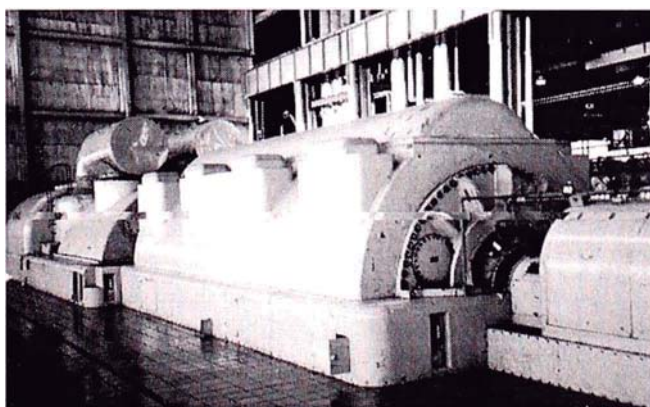
Figura 2.2 Principio de operación de un generador



Los generadores de CA requieren el paso de corriente directa DC a través de los devanados del rotor o campo principal para establecer un flujo magnético que permite que la unidad genere energía. Los generadores pueden tener excitadores rotativos o estáticos y son los que llevan la corriente continua al rotor. El excitador es una réplica en miniatura del generador principal. El excitador muchas veces está montado en el mismo eje del rotor del generador. Mientras el campo principal gira, el inducido o estator queda fijo y en el excitador el campo gira y el inducido es rotativo. Esta tensión inducida es rectificadora por diodos o conmutadores mecánicos según el tipo de excitador.

El excitador o excitatriz de CA requiere de corriente directa para su excitación. Esta excitación es suministrada mediante la rectificación de una porción de la potencia de salida del generador principal a través de un regulador de voltaje estático. La cantidad de corriente que pasa por el campo del excitador está determinado por el voltaje de CA de su salida y este a su vez controlará el voltaje de salida del generador principal. La frecuencia de un generador es el nivel de ciclos o veces que la onda de tensión y corriente se produce en un segundo. Depende de la velocidad del generador y el número de polos magnéticos de campo. Valores normales son de 60 y 50 ciclos o Hertz.

Figura 2.3 Turbogenerador a vapor



2.3.5 Partes principales de un generador

2.3.5.1 Estator: Compuesto por un núcleo de laminas aisladas de hierro silicoso, ranurado de manera que se puedan disponer bobinados de conductores de cobre aislado, y es el medio físico por donde se inducirá la tensión. Estas láminas se obtienen a través del proceso de estampado con una matriz, para luego ser apiladas y soldadas, formando un cilindro hueco donde las bobinas de cobre se insertan y aíslan de manera que se distribuyan simétricamente por todo el perímetro interior del estator. El campo magnético circula a través del estator. Las bobinas están agrupadas para las tres fases y se suman individualmente hasta que sumen el valor de tensión en los bornes del generador. El tamaño del estator está relacionado con la capacidad del generador.

2.3.5.2 Rotor: Es un electroimán rotativo que produce flujo magnético necesario para inducir la tensión. Está constituido por polos magnéticos en cantidades pares como 2, 4, 6 10, o más, estando dichos polos bobinados con conductores aislados de cobre u otro material similar. Es alimentado por la excitatriz con corriente continua. El flujo magnético que se produce varia en magnitud y en base a esta magnitud controlada se puede atender las variaciones de carga eléctrica tomada en los bornes del generador, dentro de los límites de capacidad de diseño del equipo sin que se produzcan variaciones sensibles de tensión.

2.3.5.3 Excitatriz: Es un generador pequeño que alimenta de corriente continua al campo principal del generador. Es alimentado a su vez por el regulador de voltaje. Este pequeño generador recibe alimentación del generador y la tensión inducida alterna es convertida a corriente directa a través de conmutadores mecánicos que se conectan con carbones o escobillas. Esta corriente rectificadā se dirige al campo principal o rotor por medio de anillos rozantes permitiendo

la generación de campo principal para la inducción de tensión. La alimentación de la excitatriz deviene normalmente de los bornes de salida del mismo generador, pero la corriente es regulada a través del regulador de voltaje. Las excitatrices modernas ya se encuentran montadas sobre el mismo eje del rotor y ya no usan escobillas y conmutadores sino utilizan diodos rectificadores

2.3.5.4 Regulador de voltaje: Es un dispositivo electrónico o electromecánico que tiene la función de controlar la tensión del generador emitiendo pulsos y regulando el paso de corriente de excitación al campo principal. En base a la cantidad de carga que se toma, el regulador de voltaje entregará más o menos tensión directa al campo de la excitatriz que a su vez alimenta con corrientes amplificadas al campo.

2.3.6 Turbina a vapor como motor primo

Es un elemento motriz que proporciona la rotación y el torque necesario para que un generador u otro equipo conectado puedan tomar carga. La turbina a la que se refiere este trabajo es la de vapor cuyo principio de operación se basa en el ciclo termodinámico de Rankine. La velocidad de la turbina debe ser constante a pesar de las variaciones de carga de manera que la frecuencia producida en el generador sea constante 60 o 50 Hz, de acuerdo a la frecuencia del sistema. Para esto cuenta con el gobernador de velocidad que permite controlar las revoluciones del motor a través de apertura o cierre del paso de vapor. El vapor ingresa a alta temperatura y entalpía, saliendo del sistema a baja temperatura y entalpía respectivamente.

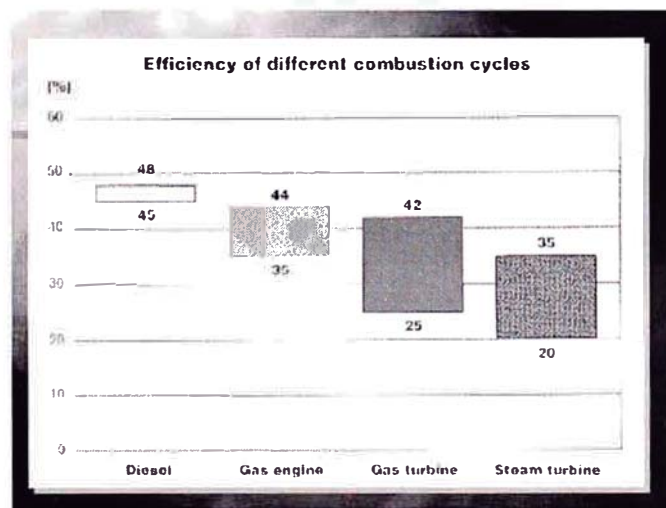
Debido a que la turbina produce una rotación de muy alta velocidad en el eje, alrededor de 7200 revoluciones por minuto o RPM esta deber ser reducida a la velocidad nominal del generador la cual es en este caso 3600 RPM. Este cambio de velocidad se realiza a través de una caja reductora de velocidad, que consiste en un tren de engranajes, que disminuye las revoluciones y aumenta el

torque. La eficiencia termodinámica de esta maquina es relativamente baja, con relación a otras maquinas térmicas como las turbinas a gas o los motores reciprocantes. El cálculo de la eficiencia es el resultado de la siguiente formula:

$$\text{Efic\%} = \frac{\text{Kw Salida al eje}}{\text{Kw Potenciales (entrada de vapor)}}$$

Las turbinas a vapor tienen eficiencias situadas entre el 20 y el 35%, es decir que si entre una energía potencial de 1000KW en combustible al caldero, la energía eléctrica que se obtendrá en los bornes del generador es de 200 a 300 Kw. En el caso del presente trabajo el motor primo es una turbina a vapor cuya operación está basada en el ciclo termodinámico de Rankine.

Figura 2.5 Eficiencias de los diversos tipos de generadores



2.3.7 El sistema de excitación de un generador

El sistema de excitación de un generador está compuesto por la excitatriz rotativa y el regulador de voltaje. La excitatriz es un pequeño generador de corriente alterna³ cuya salida es rectificadora a través de conmutadores para corriente directa (DC) requerido por el campo del generador para producir tensión. El regulador de tensión, que es parte del sistema controla la corriente que va al campo en forma automática o manual.

Cuando estos sistemas continúan siendo usados más allá de su tiempo de vida útil, la **excitatriz estática** se convierte en la alternativa más favorable. La excitatriz estática es un tablero de estado sólido con elementos rectificadores de potencia, sistemas de control y regulación de tensión y alimentación del campo del generador y que reemplaza la excitatriz rotativa antigua.

³ Corriente alterna toma la forma sinusoidal

Capítulo III

PROCESO DE TOMA DE DECISIONES

3.1 Planteamiento del problema

El desarrollo de este proyecto de cambio de los sistemas de excitación obedece a una serie de problemas complejos y permanentes que se presentan en el generador y su unidad de excitación. A continuación se destacarán los principales problemas que se presentan en la operación de un generador eléctrico con escobillas

3.1.1 Obsolescencia del sistema de excitación de un generador:

- Regulador electromecánico: La unidad de regulación de tensión electromecánica responde a una tecnología de hace 70 años y que estuvo vigente hasta finales de los 60s. Implica sistemas complejos de mecanismos y piezas de metal que permitían un control de la tensión y excitación del generador.
- Excitador rotativo con escobillas: Los diseños de los excitadores con escobillas responden similarmente a diseños de equipos correspondientes a la década del 20 o 30 hasta finales de los 60s. Posteriormente los equipos han sido reemplazados por generadores con excitatrices sin escobillas y que usan diodos rectificadores para alimentar al campo directamente

- Interruptores de excitación: Estos equipos desconectan la corriente directa que alimenta al campo principal desde la excitatriz. El motivo de uso de estos interruptores es de eliminar corrientes altas de retorno que se producen en el campo cuando se desconecta el generador. Para eliminar esa corriente se dispone de un resistor de descarga, instalado en paralelo al campo y se activa cuando el interruptor se abre. Esta compleja configuración requiere de permanente supervisión, mantenimiento y es propensa a fallas.

3.1.2 Carencia de mano de obra especializada y repuestos

- Equipos obsoletos de compleja operación mecánica: Dada la complejidad debido a los mecanismos de relojería de estos equipos de control, se requiere de mano de obra muy especializada, la cual prácticamente no existe, puesto que los equipos fueron fabricados mayormente entre los años 50s.
- No hay disponibilidad de repuestos, se tienen que adaptar: Debido a la obsolescencia, lo que implica muchas veces improvisaciones de adaptación de partes o paralización definitiva de la máquina, hasta encontrar con mucha dificultad algún reemplazo.

3.1.3 Ineficiencia del sistema de generación

- Las excitatrices rotativas tienen de 70 a 80% de eficiencia, mientras que los sistemas de excitación de estado sólido, llegan a 95% o más inclusive. Esta mayor eficiencia contribuye a un mayor consumo de combustible o vapor y no se pueden aprovechar más kilovatios de potencia en el generador.

3.1.4 Limitaciones tecnológicas

- Capacidad nula de integración a un sistema de control automatizado SCADA⁴, donde los equipos obsoletos no están en condiciones de generar señales las que remotamente puedan ser controlados
- Limitación de funciones como: Control de Vares, Factor de potencia, limitación de excitación: Estos equipos antiguos requieren asistencia para operar. Para poder controlar el factor de potencia en un generador conectado con la red eléctrica, debe ser ajustado por el operador constantemente
- Requieren reóstatos: Los reóstatos son elementos cuya función es regular el paso de corriente de campo y generan pérdidas eléctricas.
- Problemas asociados con los interruptores de campo DC: Los interruptores de campo requieren de permanente mantenimiento y es posible que puedan fallar cuando se requiera su actuación

3.1.5 Baja calidad de la energía generada

- Poca precisión de los reguladores electromecánicos: Los sistemas obsoletos trabajan con sistemas de dilatación de metales y sistemas pendulares haciendo que pase corriente al campo con poca precisión. Esto genera que la respuesta sea aproximada y no exacta.
- Respuesta lenta: El sistema al ser lento, es posible que no tenga una adecuada recuperación de tensión, haciendo que el conjunto generador sea lento con relación a otras máquinas similares.

3.1.6 Costos elevados de mantenimiento

- Desgaste y cambio permanente de carbones: Las excitatrices con escobillas requieren el uso de muchos carbones, los cuales se desgastan con el rozamiento con los conmutadores. Esto deviene en paralizaciones

⁴ SCADA: Sistema automático de adquisición de datos y control

constantes para cambio de carbones, así como posibles fallas de pérdida de excitación por mal contacto

- Mantenimiento de los conmutadores: Las delgas de los colectores están sujetas a desgaste y pueden generar desconexión con los carbones. La reparación y/o reconstrucción es muy costosa
- Reparación y calibración frecuente del regulador de tensión.
- Costos de mano de obra especializada: El mantenimiento de estos equipos implica disponer permanentemente de personal especializado para labores de mantenimiento

3.2 Alternativas de solución

3.2.1 Sistema digital de excitación estática:

Los sistemas digitales de excitación estática están compuestos por un tablero que soporta la unidad digital de control y regulación de tensión, el transformador de potencia que a su vez alimenta al puente de rectificadores. Es un equipo de tecnología de punta y permite tener un elevado nivel de precisión, manejo de información y respuesta muy rápida a los cambios en las condiciones de operación de un generador eléctrico.

Los sistemas de excitación estáticos digitales reemplazan la operación total de la excitatriz con escobillas, los interruptores de campo y los reguladores automáticos y manuales electromecánicos, obsoletos, que requieren de permanente mantenimiento. Al ser equipos digitales, las señales analógicas de entrada de voltaje en los bornes del generador son procesadas a señales digitales binarias, las que van a un microprocesador que ya está programado y configurado para operar a las condiciones nominales del generador. Debido a que es una unidad cuya operación incide directamente sobre un costoso equipo como el generador, es recomendable que se seleccione un fabricante de estos equipos de primer nivel con técnicos con amplia experiencia.

Entre los principales proveedores de estos equipos en el mercado mundial se distinguen los siguientes:

- Basler Electric de Estados Unidos
- Alstom de Francia
- General Electric de Brasil/EUA
- ABB de Suiza
- Va-Tech – ELIN de Austria
- Siemens de Alemania

Figura 3.1 Turbo Generador con su excitatriz Rotativa(CTCartavio)

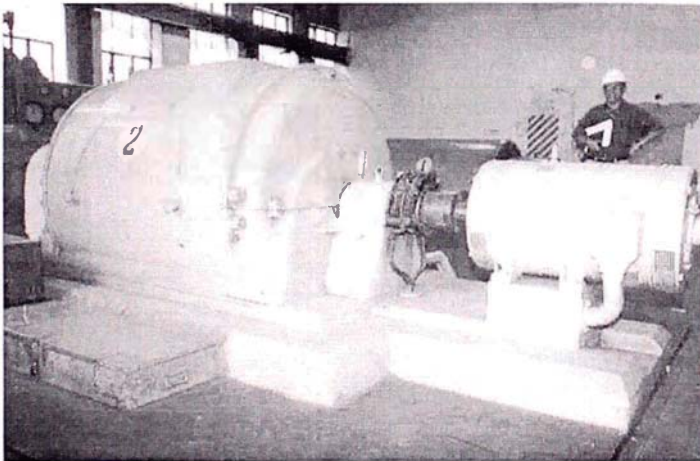
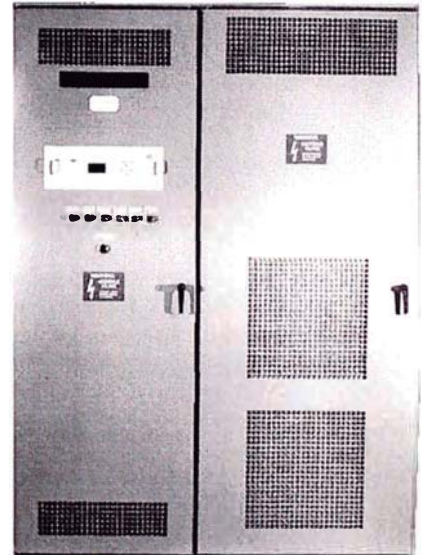


Figura 3.2 Excitatriz estática



3.2.2 Sistema digital de regulación de tensión

Esta aplicación se limita solo al cambio de las unidades de regulación de voltaje del generador, sin que se cambie el sistema rotativo de excitación con escobillas o carbones. La unidad de regulación electromecánica es retirada y reemplazada por un regulador digital automático de voltaje. Si bien hay una mejora sensible en la precisión y rapidez en el control del generador, aún se mantienen problemas operativos como el uso de carbones, debiendo existir programas permanentes de mantenimiento.

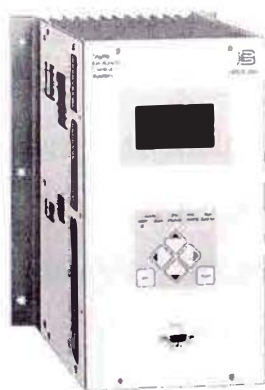


Figura 3.3
Regulador digital
de tensión

3.2.3 Excitatriz rotativa

La excitatriz rotativa puede ser reemplazada por una excitatriz nueva con escobillas o por una excitatriz sin escobillas. La primera opción simplemente es renovar el generador con una excitatriz idéntica, pero en buen estado, manteniendo todas los sistemas electromecánicos e interruptores de campo.

3.3 Metodologías de solución

La metodología de solución debe centrarse en el *“Desarrollo de un proyecto de modernización de la planta de generación eléctrica del ingenio azucarero”* y donde se tomará en cuenta los siguientes aspectos:

- El turbogenerador seleccionado es aquel que presenta el mayor índice de frecuencia de reparaciones y suministros de repuestos, pero primordialmente por el nivel de eficiencia que tiene y la mejora que se consigue al cambiar su excitador rotativo por uno de estado sólido
- Evaluación de costos operativos directos e indirectos en la gestión de energía de este equipo, así como de todas las implicancias que pueda traer una paralización intempestiva
- Pre-ingeniería y determinación de los equipos y tecnología necesaria para la implementación de este proyecto. Análisis detallado de las funciones, beneficios y mejoras técnicas
- Selección del Sistema Digital de Excitación Estática como la mayor alternativa en beneficio de costos y calidad de energía
- Determinación de los costos de inversión, implementación y análisis de beneficios, costo beneficios.
- Gestión logística de adquisición, importación y transporte
- Ingeniería, montaje electromecánico, conexiones, pruebas y puesta en marcha
- Evaluación del desempeño operativo del equipo seleccionado

3.4 Toma de decisiones

La decisión tomada es la de **aplicar el reemplazo del sistema de excitación rotativa por un sistema de excitación estática digital**. Esta toma de decisiones obedece a aspectos técnicos, económicos y normativos legales, cuyos resultados finales se presentarán en el capítulo IV del informe: Evaluación de Resultados del Proyecto.

3.4.1 Los aspectos técnicos:

- Mejora sustancial de la precisión en la operación del generador eléctrico al lograr que esté dentro del 0.25%
- Mejora sustancial en la capacidad y tiempo de respuesta ante diversas condiciones de operación
- Capacidad de operación automática para control de tensión y de factor de potencia
- Posibilidad de incorporar nuevas funciones de control y protección del generador, como protecciones de sobrevoltaje y sobre frecuencia.
- Eliminación de partes electromecánicas rotativas y sujetas a desgaste y reposición.
- Mejora de la eficiencia del sistema, es decir se pueden obtener mayores Kilovatios, consumiendo la misma cantidad de vapor
- Posibilidad de incorporación del sistema de excitación a los sistemas de automatización del usuario.

3.4.2 Aspectos económicos

- Ahorros sustanciales en compras permanentes de suministros por eliminación de carbones y porta carbones que se usaban en el excitador rotativo con escobillas
- Eliminación de tiempo de para por mantenimiento rutinario

- Reducción de potencia contratada con la empresa eléctrica distribuidora que suministra potencia y energía eléctrica que cubre el déficit
- Al mejorar la eficiencia del equipo existe un ahorro sustancial en el consumo de vapor y por consiguiente de bagazo de caña, el cual puede ser vendido a terceros
- Reducción de la posibilidad de paradas intempestivas de planta
- Otros ahorros como ingresos evitados como pérdidas de ventas, puesta en marcha del ingenio, deterioro de material prima en proceso.
- Ahorro en tiempo horas hombre por supervisión del turbo generador

3.4.3 Aspectos normativos y legales:

- La Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos define que una planta de generación eléctrica debe producir energía con variaciones no mayores de 5% en la tensión de sus bornes.

3.5 Estrategias adoptadas

Se ha determinado que un excitador estático digital tipo shunt **reemplazará** al excitador rotativo antiguo. El común denominador son las escobillas y anillos rozantes localizados en el rotor de todas las máquinas síncronas con escobillas.

3.5.1 Plan de trabajo

Permite asegurar que todas las actividades tengan una duración y orden con las otras actividades involucradas en el proyecto.

3.5.1.1 Tabla Gantt: La secuencia del proyecto se describe en la tabla Gantt, donde la duración estimada del proyecto **es** de aproximadamente 20 semanas. Dicha tabla facilita analizar la secuencia y progreso del proyecto.

3.5.1.2 Diagrama Pert: La técnica de programación en redes nos permite analizar el impacto de la duración total del proyecto, basados en el tiempo de ejecución de cada actividad y por las precedencias de las tareas. Se ha aplicado herramientas de software como el Microsoft Project 98® en lugar del tradicional cálculo manual de ruta crítica. Se destaca que en los resultados de los cuadros siguientes, prácticamente todas las actividades excepto una contribuyen a la ruta crítica del proyecto, por lo que **es** importante realizar una adecuada planificación y coordinación de las actividades involucradas **en** la gestión de este proyecto. Así por ejemplo, es vital disponer del presupuesto de inversión dentro de las fechas de adquisición. Por otro lado es recomendable que los trabajos de implementación sean llevados **en** lo posible en las **fechas** de parada de planta.

3.5.2 Detalle del plan de trabajo

3.5.2.1 Determinación de costos (sistema antiguo)

A _ Costos operativos de mantenimiento

Están compuestos por todos los costos de suministros y materiales que se usan frecuentemente para que la excitatriz rotativa opere normalmente. Debe considerarse además los costos de mano de obra de personal propio y subcontratado.

| Descripción | Cant. / año | Sub total año US\$ |
|-------------------------|-------------|--------------------|
| Carbones | 20 UN | 400.00 |
| Portacarbonos | 1 juego | 100.00 |
| Personal propio | 80 horas | 1,000.00 |
| Personal sub contratado | 80 horas | 2,000.00 |

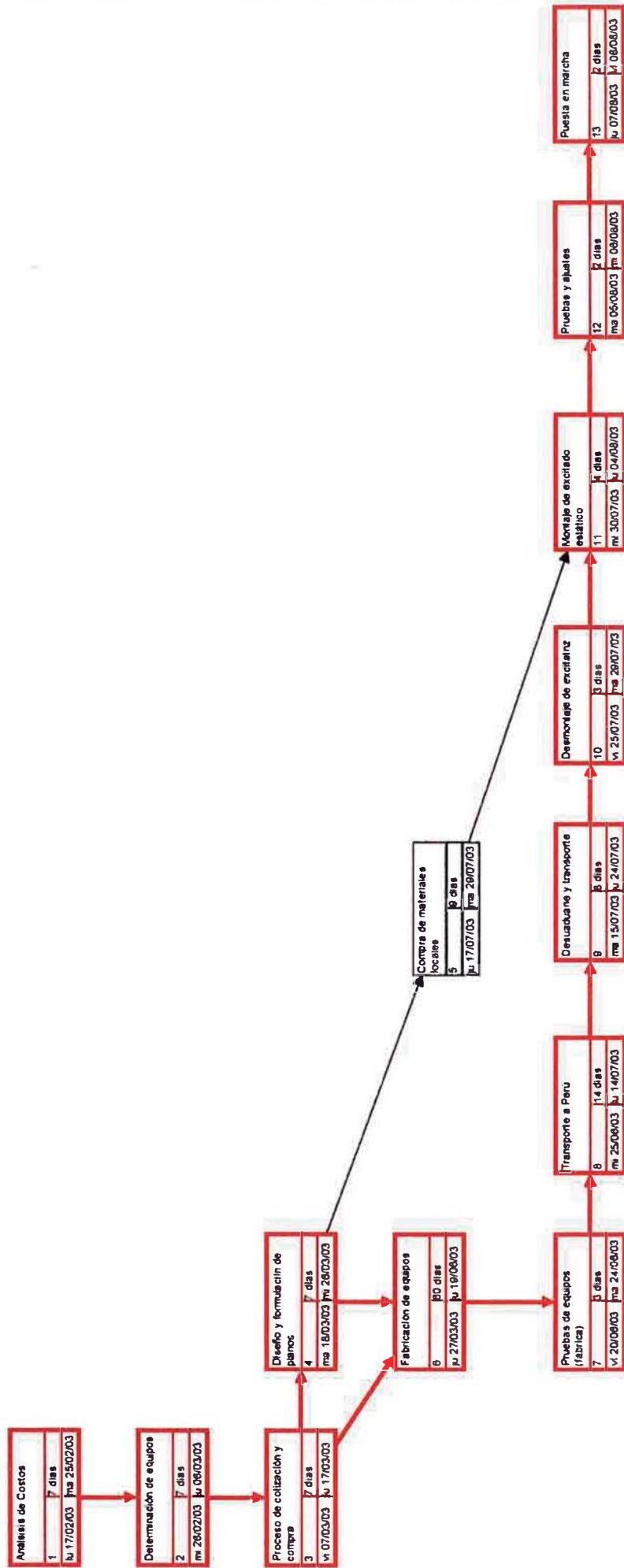
Fuente: Complejo Agroindustrial Cartavio SAA

B _ Costos de energía comprada

Hidrandina es el proveedor de energía eléctrica para abastecer la demanda eléctrica faltante en el sistema.

| Descripción | Precio US\$ |
|-------------------------|-------------|
| Potencia de punta | 9.00/KW |
| Potencia fuera de punta | 2.31/KW |
| Energía de punta | 0.045/KW-h |
| Energía fuera de punta | 0.032/KW |

PROYECTO DE MODERNIZACION DE PLANTA DE GENERACION ELECTRICA COMPLEJO AGRO INDUSTRIAL CARTAVIO TURBO GENERADOR ESCHER WYSS-OERLIKON



| Nombre | Duración |
|--------|----------|
| Id | Comienzo |
| | Fin |

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| Tareas críticas | Tareas no críticas |
| Hitos críticos | Hitos no críticos |
| Tareas de resumen críticas | Tareas de resumen no críticas |
| Subproyectos críticos | Subproyectos no críticos |
| Tareas críticas y marcadas | Tareas no críticas y marcadas |

DIAGRAMA PERT

Proyecto: cartavio
Fecha: ju 19/09/02

**PROYECTO DE MODERNIZACION DE PLANTA TERMICA DE GENERACION ELECTRICA
COMPLEJO AGROINDUSTRIAL CARTAVIO
TURBO GENERADOR ESCHER WYSS - OERLIKON**

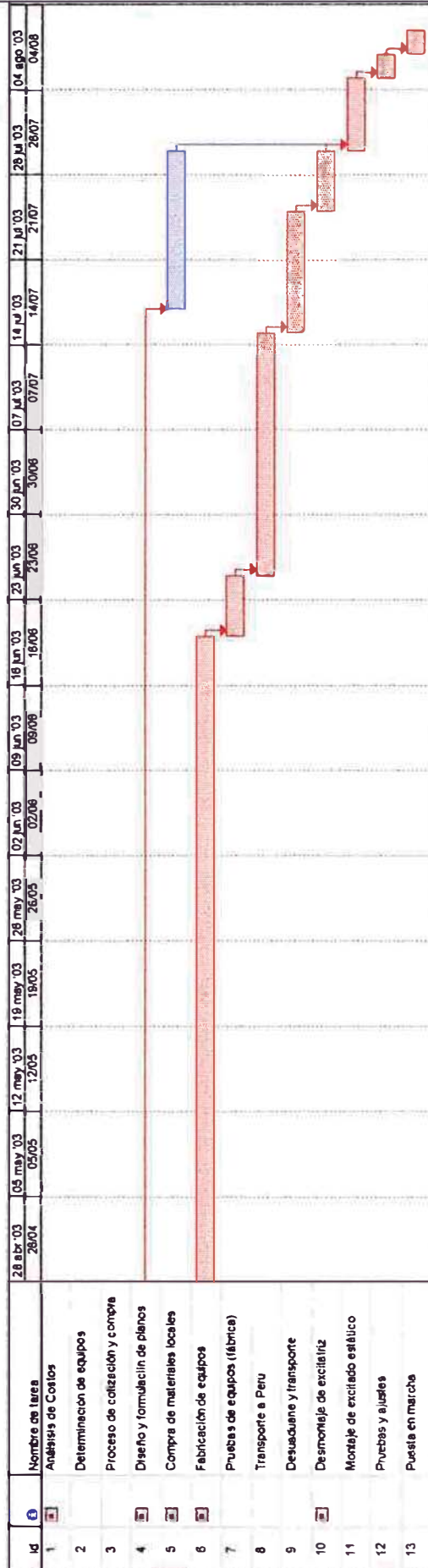
| Id | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | Predecesores | 17 feb '03 | 24 feb '03 | 03 mar '03 | 10 mar '03 | 17 mar '03 | 24 mar '03 | 31 mar '03 | 07 abr '03 | 14 abr '03 | 21 abr '03 |
|----|--------------------------------|----------|-------------|-------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | Análisis de costos | 7 días | lu 17/02/03 | ma 25/02/03 | | | | | | | | | | | |
| 2 | Determinación de equipos | 7 días | mi 26/02/03 | ju 06/03/03 | 1 | | | | | | | | | | |
| 3 | Proceso de cotización y compra | 7 días | vi 07/03/03 | lu 17/03/03 | 2 | | | | | | | | | | |
| 4 | Diseño y formulación de planos | 7 días | ma 18/03/03 | mi 28/03/03 | 3 | | | | | | | | | | |
| 5 | Compra de materiales locales | 9 días | ju 17/07/03 | ma 28/07/03 | 4 | | | | | | | | | | |
| 6 | Fabricación de equipos | 80 días | ju 27/03/03 | ju 19/08/03 | 4,3 | | | | | | | | | | |
| 7 | Pruebas de equipos (fábrica) | 3 días | vi 20/08/03 | ma 24/08/03 | 6 | | | | | | | | | | |
| 8 | Transporte a Perú | 14 días | mi 25/08/03 | lu 14/07/03 | 7 | | | | | | | | | | |
| 9 | Desdusarme y transporte | 8 días | ma 15/07/03 | ju 24/07/03 | 6 | | | | | | | | | | |
| 10 | Desmontaje de excitatriz | 3 días | vi 25/07/03 | ma 29/07/03 | 9 | | | | | | | | | | |
| 11 | Montaje de excitado estatico | 4 días | mi 30/07/03 | lu 04/08/03 | 10,5 | | | | | | | | | | |
| 12 | Pruebas y ajustes | 2 días | ma 05/08/03 | mi 06/08/03 | 11 | | | | | | | | | | |
| 13 | Puesta en marcha | 2 días | ju 07/08/03 | vi 08/08/03 | 12 | | | | | | | | | | |

Proyecto cartavio
Fecha: vi 20/05/02

Tarea Hilo Division
Tarea critica Tarea resumida Tareas externas
Progreso Resumen Resumen del proyecto

Página 1

**PROYECTO DE MODERNIZACION DE PLANTA TERMICA DE GENERACION ELECTRICA
COMPLEJO AGROINDUSTRIAL CARTAVIO
TURBO GENERADOR ESCHER WYSS - OERLIKON**



| | | | |
|---------------|----------------|------------------------|----------------------|
| Tarea | Hilo | Tarea crítica resumida | División |
| Tarea crítica | Resumen | Hilo resumido | Tareas externas |
| Progreso | Tarea resumida | Progreso resumido | Resumen del proyecto |

3.5.2.2 Ingeniería: El proceso de ingeniería considera recopilación de datos, especificaciones técnicas, criterio de selección del excitador estático y diseño del sistema

A_ Especificaciones generales

La información esencial para dimensionar un sistema de excitación estática es de disponer la mayor cantidad de datos del generador. La información se obtiene fácilmente de la placa del generador u observando instrumentos de medición de la casa de fuerza cuando el generador está a plena carga y a factor de potencia nominal. El equipo deberá ser suministrado dentro de un tablero auto soportado debidamente diseñado y acondicionado para proteger los componentes electrónicos y de fuerza del medio ambiente. En ANEXOS se indica los requerimientos operativos del equipo para cumplir con un óptimo desempeño del sistema digital de excitación en un generador que se conecta al campo, a través de anillos deslizantes.

El sistema de excitación diseñado trabajará directamente sobre el campo principal del generador y operará con controles, limitadores y dispositivos de protección para salvaguardar el generador. La unidad de control deberá ser provista con un software basado en MS Windows® para una fácil entrada de datos y puesta en marcha del sistema de excitación. Deberá tener vínculos de comunicaciones con un protocolo adecuado para control, medición y anunciación. La información del generador es como sigue:

- a. Potencia de generador : 2500 KW
- b. Tensión del generador : 2,400 VAC
- c. Factor de potencia : 0.80
- d. Velocidad en RPM : 3,600 RPM
- e. Corriente de campo del generador a plena carga : 271 ADC
- f. Tensión del campo del generador a plena carga : 81 VDC

Una vez que los datos se han obtenido, se puede seleccionar el tamaño y tipo de excitador estático. Típicamente las tensiones de las excitaciones estáticas siguen cercanamente los valores nominales de excitación según la norma NEMA⁵ para excitatrices rotativas. Estas incluyen 63, 125, 250, 375 voltios y 500 VDC para máquinas muy grandes.

B_ Selección del equipo

El equipo a ser seleccionado responde a los datos registrados de la placa del generador y sobre la base de los parámetros eléctricos que debe entregarse al sistema de excitación estática, tales como tensión, uso de transformadores.

Deberá tomarse en cuenta que el sistema de excitación estático que reemplazará la excitatriz rotativa debe cubrir en forma suficiente las funciones básicas de excitación, regulación de tensión y control, sino también las funciones complementarias, logrando que estos beneficios técnicos se complementen con un efectivo beneficio económico.

Por la naturaleza del trabajo y la relación del suscrito con este tipo de aplicaciones tecnológicas se ha determinado un sistema de excitación estática digital modelo Basler SSE125-33, el cual describe un excitador estático de las siguientes características:

- Tensión de excitación nominal : 125 VDC
- Corriente nominal de excitación : 264 ADC
- Potencia : 33KW
- Resistencia mínima : 0.473 Ohmios

⁵ Norma americana para la fabricación de equipos eléctricos

Tabla 3.1 Datos de placa del turbo generador Escher Wyss – CT Cartavio

TURBINA

ESCHER WYSS RAVENSBURG
POTENCIA N = 2707 Kw
VELOCIDAD DE TURBINA = 7200/3600 RPM
VAPOR VIVO = 575 Psig/700° F
VAPOR CONTROLADO = 20 Psig/200° F

GENERADOR A-C

OERLIKON ENGINEERING Type= 13s-170.2
Y = 2400V 777 A
3230 KVA COS = 0.8
3600 RPM 60 c/s
EXCIT = 81 V 271 A

EXCITADOR DC

OERLIKON ENGINEERING Type= 3157 av 4-NR
100 V 340 A
3600 RPM 34 KW
TENSIÓN EXCITACIÓN X
RESISTENCIA DE CAMPO = 8 Ohm
P 21

REGULADOR DE TENSION

OERLIKON ENGINEERING Type= R1
Un = 100 V F = 60 In = 5.7 – 0.7 A
14 Ohm VA = 25

REGULADOR MANUAL DE TENSIÓN

V = 18-92
A = 0.6-5.7
(70)64+6 Ohm
Type = RSV11B

CAJA REDUCTORA

KRVPP
Nr = 4976 N = 3682 ps n = 7900/3583

C Diseño

Adicional a los datos de placa del generador para la selección de la excitación estática deberá analizarse los planos originales del equipo, para determinar las modificaciones y materiales necesarios.

Sistema actual

Figura 3.2 *Turbo generador Escher Wyss - Oerlikon a ser modernizada
Planta Térmica Complejo Agroindustrial Cartavio SAA*

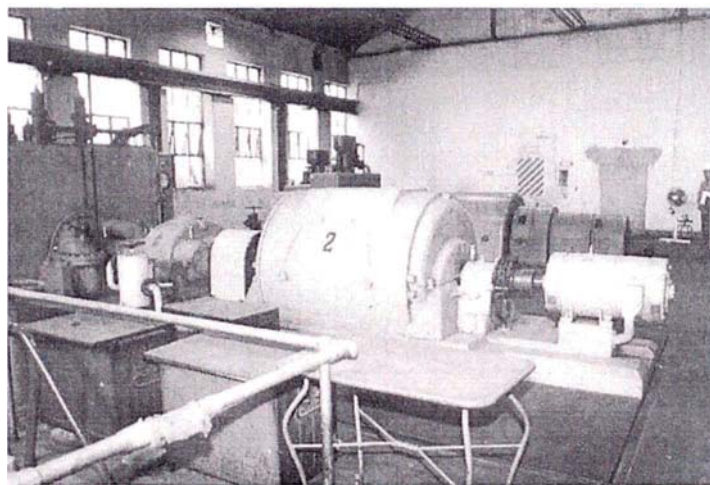


Figura 3.3 Detalle de la excitatriz rotativa

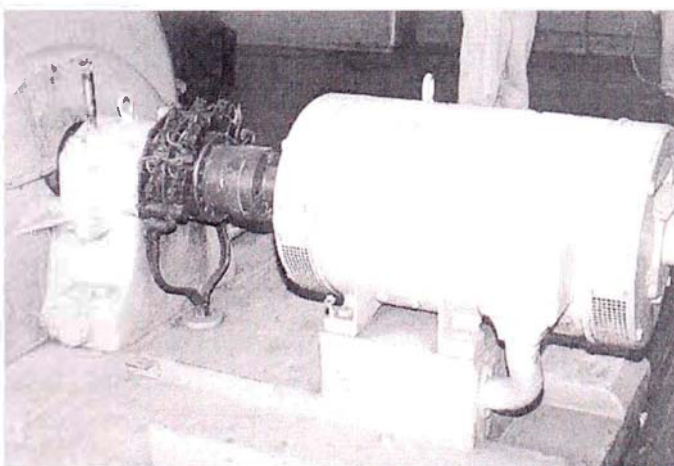


Figura 3.4 Detalle de los carbones

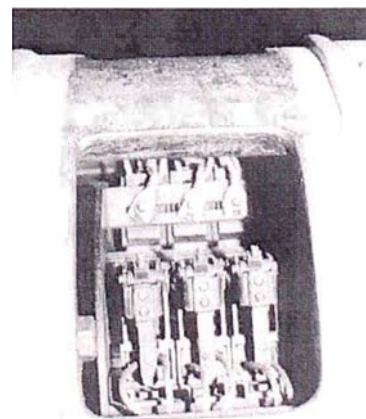
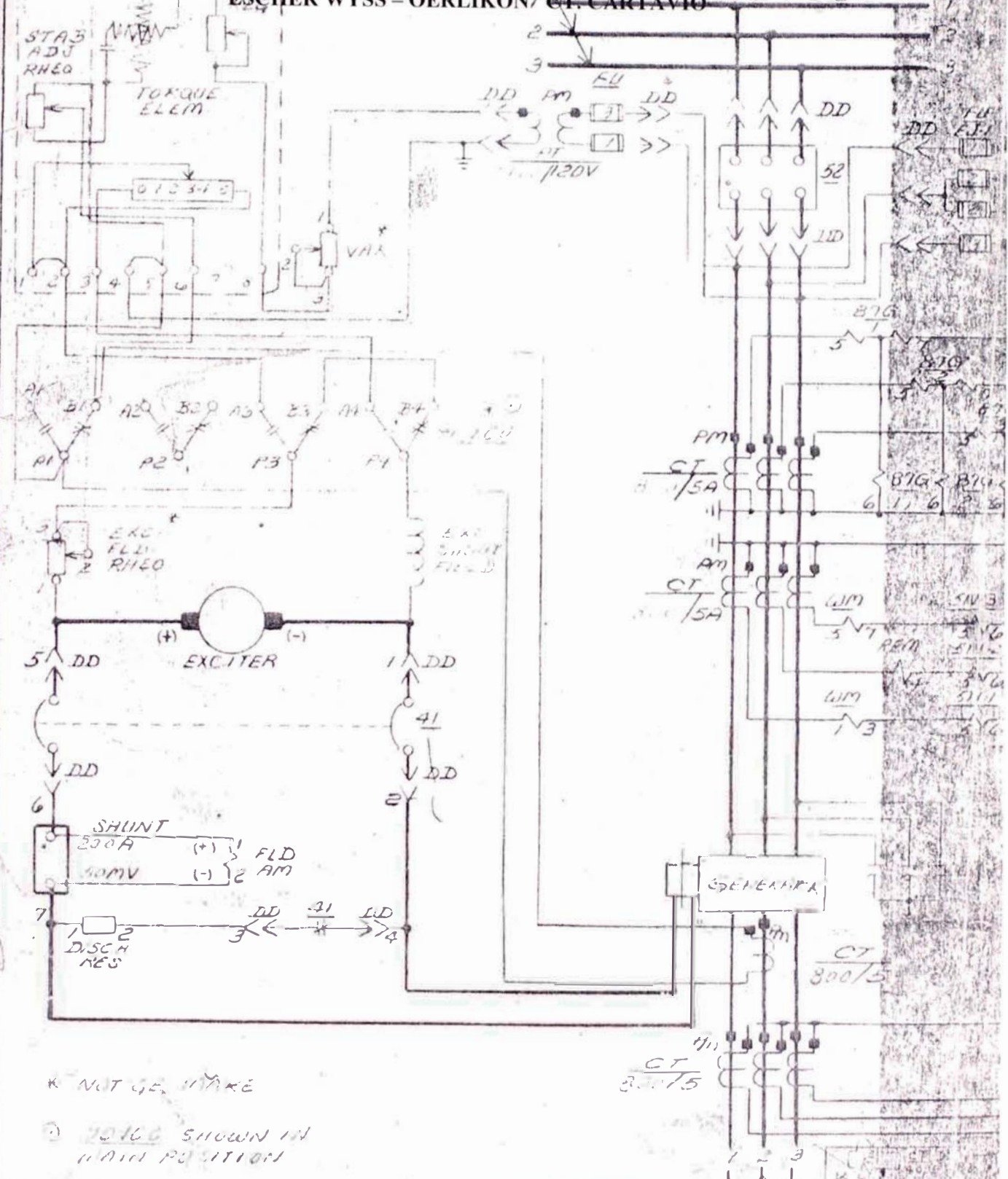


DIAGRAMA ELECTRIC DEL TURBO GENERADOR
 ESCHER WYSS - OERLIKON / CT. CARTAVIO



* NOT TO SCALE
 (D) TO BE SHOWN IN MAIN POSITION
 X INDICATES THE POSITION OF THE CONTACTS

Proyecto: Considerando los cambios

Plano modificado para instalar en nuevo excitador estático
en generador Oerlikon, Figura 3.5

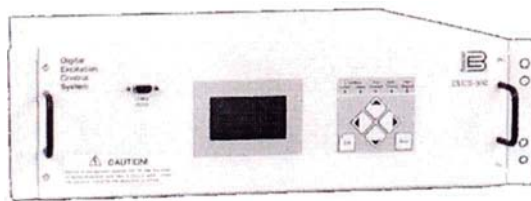
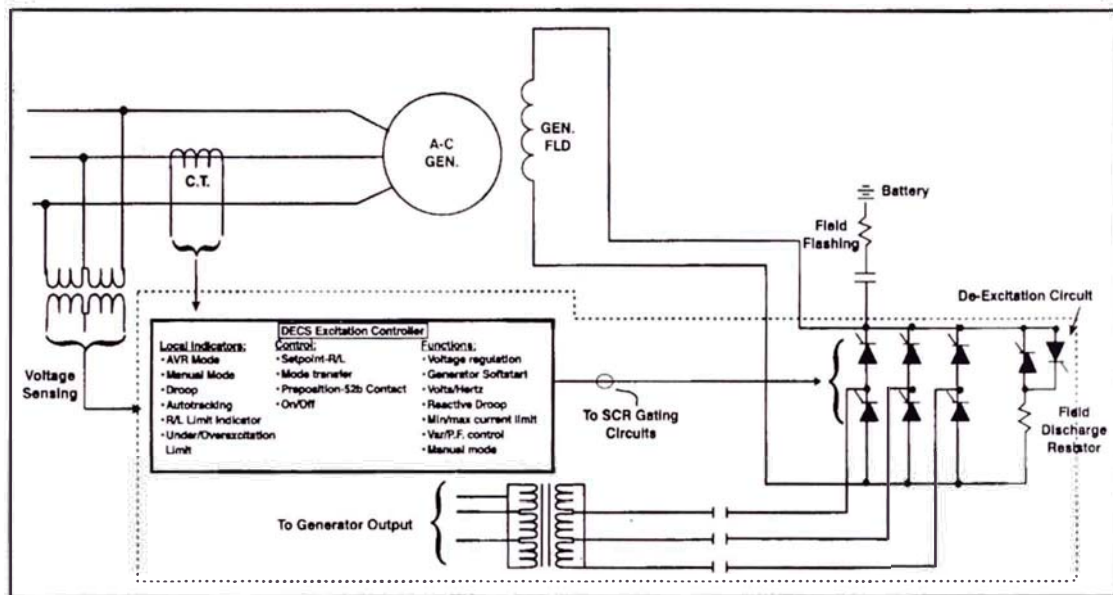


Figura 3.6 Unidad de control DECS300

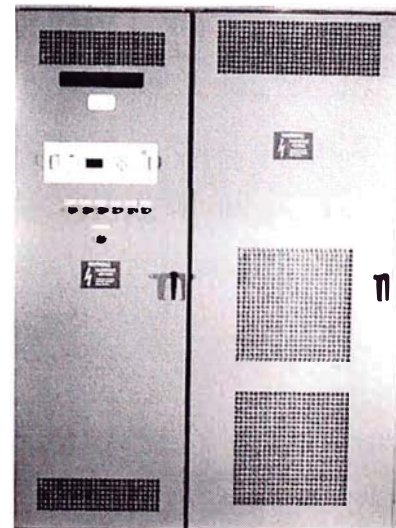


Figura 3.7 Sistema de Excitación Estática de control SSE-125-33 DECS300

3.5.2.3 Proceso de adquisición

El proceso de adquisición se inicia con el requerimiento del equipo por parte de la Superintendencia de Fábrica al departamento de logística, quienes contactan al representante o fabricantes de los equipos solicitados. Se produce luego una cotización donde se indican el precio, características del suministro, tiempo de entrega y condiciones comerciales. Posteriormente se analizan las ofertas y de acuerdo a las condiciones de pago acordadas se procede a la compra de los equipos. Normalmente por el peso del tablero que tiene cerca de 400 Kg, estos equipos vienen adecuadamente embalados y son transportados por vía marítima. Una vez aceptada la oferta y negociado el pago, el fabricante inicia el desarrollo de los planos del equipo, el cual al cabo de dos semanas es presentado al cliente para su aprobación. Una vez aprobado se inicia la fabricación detallada del equipo para el cliente, el cual tomará cerca de 8 semanas.

3.5.2.4 Fabricación del equipo

Normalmente por la tecnología de punta de estos equipos, la fabricación se realiza en el extranjero y toma desde la recepción de la orden cerca de 10 semanas. El fabricante envía al cliente los planos de diseño al cabo de las 2 primeras semanas para que sea aprobado y se haga el montaje final del equipo. Muchos componentes son subcontratados y otros inician su fabricación desde el mismo momento de la orden de compra.

3.5.2.5 Montaje electromecánico

A_ Desmontaje de equipos obsoletos: De acuerdo a los planos de conexión deberá retirarse primero las conexiones de la Excitariz rotativa. No es necesario retirarla físicamente puesto que la excitatriz contribuye a que el sistema tenga el mismo momento de inercia que se ha considerado en el diseño y esto repercute en la estabilidad de la velocidad del turbogenerador.

Deberá desconectarse todos los cables que van y vienen de la excitatriz rotativa, así como debe retirarse el regulador de voltaje antiguo y su regulador manual. Si el tablero de control contiene otros elementos como los interruptores de fuerza e instrumentos de medición, será necesario habilitar un espacio para la instalación del nuevo tablero de excitación. Dicha habilitación incluye la construcción de cimientos para el anclaje, canaletas para los conductores y sistemas de puesta a tierra.

B_ Montaje de los equipos nuevos: El montaje electromecánico consiste en la instalación de tablero que contiene el Sistema de Excitación Estático para reemplazar la excitatriz rotativa. La alimentación del tablero es por desde los bornes del generador, siendo el equipo alimentado a 2400 Voltios. A la salida de la Excitatriz Estática se conecta al campo principal o rotor a través de los anillos rozantes del eje, por donde pasa la corriente de excitación (DC). Asimismo deberá cablearse todas las señales de control del equipo y de alimentación auxiliar.

C_ Pruebas y puesta en marcha: La unidad de control y regulación digital DECS300 debe ser configurada usando el software propietario del equipo, el cual cuenta con un menú que orientan al usuario a seleccionar los parámetros correctos de operación del generador, así como registrando los datos correspondientes al generador y sus equipos auxiliares como transformadores de tensión, de corriente, etc. Finalmente se arranca el turbogenerador y se prueba el desempeño del generador ante condiciones estables y transitorias, es decir con cargas fijas y variables, para lo cual se harán los últimos ajustes antes de la finalización del trabajo. Como tarea final se puede hacer mediciones para generar reportes estadísticos que confirmen las expectativas de mejoramiento en el desempeño del generador eléctrico.

Capítulo IV

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Evaluación técnica

- Aumento de la capacidad del generador en 6 KW a raíz de la mejora de la eficiencia del sistema de excitación
- Se eliminan bobinados al retirar la Excitariz rotativa, lo cual implica mucho mejor respuesta del generador
- Eliminación del polvo de carbón que se produce en la conmutación de las escobillas y que causan sobrecalentamiento del estator
- Se eliminan problemas potenciales de los conmutadores debido al chispeo y daño de aislamiento causado por el polvo de carbón
- Se elimina el mantenimiento de las escobillas o carbones, el cual es bastante dificultoso de realizarlo adecuadamente
- Eliminación de partes obsoletas electromecánicas tales como el regulador de voltaje automático y manual
- Eliminación del interruptor de campo que opera en corriente continua, el cual siempre creó problemas operativos (atascamiento)
- El equipo puede ser supervisado a través de un sistema de automatización para que se pueda implementar procedimientos remotos de secuencias de arranque, control operativo y parada.

- Se logra una rápida recuperación de voltaje lo que mejora la coordinación de los relés de protección eléctrica, evitando desconexiones innecesarias
- Se requerirá de menor personal de mantenimiento, como el especializado en las máquinas con sistemas antiguos electromecánicos y rotativos
- Se dispone de la capacidad de registro de datos y herramientas de software disponibles con los reguladores/excitadores digitales para simplificar problemas de operación y desarrollar pruebas periódicas de desempeño del generador.
- Reducción de tiempo de cambio de escobilla de 80 horas anuales a 8 horas anuales, solo para el cambio de escobillas de anillos rozantes del campo principal, donde se usa personal permanente.

4.2 Evaluación económica y financiera

4.2.1 Costos y beneficios

Costos de inversión

| | | |
|---------------------------|---|----------------|
| Costo del equipo | : | US\$ 39,500.00 |
| Costo de instalación | : | US\$ 6,000.00 |
| Materiales de instalación | : | US\$ 2,000.00 |
| | | |
| Costo total | : | US\$ 47,500.00 |

Costos operativos (sistema antiguo)

| | | |
|--|---|---------------|
| Ahorro de compra de energía adicional $17.5\% \times 34\text{KW} \times \text{US\$ } 0.045 \times 8760 \text{ horas}$ | : | US\$ 2,345.00 |
| | | |
| Ahorro de compra de potencia adicional $17.5\% \times 34\text{KW} \times \text{US\$ } 9.00 \times 12 \text{ meses}$ | : | US\$ 642.00 |

Ahorros

| | | |
|--|---|----------------------------|
| Poder calorífico del bagazo | : | 8280 BTU /libra seca |
| Producción de caldero | : | 50 TM / Hr |
| Eficiencia de caldero | : | 55 % |
| Eficiencia de turbina | : | 35 % |
| Rendimiento de caldera 17 4136 kpa (600 PSIG) | : | 1.9289 T vapor / T bagazo |
| Ahorro de potencia | : | 6 KW |
| Ahorro de vapor | : | 0.02 Ton/Hr |
| Ahorro de bagazo final $0.02 \text{ Ton/H} \times 8760 \text{ horas} \times 0.52$ | : | 91 TM/año |
| Costo de oportunidad | : | 55 gl petróleo / TM bagazo |
| Precio de petróleo residual | : | US\$ 0.70 x gl |
| Ahorros por bagazo $\text{US\$ } 0.70/\text{gl} \times 55 \text{ G/Tm} \times \text{US\$ } 91 \text{ TM}$ | : | US\$ 3,503.00/año |
| Ahorros por mantenimientos típicos | : | US\$ 3,000.00/año |
| Ahorros en materiales de mantenimiento : | : | US\$ 500.00/año |
| | | |
| Costo de potencia contratado HP Por paralización de máquina $1000 \text{ KW} \times \text{US\$ } 9.00/\text{KW} (*)$ | : | US\$ 9,000.00/año |

(*) La turbina 1 abastece normalmente 1500 KW

Tabla 4.1

Escenario 1: Resumen de beneficios Con ahorro de compra energía y potencia

| Actividad | MontoUS\$/anual |
|--|------------------------|
| Ahorro de energía comprada | 2,345.00 |
| Ahorro de potencia comprada | 642.00 |
| Ahorros en mantenimientos típicos anuales | 3,000.00 |
| Ahorro en materiales | 500.00 |
| Ahorro potencial en KW contratados (1) adicionales (como potencia reserva) | 9,000.00 |
| Sub total beneficios anuales potenciales | 15,487.00 |

Tabla 4.2

Escenario 2: Resumen de beneficios por venta de bagazo disponible

| Actividad | MontoUS\$/anual |
|--|------------------------|
| Ahorros por venta de bagazo | 3,503.00 |
| Ahorros en mantenimientos típicos anuales | 3,000.00 |
| Ahorro en materiales | 500.00 |
| Ahorro potencial en KW contratados (1) adicionales (como potencia reserva) | 9,000.00 |
| Sub total beneficios anuales potenciales | 16,003.00 |

(1) Considerando la paralización del equipo antiguo obsoleto por fallas y/o operaciones de mantenimiento y/o reparación.

Observaciones

- Los costos de mantenimientos típicos han sido provistos por Complejo Agroindustrial Cartavio considerando la programación de personal especializado y contratistas así como presupuesto de compras de suministros.
- Los ahorros de materiales se reflejan en la reducción casi total de la compra de carbones, necesitándose solo para la conexión a los anillos rozantes del rotor.
- El escenario 1 refleja el ahorro de potencia contratada por aumento de la potencia del generador en 6KW, lo cual implica reducción de compra de potencia y energía.
- El escenario 2 destaca el beneficio por ahorro por venta de bagazo a la empresa Trupal SA quienes pagan 55 galones de petróleo por cada TM de bagazo. El aumento de la eficiencia del generador por el cambio produce un ahorro de 91TM anuales de bagazo.

4.2.4 Análisis Financiero

4.2.2.1 TIR: La evaluación económica y financiera se ha realizado considerando los dos escenarios planteados. Para la evaluación económica se ha definido analizar el proyecto tomando en cuenta una tasa de descuento de 12%, mientras que para el análisis financiero se ha convenido trabajar con una tasa de descuento del 30%. Los resultados son bastante atractivos para la realización del proyecto, puesto que para ambos casos el TIR económico es de 30.29% y 31.51% para cada caso, los cuales están muy por encima que la tasa de descuento que es de 12%. Esto implica que el retorno de la inversión es bastante alto.

El análisis financiero indica que es atractivo financiar la operación a través de préstamos con alguna entidad financiera, puesto que el TIR financiero es más alto que el costo de capital, estando en un nivel de 41.60% y 44.12% para cada caso y donde se consideró un COK financiero de 30%. Por otro lado queda claro que la inversión se paga sola al cabo de cuatro años.

4.2.2.2 VAN: El valor actual neto de las dos alternativas considerando la inversión es mayor que cero, lo que significa que el valor presente de los beneficios netos en el tiempo 0 es mayor que el valor de la inversión. Para ambos casos los niveles de VAN son muy similares.

4.2.2.3 B/C. El análisis de Beneficio/Costo es suplementario al análisis de TIR y VAN pero demuestran que para ambos casos es mayor 1, por lo que es viable la inversión. El índice B/C promedio es de 1.84/1.9 en cada caso

EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA

ESCENARIO 1: Con ahorro de potencia contratada

FLUJO ECONOMICO Y FINANCIERO

| RUBROS | AÑO 0 | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 | AÑO 9 | AÑO 10 |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| INVERSION | - 47,500.00 | | | | | | | | | | |
| Ahorro en energía comprada | | 2,345.00 | 2,345.00 | 2,345.00 | 2,345.00 | 2,345.00 | 2,345.00 | 2,345.00 | 2,345.00 | 2,345.00 | 2,345.00 |
| Ahorro en potencia comprada | | 642.00 | 642.00 | 642.00 | 642.00 | 642.00 | 642.00 | 642.00 | 642.00 | 642.00 | 642.00 |
| Ahorros de mantenimientos típicos anuales | | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 |
| Ahorro en materiales | | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 |
| Ahorro potencia en KW contratados | | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 |
| Flujo Economico | - 47,500.00 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 |
| Prestamo | 30,000.00 | | | | | | | | | | |
| Intereses | | 5,100.00 | 4,372.92 | 3,522.25 | 2,526.95 | 1,362.46 | 0.00 | - | - | - | - |
| Amortiz. Principal | | 4,276.92 | 5,003.99 | 5,854.67 | 6,849.96 | 8,014.46 | - | 0.00 | - | - | - |
| Flujo Financiero | - 17,500.00 | 6,110.08 | 6,110.08 | 6,110.08 | 6,110.08 | 6,110.08 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 | 15,487.00 |

| | | | |
|---|-----|------|----------|
| COSTO ECO (COK ECO) T.D. | 12% | CAUE | 8,406.75 |
| COSTO FINANCIERO (COK FINA) T.D. | 30% | | |

| Resultados escenario 1 | Económico | Financiero |
|-------------------------------|-----------|------------|
| VAN (Valor actual neto) | 40,005.00 | 7,540.54 |
| TIR (Tasa interna de retorno) | 30.29% | 41.60% |
| BIC (Beneficio Costo) | 1.84 | |

ESCENARIO 2: Con ahorro de bagazo (venta a Trupal)

FLUJO ECONOMICO Y FINANCIERO

| RUBROS | AÑO 0 | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 | AÑO 9 | AÑO 10 |
|-----------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| INVERSION | - 47,500.00 | | | | | | | | | | |
| Ahorros por venta de bagazo | | 3,503.00 | 3,503.00 | 3,503.00 | 3,503.00 | 3,503.00 | 3,503.00 | 3,503.00 | 3,503.00 | 3,503.00 | 3,503.00 |
| Mantenimientos típicos anuales | | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 | 3,000.00 |
| Ahorro en materiales | | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00 |
| Ahorro potencia en KW contratados | | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 | 9,000.00 |
| Flujo Economico | - 47,500.00 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 |
| Prestamo | 30,000.00 | | | | | | | | | | |
| Intereses | | 5,100.00 | 4,372.92 | 3,522.25 | 2,526.95 | 1,362.46 | 0.00 | - | - | - | - |
| Amortiz. Principal | | 4,276.92 | 5,003.99 | 5,854.67 | 6,849.96 | 8,014.46 | - | 0.00 | - | - | - |
| Flujo Financiero | - 17,500.00 | 6,626.08 | 6,626.08 | 6,626.08 | 6,626.08 | 6,626.08 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 | 16,003.00 |

| | | | |
|---|-----|------|----------|
| COSTO ECO (COK ECO) T.D. | 12% | CAUE | 8,406.75 |
| COSTO FINANCIERO (COK FINA) T.D. | 30% | | |

| Resultados escenario 1 | Económico | Financiero |
|-------------------------------|-----------|------------|
| VAN (Valor actual neto) | 42,920.52 | 9,135.77 |
| TIR (Tasa interna de retorno) | 31.51% | 44.12% |
| BIC (Beneficio Costo) | 1.90 | |

Capítulo V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El análisis del proyecto muestra que es viable el desarrollo de la mejora técnica del generador eléctrico, contribuyendo a asegurar mucho mayor tiempo de operación con los consiguientes ahorros de costos operativos, contratos de potencia eléctrica con la distribuidora y sobre todo evitar pérdidas por paralización y ventas dejadas de percibir.
- Sobre la base de estos resultados es indiferente seleccionar la alternativa 1, es decir reducir la compra de potencia o seleccionar la alternativa 2, la cual consiste en vender bagazo sobrante a terceros debido al mejoramiento en la eficiencia del generador. De esta forma la aplicación de cualquiera de las dos alternativas dependería más de una decisión de gestión comercial o estratégica que la empresa deba definir.
- Adicional a la viabilidad técnica y económica existe un factor primordial en la decisión de la implementación de este proyecto y que es la confiabilidad del sistema eléctrico de la planta se eleva, lo cual minimizaría paralizaciones de producción.

- El tiempo de recuperación de la inversión es de aproximadamente 4 años, al tener el equipo una vida útil no menor de 20 años, la inversión es rentable para la empresa.
- Para poder llevar a cabo esta propuesta, ha sido necesario aplicar herramientas y conceptos de Ingeniería Industrial tales como Diseño y Evaluación de Proyectos, Ingeniería de Mantenimiento, Costos y Presupuestos, Investigación de Operaciones, así como de Ingeniería Eléctrica, donde se ha tenido que detallar conceptos teóricos sobre fundamentos de operación de los generadores y turbinas a vapor a manera ilustrativa y de esta forma poder explicar a detalle las características de aplicación del sistema de excitación estático propuesto.
- La implementación de estas tecnologías de punta, basadas en microprocesadores, no solo permite un beneficio técnico tangible sino además un beneficio económico con resultados directos en la gestión eficiente de la fábrica. Es importante destacar que habría un ahorro operativo de US\$ 15 a 16 mil dólares anuales.
- El rol del ingeniero industrial debe estar situado en todos los ámbitos estratégicos de una industria. En la actualidad el sector eléctrico ha tomado una especial importancia, debido a la liberalización del mercado, lo que implica conocimientos adicionales acerca de temas del sector energético como tarifas eléctricas, gestión de energía en planta, tecnologías y aspectos legales. De esta forma el conjunto de estas disciplinas ayuda al ingeniero a optimizar los costos de gestión industrial y elevar la confiabilidad del sistema en su conjunto.

- De acuerdo al diagrama PERT, el proyecto casi en su totalidad está dentro de la ruta crítica, lo que implica una buena planificación y coordinación de cada tarea. Asegurar el cumplimiento de cada una de estas actividades, permitirá que el plazo final de entrega sea el propuesto, lo que significa evitar costos por retrasos y paralizaciones.
- El actual desarrollo tecnológico crea nuevos desafíos profesionales, habiendo que considerar en los proyectos temas como comunicaciones, internet, SCADA, automatización, sistemas inteligentes.
- El Ingeniero Industrial puede estar en capacidad de dirigir y proponer soluciones en el emergente y complejo mercado de la energía eléctrica. Aspectos como planeamiento estratégico, inversiones y privatizaciones, proyectos de mantenimiento y modernización, diseño de sistemas integrales de gestión de servicios, son tareas que el profesional puede desarrollar satisfactoriamente, creando valor agregado a este sector.

5.2 Recomendaciones

- El desarrollo de este pequeño proyecto puede ser extendido como base para una aplicación general a todas las plantas de cogeneración eléctrica en el ámbito la industria azucarera nacional, puesto que los resultados económicos de esta propuesta complementados con la viabilidad técnica del mismo, justifican su aplicación.
- Previo a la implementación del proyecto, es importante recomendar la aplicación de las normas industriales de seguridad e higiene ambiental, considerando como objetivo la preservación de la integridad del personal encargado del trabajo y ocasional presente. Se deberá seguir escrupulosamente las instrucciones de los manuales, planos y procedimientos de instalación y de normas e seguridad. Debido a que los trabajos son en media tensión (2400VAC), es recomendable tomar todas las medidas de seguridad, tales como equipos protectores del trabajador, definir el área de trabajo cercada y libre de obstáculos o equipos que no sean de uso expreso a la instalación, así como coordinar con el ingeniero responsable un plan detallado de trabajo coordinado con otras áreas relacionadas.
- Deberá tomarse medidas adicionales de mantenimiento y cambio de otros equipos que están sobre todo en el área de producción y que se integran al sistema eléctrico tales como cables eléctricos, interruptores, transformadores, fusibles, puestas a tierra, etc., los cuales pueden afectar la óptima operación del sistema de generación.

BIBLIOGRAFÍA

- TÉCNICA DE PLANIFICACIÓN POR REDES
Carl Duisberg Gesellschaft eV., Alemania, 1992

- MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA
Donald G. Fink/H Wayne Beaty
Decimo Tercera edición Mc Graw Hill, 1997

- ADMINISTRACIÓN EXITOSA DE PROYECTOS
Jack Gido, Lames P. Clements
International Thomson Editores, 1999

- ANALISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA
Rafael Pumacayo C., Rubén Romero L., 1979

- CONTABILIDAD DE COSTES PARA TOMA DE DECISIONES
Joseph M Rosanas Marti – Eduard Ballarin
DDB Biblioteca de Gestión Desclée de Brouwer, 1986

- LEY DE CONCESIONES ELECTRICAS- Decreto Ley 25844
Promulgado el 06.11.92

- PROTECCIONES ELECTRICAS
Roberto Aguilar Mercado
Noriega Editores, 1987

- DICCIONARIO PARA INGENIEROS
Luis A. Robb
CECSA, 2001

- SHUNT STATIC EXCITER/REGULATORS APPLICATIONS NOTES
Basler Electric, USA, 2001

- INGENIERIA ECONOMICA
Anthony J. Tarquin

PAGINAS WEB.

www.basler.com

www.gretek.com.pe

www.abb.com.pe

www.mem.com.pe

www.sucrose.com

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Arancel: Impuesto que se carga al valor de Costo mas flete mas seguro de un producto que se importa. Su valor va de 0 a 20%

Bagazo: Residuo fibroso de la caña de azúcar triturada en el proceso de elaboración de azúcar Su usa para fabricar papel y su combustión permite generar vapor para proceso y para producir electricidad.

Ciclo Rankine: Ciclo termodinámico donde se produce el efecto de operación de una turbina a vapor

Cogeneración: Generación eléctrica que se produce usando los recursos sobrantes de energía de otro proceso productivo o energético

Corriente alterna: Corriente eléctrica que toma la forma de función sinusoidal

Diodo: Dispositivo electrónico que permite asegurar el paso de la corriente eléctrica por un solo sentido

Distribuidora: Empresa que tiene la responsabilidad de vender energía eléctrica directamente a cada cliente de su zona de concesión, realiza el mantenimiento y administración del sistema eléctrico

Entalpía: Es la capacidad de liberar o absorber energía. Cuando los procesos son a presión constante se habla de entalpía

Escobillas: Material compuesto de carbón que se usa para la recolección de la corriente eléctrica continua.

Excitatriz: Parte de un generador que está compuesto de una armadura y campo, donde se produce tensión continua para alimentar el campo principal

Excitación estática: Equipo electrónico que alimenta el campo magnético de un generador y estabiliza el voltaje a diversas condiciones de operación

Factor de potencia: Relación entre corriente potencia activa y potencia aparente. En un generador eléctrico, usualmente es 0.80.

Frecuencia: Cantidad ciclos de onda que pasan en un segundo. El ciclo es la cantidad de veces que una onda va desde su valor máximo a su valor mínimo en 1 segundo

Generador: Máquina rotativa que produce electricidad cuando un campo magnético se desplaza relativamente entre conductores eléctricos induciendo una tensión o voltaje.

Hidrandina: Empresa eléctrica regional que distribuye electricidad en el norte del Perú, comprende los departamentos de Ancash, La Libertad y Cajamarca.

Hierro silicoso: Material compuesto por acero aleado con silicio que es usado para construcción de máquinas eléctricas

MW: Potencia eléctrica que equivale a 1 millón de kilovatios

Poder calorífico: Cantidad de calor que se produce por la combustión completa de una unidad de volumen o peso.

Potencia activa: Potencia mecánica que requiere una máquina

Potencia aparente: Potencia eléctrica total incluyendo la potencia activa y reactiva

Privatización: Proceso de venta de empresas públicas del estado a adquirientes de régimen privado

PSI: Medida de presión que equivale a Libra x pulgada cuadrada

Relé: Equipo electrónico que abre o cierre un contacto al recibir una señal debido a una condición definida y que haya sido alcanzada

Reóstato: Resistencia variable

SCADA: Sistema automático de control y adquisición de datos

Sincronización: Superposición de fuentes de energía donde las ondas deben estar en fase, y con igual magnitud de tensión y frecuencia

Telemetría: Medición remota de parámetros a través de sistemas automatizados de adquisición de datos

Termoeléctrico: Concepto asociado a la generación eléctrica producida por uso de combustible o vapor

Transductores: Elementos que reducen magnitudes a valores analógicos de pequeña escala. Por ejemplo: 4-20mA

Turbina de vapor: Equipo motriz que dispone de alabes concéntricos hacia un eje y al paso del vapor a alta temperatura y presión, permite un movimiento rotacional con torque

Vares: Corriente reactiva que se necesita para excitar una máquina o sistema eléctrico

ANEXOS

ANEXO 1

REQUERIMIENTOS OPERATIVOS DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN ESTÁTICA

A_ Mejoras en la velocidad de respuesta

- Independiente del tipo de regulador de tensión, electromecánico de estado sólido, un regulador de voltaje cuya salida se dirige al campo de una excitatriz es mucho más lento que un regulador de tensión cuya salida se dirige al campo de un generador directamente.
- Estos campos, incluyendo el campo de la excitatriz y campo del generador representan constantes de tiempo que causan desvíos de fase. El desvío de fase es de la onda de corriente con respecto a la onda de tensión. Los desvíos sustanciales de fase hacen más dificultoso tener estabilidad en el ciclo de regulación de tensión. Esto también reduce la capacidad de causar una respuesta rápida a situaciones transitorias causadas por perturbaciones en el sistema.
- Menor velocidad de recuperación de tensión significa mayor caída de tensión y tiempos de arranque de motores más largos. Esto incrementa las pérdidas (I^2R)⁵ por arranque de motores eléctricos. Durante una falla de línea, pueden actuar los dispositivos de protección como relés⁶ de sobre o baja tensión, debido a la inestabilidad de tensión. Es posible que los relés de sobre corriente no actúen debido a fallas causadas por recuperación lenta de tensión.

⁵ Pérdidas térmicas reflejadas por el cuadrado de la corriente que pasa por una resistencia

⁶ Relés son dispositivos de protección y despeje de fallas eléctricas

- Debido a que el regulador excitador estático trabaja directamente sobre el campo principal, se eliminan una o más constantes de tiempo⁶. Los circuitos de estabilidad de tensión están sintonizados solo para una constante de tiempo de campo, lo que crea de comienzo una alta respuesta inicial al sistema de excitación.
- Para reducir más la caída de tensión causada por un arranque de motor y elevar la velocidad de recuperación es necesario forzar el campo, aplicando más tensión de la que necesita el campo. Un alto forzamiento ayudará a sobrepasar las cargas inductivas en el campo del generador.
- El efecto combinado del alto forzamiento de campo y la eliminación de múltiples constantes de tiempo originan que el excitador estático tenga una respuesta inicial muy alta, permitiendo que la recuperación de tensión del generador sea rápida con óptimos resultados como: Mejores arranques de motores y más tensión para optimizar la coordinación de protección

B_ Control y operación continuada

- La habilitación de un sistema excitador / regulador estático tipo shunt permite una mejora de los sistemas de control de la planta. El regulador de la excitación estática viene con controles que hacen que la operación del generador sea más amigable y accesible a sistemas SCADA⁷ y telemetría.
- Un regulador del sistema de excitación estática permite control continuado desde el arranque, eliminando posiciones especiales de pruebas y transferencias innecesarias de manual a automático. En los

⁶ Es el tiempo que toma una máquina eléctrica en llevar de cero a 2/3 de su valor nominal

⁷ SCADA: Sistema de adquisición y control de datos

sistemas antiguos, el generador era arrancado en manual. Esto permitía que la tensión del generador se constituya siguiendo una relación de voltios / hertzios en la medida que la velocidad de la turbina llega a la síncrona. Una vez llegada a la velocidad nominal, el operador debe igualar la tensión manual con la tensión ajustada del regulador automático de tensión, donde luego hace la transferencia al regulador automático.

- A diferencia de su contraparte, el regulador de estado sólido digital incluye circuitos de sensado de baja frecuencia. El circuito de baja frecuencia permite que la tensión del generador se constituya siguiendo una característica de Voltios / Hertzios en la medida que la velocidad se incrementa. Los circuitos de baja frecuencia protegen al generador de calentamiento por baja velocidad, evitando exceso de flujo sobre el núcleo magnético.

C_ Regulación de estado sólido

- El regulador de estado sólido provee distintas ventajas en el reparto de cargas reactivas durante la operación en paralelo de un generador. El sistema antiguo del generador marca Oerlikon a evaluar y modernizar estaba sujeto a variaciones térmicas que afectan la regulación, esto debido a la característica de calentamiento del reóstato de alambre y de los campos. Bajo estas circunstancias, pueden fluir corrientes circulantes entre generadores debido a la compensación desarrollada entre los reguladores entre diferentes generadores.
- Se disponían de circuitos de compensación reactiva de caída para mejorar el reparto de cargas reactivas y minimizar las corrientes circulantes, pero aunque siempre había variaciones térmicas, las plantas

necesitaban operadores para asegurar un óptimo desempeño de la máquina.

- El regulador digital propuesto y que se integra al tablero del sistema de excitación estática dispone de una precisión de 0.25% de regulación de tensión entre vacío y plena carga. Con la adición de circuitos de compensación reactiva, las corrientes circulantes entre generadores es minimizada y la necesidad de supervisión constante es eliminada.

D_ Otras consideraciones para el dispositivo de excitación

- El excitador estático viene equipado con un regulador de tensión, compensación reactiva de caída para reparto de cargas reactivas, así como de un regulador de manual de respaldo.
- Por otro lado se pueden incluir funciones adicionales las cuales pueden ser equipos individuales si el sistema es electrónico y como funciones operativas integradas en el regulador de voltaje es digital, con el propósito de proveer un control más ajustado del generador bajo condiciones que están más allá de las curvas predecibles de un regulador de voltaje. Otros dispositivos permiten control remoto desde plantas sin operadores.
- Control remoto de tensión: Los equipos electrónicos cuentan con dispositivos estáticos de ajuste de tensión, mientras que los digitales cuentan con contactos de subir / bajar y neutro de manera que se puedan en ambos casos operar y ajustar los niveles de tensión, factor de potencia o vares dentro de niveles de operación deseados. Ambos cuentan están equipados con límites superiores e inferiores para prevenir que la operación del generador exceda los límites de diseño.

- Transferencia de automático a manual sin golpes: La transferencia sin golpes de modo automático a manual es necesaria, para asegurar niveles iguales de salida de excitación hacia el campo durante la transferencia de modo manual a automática. Una variación sustancial en los niveles de corriente de campo puede resultar en perturbaciones del sistema tales como elevada cantidad de vares o pérdida de sincronización del generador.

E_ Limitación de máxima y mínima excitación de campo

- A pesar de que los reguladores de tensión de las excitatrices están equipados con circuitos de compensación reactiva de caída para un buen reparto de cargas reactivas, pueden existir condiciones donde el regulador puede causar que el generador pierda torque de sincronización o entregue pocos KW o por el contrario cause excesiva sobre corriente sobre el rotor, es decir generar muchos vares.
- En el transcurso del día, la tensión de la barra no permanecerá constante. Si el nivel de tensión cambia excesivamente, causará que el generador pueda estar sobre excitado y pobremente excitado. El limitador de sobre y baja excitación se usa para prevenir que el regulador de tensión entregue muy poca o mucha excitación, dependiendo que es lo mejor para una operación segura de la máquina.

F_ Regulación de VAR / Factor de Potencia

- El complemento de un limitador de sobre / baja excitación es el regulador de vares y factor de potencia, el cual es usado en lugar del regulador automático de tensión. El controlador de Var / FP regulará cargas reactivas constantes sobre un generador independiente de las variaciones de tensión de la empresa eléctrica, hasta en un 30% previniendo oscilaciones de VARS en el generador. Para generadores pequeños esta característica puede ser la más deseada ya que el

generador pequeño casi no tiene efecto sobre la rigidez de la barra de interconexión.

- Otro problema común en generadores pequeños que están interconectados con la barra es el ruido de interruptores entre equipos de corrección de la línea de tensión y el generador interconectado que usa un regulador automático de tensión. Estas perturbaciones del sistema son causadas por el efecto combinado de corrección de tensión de bancos de capacitores o transformadores y tratan de compensar al generador pequeño, cuya capacidad es limitada para ayudar a mantener constante la tensión de la barra, esto cuando la tensión de la red sube o baja.
- Usar el regulador de VARS / Factor de Potencia para controlar el campo en lugar del regulador de tensión, permite que la corriente reactiva se mantenga constante de manera que la corrección de tensión de la línea es llevada a cabo solo por los equipos externos y no por el generador pequeño que estaría actuando continuamente el regulador.

G Control remoto de la planta

Para plantas sin personal operativo, el control remoto de un excitador estático puede acomodar fácilmente funciones de control que permitan la intercomunicación entre una red SCADA y el equipo de excitación. El cierre de un solo contacto puede ser usado para permitir la secuencia de arranque de la excitatriz estática.

ANEXO II

DATOS DE PLANTA

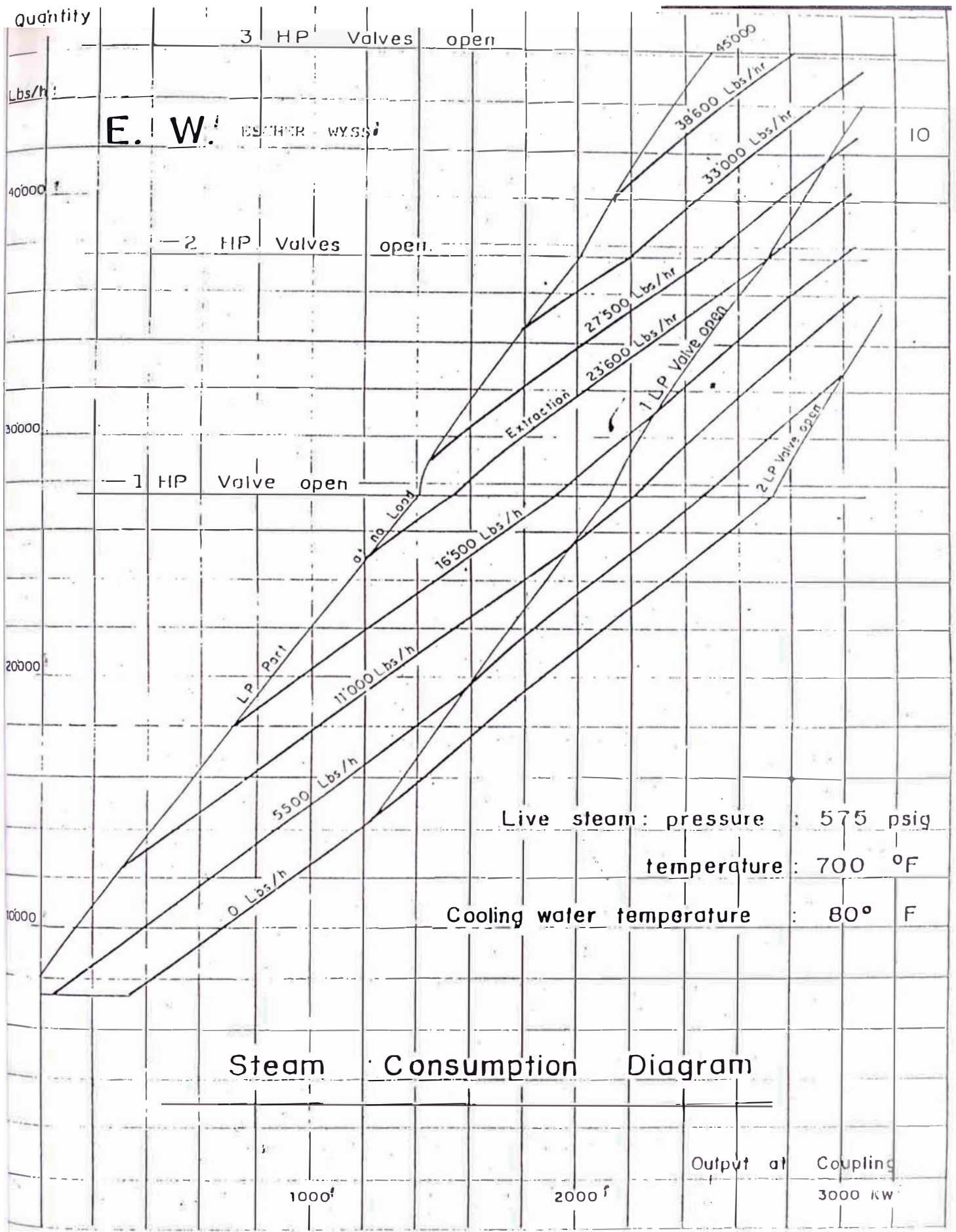


FIGURA 2.2



COMPLEJO AGROINDUSTRIAL
CARTAVIO S.A.A.

CASA DE FUERZA

| HORAS | VOLTIOS | BARRAS | Hz | GENERADOR 2500 KW GENERAL ELECTRIC | | | | | | GENERADOR ESCHE... | | | | |
|---------|---------|--------|------|---------------------------------------|-----------|--------------------|------------|----------------|-------------|--------------------|-----|-----------|--------------------|-------|
| | | | | KW | C.A. Amp. | Factor de Potencia | D. C. Exlt | TEMPERATURA °C | | | KW | C.A. Amp. | Factor de Potencia | D. E. |
| | | | | | | | | Indic. N° 1 | Indic. N° 2 | Indic. N° 3 | | | | |
| 7 a.m. | 2350 | 60 | 700 | 200 | 0.90 | 67 | | 63 | 61 | 1400 | 500 | 0.90 | 100 | |
| 8 a.m. | 2350 | 60 | 1030 | 280 | 0.90 | 70 | | 65 | 63 | 1600 | 550 | 0.90 | 100 | |
| 9 a.m. | 2350 | 60 | 1000 | 280 | 0.90 | 70 | | 65 | 63 | 1400 | 530 | 0.90 | 100 | |
| 10 a.m. | 2350 | 60 | 1000 | 270 | 0.88 | 68 | | 65 | 63 | 1300 | 500 | 0.90 | 100 | |
| 11 a.m. | 2350 | 60 | 950 | 200 | 0.90 | 68 | | 65 | 63 | 1100 | 480 | 0.90 | 100 | |
| 12 m. | 2350 | 60 | 1000 | 380 | 0.90 | 70 | | 66 | 64 | 1800 | 520 | 0.88 | 100 | |
| 1 p.m. | 2350 | 60 | 1000 | 360 | 0.92 | 70 | | 66 | 64 | 1800 | 540 | 0.82 | 100 | |
| 2 p.m. | 2350 | 60 | 2400 | 660 | 0.95 | 95 | | 72 | 70 | | | | | |
| 3 p.m. | 2350 | 60 | 1000 | 280 | 0.90 | 70 | | 68 | 66 | 1700 | 540 | 0.82 | 100 | |
| 4 p.m. | 2350 | 60 | 1200 | 320 | 0.92 | 72 | | 68 | 66 | 1300 | 440 | 0.82 | 100 | |
| 5 p.m. | 2350 | 60 | 1200 | 320 | 0.92 | 72 | | 68 | 66 | 1300 | 460 | 0.80 | 100 | |
| 6 p.m. | 2350 | 60 | 1100 | 300 | 0.92 | 70 | | 66 | 64 | 1400 | 460 | 0.84 | 100 | |
| 7 p.m. | 2350 | 60 | 1100 | 300 | 0.92 | 70 | | 66 | 64 | 1500 | 480 | 0.82 | 100 | |
| 8 p.m. | 2350 | 60 | 1200 | 320 | 0.92 | 72 | | 68 | 66 | 1500 | 460 | 0.80 | 100 | |
| 9 p.m. | 2350 | 60 | 1600 | 420 | 0.95 | 80 | | 70 | 68 | 1800 | 440 | 0.80 | 100 | |
| 10 p.m. | 2350 | 60 | 1600 | 440 | 0.95 | 80 | | 70 | 68 | 1600 | 480 | 0.80 | 100 | |
| 11 p.m. | 2350 | 60 | 1600 | 440 | 0.95 | 80 | | 70 | 68 | 1700 | 460 | 0.80 | 100 | |
| 12 m.n. | 2350 | 60 | 1600 | 440 | 0.95 | 80 | | 70 | 68 | 1600 | 440 | 0.90 | 100 | |
| 1 a.m. | 2350 | 60 | 1600 | 440 | 0.95 | 80 | | 70 | 68 | 1500 | 440 | 0.95 | 100 | |
| 2 a.m. | 2350 | 60 | 1500 | 440 | 0.95 | 80 | | 70 | 68 | 1600 | 440 | 0.95 | 100 | |
| 3 a.m. | 2350 | 60 | 1600 | 420 | 0.95 | 80 | | 70 | 68 | 1500 | 440 | 0.95 | 100 | |
| 4 a.m. | 2350 | 60 | 1300 | 400 | 0.94 | 77 | | 70 | 68 | 1500 | 440 | 0.95 | 100 | |
| 5 a.m. | 2350 | 60 | 1000 | 430 | 0.91 | 75 | | 70 | 68 | 1400 | 420 | 0.90 | 100 | |
| 6 a.m. | 2350 | 60 | 1500 | 440 | 0.94 | 78 | | 70 | 68 | 1350 | 400 | 0.90 | 100 | |

| | | | | |
|---------|-----------|---------|-----------|-----------------|
| Kw - Hr | 6108,2 | Kw - Hr | 4400,5 | Primera Guardia |
| Kw - Hr | 6078,5 | Kw - Hr | 4370,8 | 2da. Guardia |
| Kw - Hr | Total Dia | Kw - Hr | Total Dia | 3ra. Guardia |

| | | | |
|------------------------------|--|------------------------------|----------|
| OBSERVACIONES TURBO "G-E" | | OBSERVACIONES TURBO "E-W" | 1.255/10 |
| | | | Precalor |
| | | | 2.257 |
| | | | 2.257 |
| | | | |
| | | | |

CASA DE FUERZA

FECHA

20 2 02

DOR 2500 KW
AL ELECTRIC

GENERADOR 2700 KW
ESCHER WYSS

TOTAL

| D. C. Exit | TEMPERATURA °C | | | KW | C.A. Amp. | Factor de Potencia | D. C. Exit | TEMPERATURA °C | | | KW |
|------------|----------------|-------------|-------------|------|-----------|--------------------|------------|----------------|-------------|-------------|------|
| | Indic. N° 1 | Indic. N° 2 | Indic. N° 3 | | | | | Indic. N° 1 | Indic. N° 2 | Indic. N° 3 | |
| 67 | | 63 | 61 | 1400 | 550 | 0.70 | 103 | | | | 2300 |
| 70 | | 65 | 63 | 1600 | 530 | 0.80 | 108 | | | | 2650 |
| 70 | | 65 | 63 | 1400 | 530 | 0.70 | 110 | | | | 2400 |
| 68 | | 65 | 63 | 1300 | 505 | 0.70 | 110 | | | | 2300 |
| 68 | | 65 | 63 | 1100 | 180 | 0.64 | 105 | | | | 3050 |
| 70 | | 66 | 64 | 1800 | 520 | 0.88 | 105 | | | | 2800 |
| 70 | | 66 | 64 | 1800 | 540 | 0.82 | 107 | | | | 2800 |
| 95 | | 72 | 70 | | | | | | | | 2400 |
| 70 | | 68 | 66 | 1700 | 540 | 0.82 | 105 | | | | 2700 |
| 72 | | 68 | 66 | 1300 | 440 | 0.82 | 95 | | | | 2500 |
| 72 | | 68 | 66 | 1300 | 460 | 0.80 | 95 | | | | 2500 |
| 70 | | 66 | 64 | 1400 | 460 | 0.84 | 95 | | | | 2500 |
| 70 | | 66 | 64 | 1500 | 480 | 0.82 | 97 | | | | 2600 |
| 72 | | 68 | 66 | 1500 | 460 | 0.80 | 97 | | | | 2750 |
| 80 | | 67 | 67 | 1500 | 440 | 0.90 | 95 | | | | 3100 |
| 80 | | 70 | 68 | 1600 | 480 | 0.86 | 98 | | | | 3200 |
| 80 | | 70 | 68 | 1700 | 460 | 0.90 | 95 | | | | 3300 |
| 80 | | 70 | 68 | 1600 | 440 | 0.90 | 95 | | | | 3200 |
| 80 | | 70 | 68 | 1500 | 440 | 0.88 | 100 | | | | 3100 |
| 80 | | 70 | 68 | 1600 | 480 | 0.84 | 100 | | | | 3100 |
| 80 | | 70 | 68 | 1520 | 460 | 0.86 | 100 | | | | 2700 |
| 7 | | 10 | 8 | 1500 | 460 | 0.88 | 95 | | | | 3000 |
| 5 | | 10 | 8 | 1400 | 470 | 0.82 | 98 | | | | |
| 8 | | 10 | 8 | 1350 | 500 | 0.82 | 105 | | | | |

TABLERISTAS

| | | | |
|------|-----------|-----------------|--------------------|
| w-Hr | 1472.5 | Primera Guardia | <i>[Signature]</i> |
| v-Hr | 1436.5 | 2da. Guardia | <i>[Signature]</i> |
| t-Hr | Total Dia | 3ra. Guardia | <i>[Signature]</i> |

OBSERVACIONES

TURBO
"E-W"

1.55 Para Se para Turbo EW por
Recalculación de los aceites
2.25 Para Se Servicio Turbo EW
orden del M. Quiroz

CALCULO TEORICO EFICIENCIA CALDERAS CARTAVIO

| 1.- ASPECTOS GENERALES DE OPERACION DE LAS CALDERAS | | | | | | |
|--|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| 1.1.- DATOS GENERALES | UNIDADES | CALDERA N° 14 | CALDERA N° 15 | CALDERA N° 16 | CALDERA N° 17 | |
| BAGAZO | | 49.15 | 49.15 | 49.15 | 49.15 | |
| Humedad | % | 1.89 | 1.89 | 1.89 | 1.89 | |
| Azúcar | % | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | |
| Cenizas | % | 104.44 | 104.44 | 104.44 | 104.44 | |
| Temp. Agua Alimentación a Calderas | °C | 275 | 260 | 260 | 250 | |
| Temperatura Gases Chimenea | °C | 60 | 60 | 60 | 50 | |
| Exceso de aire | % | | | | | |
| 1.2 PERDIDA DE CALOR SENSIBLE EN GASES CHIMENEA | | | | | | |
| Valor $q_s = [(1-w)(1.4M-0.13)+0.5] \cdot T_g$ | Kcal/Kg | 432.56 | 408.96 | 408.96 | 375.44 | |
| 1.3 CALOR TRANSFERIDO AL VAPOR | | | | | | |
| Valor $Mv = (PCI-q) \cdot \alpha \cdot \beta \cdot f$ | Kcal/Kg | 1086.52 | 1104.69 | 1104.69 | 1244.77 | |
| $\alpha =$ Coeficiente de Pérdidas por Sólidos no Quemados (0.98) | | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.96 | |
| $\beta =$ Coeficiente de Pérdidas por Radiación y Convección (0.97) | | 0.92 | 0.93 | 0.93 | 0.96 | |
| $f =$ Coeficiente indicador de la Eficiencia de Combustión con la variación de la Humedad del Bagazo, exceso de aire y temperatura del horno (0.91 @ 0.96) | | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.92 | |
| 1.4 COEFICIENTE DE VAPORIZACION | | | | | | |
| Valor $Cv = Mv / (hv \cdot ha)$ | Kg Vapor/Kg Bagazo | 1.8082 | 1.8384 | 1.8384 | 1.9289 | 1.853 |
| Entalpia Vapor | Kcal/Kg | 705.33 | 705.33 | 705.33 | 749.77 | |
| Entalpia Agua | Kcal/Kg | 104.44 | 104.44 | 104.44 | 104.44 | |
| 1.5 EFICIENCIA DE LAS CALDERAS | | | | | | |
| Valor $Ef = Mv / P.C.I$ | % | 46.91 | 47.69 | 47.69 | 53.74 | 49.005 |
| Donde P.C.S = 4600-12S-46w | | | | | | |
| Donde P.C.I = 4250-12S-48.5w | | | | | | |
| 2.- RESULTADOS GENERALES DE OPERACION | | | | | | |
| 2.1 COSNSUMO DE BAGAZO Y PETROLEO | | | | | | |
| Poder Calorífico del Bagazo Seco : 4600 | Kcal/Kg | 4600 | 4600 | 4600 | 4600 | |
| Poder Calorífico Petróleo # 6 : 148000 | Btu/Gl | 148000 | 148000 | 148000 | 148000 | |
| Calor útil del Bagazo con la Humedad y la de Efeciencia de la Caldera es: | Mbtu/Ton. Bagazo | 4.35 | 4.43 | 4.43 | 4.99 | |
| Calor Util de la Calderas con 80% de Eficiencia | Mbtu/Gl. Petróleo | 0.1184 | 0.1184 | 0.1184 | 0.1184 | |
| Equivalente Calórico del Petróleo #6 al Bagazo en las condiciones reales: | Gl/ Ton (solo bagazo) | 37.39 | 37.39 | 37.39 | 42.14 | |

ANEXO III

CATÁLOGOS Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO



Static Exciter Voltage Regulator Replacement Specification

Static Voltage Regulator Specification

1.0 SCOPE

1.1 Purpose

This specification describes a digital excitation system, Basler Type DECS-300 for use on a slip-ring type synchronous generator. The digital excitation system will be designed to work direct into the generator main field and will be complete with controls, limiters, and protection to safeguard the generator. The DECS-300 will be provided with a user-friendly Windows-Based software program for easy setup and commissioning of the excitation system, as well as RS 485 serial link communications using Modbus™ protocol for control, metering and annunciation.

The rating information is as follows:

Generator Rating _____ KVA, _____ VAC, ____ Hz, ____PF, _____RPM.

Generator field requirements at no load of ____ Amps, ____Volts.

Generator field requirements of _____ Amps, ____ VDC at 105% rated voltage and rated KVA.

Generator Prime Mover Type _____.

2.0 GENERAL

A digital voltage regulator will be provided to supply the volt ampere requirements of the generator field. The excitation system will be a high initial response design as defined by IEEE 421.2.

2.1 Applicable Specifications

ANSI C57.12.01 - General Requirements for Dry Type Distribution & Power Transformer -Table 7, Routine Test

ANSI Z55.1 - Gray Finishes for Industrial Equipment

NEMA - Part ICS6-110.10.02 Type I NEMA 1 Ventilated

NEMA - Part ICS1-111 Electrical Spacings for Exciter Control/Power Cabinet

IEEE 421.1 - IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines

IEEE 421.2 - Identification, Testing & Evaluation of the Dynamics of Excitation Control Systems

IEEE 421.3 - High Potential Test Requirement for Excitation System for Synchronous Machines

IEEE 421.4 - Guide for the Preparation of Excitation System Specifications

Transformer NEMA Specification ST-20

3.0 BASIC STATIC EXCITATION SYSTEM - CONTROL CUBICLE

3.1 Voltage Regulator Control

The digital voltage regulator will provide +/- 1/4% voltage regulation from no load to full load. The minimum control range of the automatic voltage regulator will be -20% to +10% of the nominal generator terminal voltage. The temperature drift will not exceed 0.5% for slow changes in ambient temperatures ranging from 15°C to 40°C. The digital voltage regulator will be equipped with a voltage limited/volts per Hertz circuit to reduce the generator terminal voltage as prime mover frequency reduces. The threshold frequency will be adjustable via a Windows based PC software program provided with the excitation system for setup. An alarm will be provided on the controller to indicate underfrequency operation. Voltage sensing will be 120 volts ac, 3 phase.

3.1.1 Paralleling provisions will be included to provide reactive load sharing between generators. The droop setting will be adjustable from -30% to +30% at rated power factor, rated load. A negative droop setting will provide Line Drop Compensation to counteract line or transformer impedance voltage drops to maintain a constant load voltage at a remote point in an isolated power system.

3.1.2

The automatic voltage regulator will utilize field tunable PID gain settings to provide a means to optimize generator voltage response and minimize voltage overshoot. A software setup program will be provided to assist in the selection of the PID values to help optimize system performance.

3.1.3 Manual Control

A field current regulator will be provided (standby to the automatic voltage regulator) to maintain constant field current with 1% regulation for 10% changes in generator terminal voltage. The minimum control range will be 0 to +120% of rated field current.

3.2 Power Stepdown Transformer

A three-phase dry-type power isolation transformer will be supplied to provide acceptable voltage to levels for the power rectifier bridge. The transformer will be designed with a 185°C insulation system, 115°C rise at a 40°C ambient.

Transformer will be convection cooled, Type AA, having open frame construction. Primary fusing will be provided at the input of the power potential transformer.

3.3 SCR Power Rectifier Bridge

A 6 SCR two-quadrant three-phase full-wave bridge rectifier will be provided to force the field either positive or negative during transient conditions. The power semiconductors will have a PIV rating of not less than three times the maximum root-mean-square voltage of the ac input voltage to the rectifier bridge. Three fast acting current limiting fuses will be provided at the ac input to the three phase rectifier bridge. RC snubber circuits will be provided for the ac input and dc output. DC output transients will be clamped by a surge suppression network. The excitation will be capable of forcing the field 145% Vdc positive and not less than 130% Vdc negative for 45 seconds.

Upon failure of a shorted power semiconductor, a contact will provide a general alarm.

3.3.1 Field Discharge

The field circuit will be provided with two power SCRS connected in antiparallel and in series with a field discharge resistor. The shunting SCRs will self trigger due to excessive field overvoltage into the field winding caused by pole slip or generator short circuit. The shunting SCRs (crowbar SCRs) will also be triggered at shutdown to de-excite the field and decay the generator voltage.

3.4 Power Interrupt

An ac contactor will be provided to interrupt the ac power input to the three phase rectifier bridge.

3.5 Voltage Softstart

The digital controller will be equipped with voltage softstart feature to minimize generator overvoltage at buildup. The digital controller will include a means to program the time interval for the generator to buildup to rated terminal voltage. Voltage softstart will be active in both automatic voltage regulator and field current regulator mode. The generator voltage will follow a volts/Hertz characteristic during voltage buildup.

3.6 Automatic Field Flash

The excitation will be supplied with field flashing provisions to build generator voltage from station battery. Field flashing will disable when generator voltage builds to a specific value of machine voltage. If generator voltage does not buildup, field flashing will be disabled after a designated time limit that will be field programmable.

4.0 PERFORMANCE FEATURES

The following features will be provided with the excitation system to modify the operating characteristics of the solid-state automatic voltage regulator.

4.1 Under/Over Excitation Limiter

4.1.1 Under Excitation Limiter (UEL)

An under excitation limiter will be provided to prevent a loss of generator synchronism due to underexcitation. The under excitation limiter will be programmable to utilize either a single point, pre-defined circular curve or a five point programmable characteristic that approximately matches the generator's under excited capability curve. The DECS-300 will be provided with indication via the RS 485 serial communication link when the limiter is active and a contact closure will indicate the activation of the UEL.

4.1.2 Over Excitation Limiter (OEL)

Both off-line and on-line over excitation limiter will be provided to prevent generator overvoltage off -line and rotor field heating due to excessive current in the exciter field when the generator is on-line.

The off-line field current limiter will have a minimum of one adjustable instantaneous limit with adjustable time delay when the generator circuit breaker is open.

The on-line overexcitation limiter will be a three stage current limiter with the following characteristics:

- Instantaneous current limit with adjustable time delay.
- Intermediate current limit with adjustable time delay.
- Final current Limit

The on-line and off-line overexcitation limiters will be active in the event of loss of voltage sensing at the voltage regulator input.

The DECS-300 will provide indication via the RS 485 serial communication link when the limiter is active with an alarm contact.

4.2 Var/Power Factor Controller

Var/Power Factor control will be provided as a supplementary control to the automatic voltage regulator. The var/PF control will utilize an adjustable proportional and integral (PI) network to provide either fast or slow response into the voltage regulator control loop.

The Var/Power Factor Controller will maintain a constant vars or power factor over the operating range of the generator.

4.3 Bumpless Transfer from Active to Nonactive modes

Bumpless transfer will be provided from the active to nonactive mode, including automatic voltage regulator, field current regulator, var/Power Factor. Autotracking will be enabled at all times to ensure match levels during transfer.

4.4 Automatic Transfer from Automatic Voltage Regulator to Field Current Control

Automatic transfer to field current mode will take place when loss of voltage sensing at the voltage regulator input occurs.

4.5 Voltage Matching

The excitation system will be equipped with generator to bus voltage matching when paralleling to the utility bus. Adjustable compensation will be provided to match differences between generator and bus voltage instrument transformers.

5.0 SYSTEM CONTROL PROVISIONS

5.1 Local

The excitation system will be equipped with the ability to provide local control of the generator at the excitation cubicle using a keypad type control.

These include:

- Auto/Manual Transfer
- Raise/Lower for AVR, FCR (manual), Var/PF Mode
- Excitation On/OFF

5.2 Remote Control

Remote control is provided using external switches wired back to the DECS-300 and RS 485 serial communication using a Modbus™ protocol to allow the operation of the functions below from a remote computer.

These include:

- Auto/Manual Transfer
- Raise/Lower for AVR, FCR, Var/PF Mode
- Excitation On/OFF

5.3 Shaft Voltage Suppression

Shaft voltage suppression will be supplied across the exciter field to prevent bearing deterioration caused by switching power rectifiers.

6.0 PROTECTIVE FUNCTIONS

The excitation system will be equipped with the following protective features:

Generator Overvoltage

Adjustable from 100-125% with adjustable time delay

Generator Undervoltage

Adjustable from 50-100% with adjustable time delay

Loss of Voltage sensing

Adjustable time delay of 0-10 seconds

Field Overvoltage

Adjustable from 100-170% with adjustable time delay

Field Overcurrent

Adjustable from 100-170% with an adjustable inverse time curve.

Watchdog Timer

A watchdog function will monitor the microprocessors and provide a contact to trip in the event of a fault within the microprocessors.

Alarms annunciation will be provided via the RS 485 communication serial link and user settable contacts for hardwire annunciation.

Field Ground Protection Device 64

Device 64 Field Ground Protection relay will be provided, which will alarm upon detection of an exciter field ground. Contact will be provided for customer annunciation. A target is provided on the relay to record a relay trip.

7.0 EXCITATION CUBICLE

All components of the excitation system will be mounted in a formed 11-gauge sheet steel NEMA 1 enclosure. It will be built in accordance with ICS6-110.10.02 for ventilated enclosures. The cubicle will be rigid and self-supporting with enclosed panels on rear.

A full-length door equipped with a 3-point latch assembly and locking handle, will be provided for access to inside mounted equipment. Openings will be provided as necessary for adequate ventilation. The power isolation transformer will be shipped in a separate NEMA 1 enclosure.

7.1 Cabinet Meter Indication

Digital controller will be equipped with an LCD to read up to three generator quantities at one time. The user will have the means to define the three metering quantities desired on the LCD. Options will include:

- Generator voltage
- Bus voltage
- Generator line current
- Generator frequency
- Bus frequency
- Generator kilowatts
- Generator vars
- Power Factor
- Apparent Power
- Field voltage
- Field amperes

Cabinet LCD will provide the following additional indication:

- In Auto/FCR Mode
- Excitation On/Off
- Position indication
- Alarm status
- Generator voltage setpoint

Additional annunciation will be provided on the cabinet to include:

- Raise/lower Limits
- Autotrack enabled
- Null Indication
- Preposition

7.2 Alarm Annunciation

Alarms will be provided to indicate limiting or protective functions active. Alarms will be available by the RS485 serial communication link using Modbus™ protocol or field settable customer contacts. A maximum of four contacts will be provided to the user for general alarm annunciation. Alarms may include:

- Underexcitation limiting
- Overexcitation limiting
- Underfrequency operation
- Raise/Lower Limits
- Generator overvoltage
- Generator undervoltage
- Field overvoltage
- Field overcurrent
- Loss of voltage sensing
- Null indication

7.3 Software Setup Program

A Windows based software program (type Basler BESTCOMS™) will be provided with the equipment for use with a PC to provide means for setup and commissioning the excitation system via the RS 232 port. The software programs will include user-friendly screens to adjust PID values required for the various control loops; to provide performance step responses for the automatic voltage regulator, field current regulator, or var/PF modes, and provide metering information of all measured generator and field quantities. Through the PC setup software, control of start/stop, raise/lower setpoint, transfer between operating modes, annunciation of limiters, and protective functions active, plus configurable functions for setup will be provided.

7.4 Communications

A rear mounted RS 485 serial communication link will be provided for use with Modbus™ protocol. An RS 232 front panel port will be provided for calibration and setup. The communications will provide means to control start/stop functions, raise/lower setpoint of any active mode including the voltage regulator, field current regulator, var/PF mode, transfer between operating modes, annunciate alarms including limiters and protective functions active.

8.0 Other Cubicle Accessories

- a. Fluorescent Light Fixture Assembly, with door-activated switch and convenience outlet.
- b. Space heater with thermostat

8.1 CT Shorting Terminal Block

A safety shorting block will be provided for the connection of the remote parallel current transformer.

8.2 Control Power

125 Vdc and 120 Vac will be provided for all electronic circuits. In the event of loss of one of the control power sources, the other source will be used to keep the excitation system operating.

8.3 Protective Finishes

All fabricated metal parts will have a protective finish. Finish process will include metal cleaning and preparation followed by one coat ANSI Z55.1 color number 61 gray for the cabinet enclosure. All subpanels will have a color white finish process. Paints will be in compliance with the 1990 U.S. Clean Air Act.

9.0 OPERATING ENVIRONMENT

9.1 Temperature

The cabinet and the installed components will be designed to function without degradation in performance for an outside cabinet ambient temperature of 40°C (104°F).

9.2 Humidity

The cabinet will be designed for a 95% humidity non-condensing.

10.0 DOCUMENTATION

The final system will be supplied with the following information:

- a. Enclosure Outline Dimensions
 - Lifting Eye Locations and Size of Eye Bolt
 - Maximum Weight
 - Cabinet Mounting Hole Sizes and Location
 - Size and Location for Ventilation
- b. Schematic/Interconnect Diagram with Wiring Number Identification
- c. Operational Instruction Manual
- d. Internal Layout Drawing
- e. Wiring List
- f. Auto CAD Version 12 on 3-1/2" disk. Limited to enclosure outline and schematic interconnect. Files will be provided at time of equipment shipment.

11.0 EQUIPMENT TESTING

11.1 Device Testing

Prior to mounting, all devices of Basler manufacture will be individually tested in accordance with the acceptance test procedure for that device.

11.2 Static Exciter Rectifier Test

- A) Phase Control Range
- B) Logic Circuits
- C) 3-Phase Rectifier Unit at Reduced Load

11.2.1 System Testing

The excitation system will be thoroughly factory tested to determine compliance with the specification and the functional design of the system.

11.3 Dielectric Cabinet Test

Electrical dielectric test will be performed on the excitation cabinet in accordance with IEEE 421.3.

11.4

The power potential transformer test will include the following per ANSI C57.12.01 - Table 7 - Routine Test

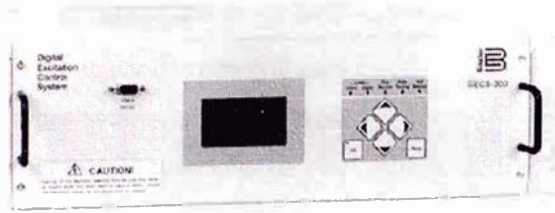
- a. No Load Core Loss
- b. Exciting Current at Rated Voltage
- c. Turns Ratio
- d. Applied Dielectric Hipot
- e. Open Circuit Voltage Test
- f. Polarity Check



Route 143, Box 269
Highland, Illinois USA 62249
Tel 618/654-2341
Fax 618/654-2351
e-mail info@basler.com

P.A.E. Les Pins, 67319
Wasselonne Cedex FRANCE
Tel (33-3-88) 87-1010
Fax (33-3-88) 87-0808
e-mail beifrance@compuserve.com

<http://www.basler.com>



DECS-300 Digital Excitation Control System

Digital Excitation Control Systems (DECS-300) are microprocessor-based devices intended for generator power management. These devices provide control signals for pulse width modulated power modules and SCR bridges manufactured by Basler Electric and other manufacturers. The DECS-300 provides precision control for generators of any size and is equally suited for exciter field or main field applications.

FEATURES

- Microprocessor-based design
- True RMS sensing, single or three phase
- Controls the firing of external bridges by outputting 4-20mA, 0-10Vdc or ± 10 Vdc
- 0.25% Voltage Regulation Accuracy
- Setup from front panel HMI or by PC with free Windows[®] setup software
- 40 standard stability selections
- User customizable stability selection
- Paralleling compensation
- Underfrequency compensation or V/Hz Ratio Limiter
- Softstart buildup
- Field Current Regulation Mode (Manual Mode)
- Autotracking between operating modes and between DECS-300 units
- Autotransfer to a back-up DECS-300 unit
- Remote set point control via:
 - Contact inputs
 - Proportional control via ± 10 Vdc or 4-20mA
 - Communications inputs RS-232 (ASCII) or RS-485 (Modbus[™])
- Minimum Excitation Limiter (Internally generated or customizable)
- On and off-line Maximum Excitation Limiters
- VAR and Power Factor Controllers (continued on next page)

WINDOWS[®] SOFTWARE

Interface for setting and communicating with Basler products
 Request BESTCOMS[™]-DECS300-32
 (Windows[®] NT 3.51 or later, 95, 98, or Me)

ADDITIONAL INFORMATION

INSTRUCTION MANUAL

Request Publication 9310300990

B Basler Electric

P. O. BOX 269 HIGHLAND, ILLINOIS, U.S.A. 62249 PHONE 618-654-2341 FAX 618-654-2351

**DESCRIPTION and
SPECIFICATIONS**
Pages 2 through 5

**FEATURES and
FUNCTIONS**
Pages 6 and 7

**INTERCONNECT
DIAGRAMS**
Pages 8 and 9

**FRONT, REAR VIEWS
and DIMENSIONS**
Pages 10 and 11

CUTOUT and ORDERING
Page 12

SZE-4
12-00

FEATURES, continued

- Voltage Matching
- Six generator protection features
- Programmable output contacts
- Front panel backlit LCD display
- Front panel mounted RS-232 and rear-mounted RS-485 communications ports
- Modbus™ protocol for RS-485 input allows communications up to 4000 feet away
- <1% metering accuracy for 13 generator parameters
- Meets C37.90.1-1989 for Surge Withstand and Fast Transient
- UL recognized, CSA certified, CE compliant
- U.S. Patent Number 5,294,879

DESCRIPTION

The DECS-300 is a microprocessor based excitation controller. It provides output control signals to control the firing (output) of an external power bridge. The DECS-300 is designed to work with Basler Electric's SSE and SSEN power bridges, but will work equally well with any power bridge suitable for use on a synchronous generator/motor that has a firing circuit capable of accepting the control signal output from the DECS-300. The DECS-300 is a total excitation control system in one 19 inch rack mount enclosure. It contains all the functionality necessary to limit, control and protect a generator from operating outside of the machine's capability. DECS-300's sophisticated design

allows the nonactive control mode within the unit to follow the active mode, permitting bumpless transfer between modes. The software also allows for unit-to-unit communication, permitting autofollowing and transfer between DECS-300 units. It can also communicate to a PC via the front panel RS-232 port for local programming and metering, and it can communicate via Modbus™ protocol via the rear-mounted RS-485 port for communications up to 4000 feet away from the DECS-300 unit. The DECS-300 has all the features, functionality, flexibility and programmability expected from a state-of-the-art microprocessor based product.

APPLICATIONS

The DECS-300 is an excitation control system used to control the output voltage, VARs or Power Factor of a synchronous generator by varying or controlling the amount of dc excitation applied to either the generator's main field or exciter field. The DECS-300 is suitable for virtually any kW size machine.

SPECIFICATIONS

INPUTS

Power Input

DECS-300-L: 24/48Vdc nominal (16-60Vdc), Burden=30W.

DECS-300-C: 120Vac nominal (85 to 132Vac, 50 or 60Hz), Burden=5VA.
125Vdc nominal (90 to 150Vdc), Burden=30W.

Generator Voltage Sensing

Single-phase or three-phase line voltage, two ranges:

- 100V/50Hz nominal (85 to 127V), 120V/60Hz nominal (94 to 153V)
- 200V/50Hz nominal (170 to 254V), 240V/60Hz nominal (187 to 305V)

Bus Voltage Sensing

Single-phase line voltage (AC), two ranges:

- 100V/50Hz nominal (85 to 127V), 120V/60Hz nominal (94 to 153V)
- 200V/50Hz nominal (170 to 254V), 240V/60Hz nominal (187 to 305V)

Generator Current Sensing

Two ac current sensing ranges and two channel (phase) inputs

- 1A, phase B; 1A, phases A or C
- 5A, phase B; 5A, phases A or C

SPECIFICATIONS, continued

Sensing Burden

Voltage: Less than 1VA per phase.
Current: Less than 1VA.
Parallel Compensation: Less than 1VA.

Contact Switching Inputs

Thirteen contact switching inputs are supplied with 24Vdc to accommodate dry contacts. Contacts are as follows:

- Start
- Stop
- Alarm Reset
- Unit/Parallel Operation
- Internal Track Enable
- AVR Mode
- FCR Mode
- VAR/PF Enable
- Pre-position
- Raise Switch
- Lower Switch
- Secondary DECS Enable
- External Track Enable

Remote Set Point Control (Accessory Input)

Two separate analog inputs for remote set point control. Typically used to accept a signal from a Power System Stabilizer. Select one from the configuration menu.

- ±10Vdc
- 4 to 20 milliamperes

OUTPUTS

Control Outputs

Two analog outputs for set point control. Output intended to drive external Firing Circuit/Rectifier Bridge. Select one from the configuration menu.

- ±10Vdc or 0 to +10Vdc
- 4 to 20 milliamperes

Contact Outputs

Make and carry for tripping duty

30 amperes for 0.2 seconds per ANSI C37.90; continuous for 7 amperes

Break resistive or inductive

0.3 amperes at 125 or 250Vdc (L/R=0.04 maximum).

Eight output contacts rated as described with 300 volt surge suppressors installed across contacts to prevent arcing from inductive loads. Contacts are as follows:

- Buildup
- Fail-to-flash
- Watchdog
- Start/Stop
- Relay #4
- Relay #3
- Relay #2
- Relay #1

ISOLATION MODULE

(Isolation module and case are included with DECS-300)

Operating voltage + and - 12Vdc from DECS-300.
Five field voltage sensing ranges: 32, 63, 125, 250 and 375 volts
Field analog output signal: 0.9 to 9.1Vdc(5.0Vdc=0 field voltage)

Two field current sensing ranges: 50 and 100 millivolts.
Field analog output signal: 2.0 to 9.5Vdc (2.0Vdc=0 field current)

COMMUNICATION

There are three communication ports, two RS-232 and one RS-485.
COM0: RS-232, 9 pin, sub-D connector located on front panel and used to communicate with local computers. 1200 to 19200 baud, 8N1 full duplex, ASCII commands
COM1: RS-232, 9 pin, sub-D connector located on rear panel and used to connect primary and backup DECS-300 units or other devices. 1200 to 19200 baud, 8N1 full duplex, unique ASCII commands, only used for autotracking

SPECIFICATIONS, continued

COM2: RS-485, located on rear panel and used to communicate with local or remote computers or other devices. 1200 to 19200 baud, 8N1 half duplex, Modbus™ protocol

REGULATION ACCURACY

| | |
|--------------|---|
| AVR Mode | Voltage regulation equals $\pm 0.25\%$ over the load range at rated power factor and constant generator frequency. Steady state stability equals $\pm 0.1\%$ at a constant load and generator frequency. Temperature drift equals $\pm 0.5\%$ for 0 to 50°C temperature change. Underfrequency (volts/hertz) characteristic slope from 0 to 3.0 P.U. is adjustable in 0.1 P.U. increments. Voltage regulation error is within $\pm 2.0\%$ of the nominal voltage. |
| FCR Mode | Field current regulation equals $\pm 1.0\%$ of the nominal value for 10% of the bridge input voltage change or 20% of the field resistance change. Otherwise, $\pm 5.0\%$. |
| VAR Mode | $\pm 2.0\%$ of the nominal VA rating at the rated frequency. |
| PF Mode | ± 0.02 PF in the set point PF for the real power between 10 and 100% at the rated frequency. (e.g.-set point PF = 0.80, PF regulation is from 0.78 to 0.82 PF.) |
| Autotracking | $\pm 0.5\%$ of the nominal field voltage change when transferring. |

PARALLEL COMPENSATION Can use either reactive droop or reactive differential (cross-current) compensation. Adjustable 10% of the rated generator voltage droop with optional 1 ampere or less or 5 amperes or less input. For parallel compensation, burden is less than 1VA.

FIELD OVERVOLTAGE PROTECTION Adjustable in increments of 1.0Vdc from 1.0 to 900Vdc rated output voltage with a 0.2 to 30 second inverse time delay settable in increments of 0.1 second.

FIELD OVERCURRENT PROTECTION Adjustable in increments of 0.1% steps of rated field current from 0 to 9999Adc excitation current setting with an inverse time delay (ANSI C50.13).

FIELD OVERTEMPERATURE PROTECTION Adjustable from 0 to 300.0 degrees C or F in 0.1 steps. The parameters needed for the DECS-300 to calculate field temperature are: field ambient temperature, brush voltage drop, and field resistance. This feature is intended for generator main field applications and not for rotary exciter applications.

GENERATOR UNDERVOLTAGE PROTECTION Adjustable in increments of 1Vac from 0 to 30kV sensing voltage setting with a 0.5 to 60 second inverse time delay (ANSI C50.13) settable in increments of 0.1 second.

GENERATOR OVERVOLTAGE PROTECTION Adjustable in increments of 1Vac from 0 to 30kV sensing voltage with a 0.1 to 60 second inverse time delay (ANSI C50.13) settable in increments of 0.1 second.

LOSS OF SENSING The loss of sensing is factory set at 50% of nominal. The time delay is adjustable for 0-30 seconds in 0.1 second increments.

SOFT-START Functional in AVR and FCR with an adjustable rate of 1 to 200 volts per second in AVR, and 1 to 33% of the manual set point per second.

SPECIFICATIONS, continued

| | |
|---|---|
| OVEREXCITATION LIMITING | Limiter response time is less than three cycles. |
| On-Line | Level One - Highest current level (instantaneous) set point adjustable from 0 to 9999Adc in 0.1% increments of the rated field current. Limiting occurs for a time period ranging from 0 to 60 seconds, settable in 1 second increments |
| | Level Two - Medium current level set point adjustable from 0 to 9999Adc in 0.1% increments of the rated field current. Limiting occurs for a time period ranging from 0 to 120 seconds, settable in 1 second increments. |
| | Level Three - Lowest current level set point adjustable from 0 to 9999Adc in 0.1% increments of the rated field current. Limiting occurs indefinitely. |
| Off-Line | Level One - Highest current level set point adjustable from 0 to 9999Adc in 0.1% increments of the rated field current. Limiting occurs for a time period ranging from 0 to 60 seconds, settable in 1 second increments. |
| | Level Two - Lowest current level set point adjustable from 0 to 9999Adc in 0.1% increments of the rated field current. Limiting occurs indefinitely. |
| UNDEREXCITATION LIMITING | Adjustments based on generator ratings. |
| MANUAL EXCITATION CONTROL | Regulates field current from 0 to 5000A in increments of 0.1% of the rated output current |
| VOLTAGE MATCHING | Matches utility bus RMS voltage with generator output RMS voltage within $\pm 0.15\%$ of the generator voltage |
| RFI (Radio Frequency Interference) | Meets IEC 60255-22-6 (RF Conducted) and IEC 60255-22-3 (Radiated Electro-magnetic Field) |
| FAST TRANSIENT | Meets IEC 60255-22-4 |
| EMISSIONS | Meets CISPR11/EN55011 Level A |
| ENVIRONMENTAL | |
| Operating temperature | -40°C to +60°C |
| Storage temperature | -40°C to +85°C |
| Shock | 15 Gs in each of three mutually perpendicular planes |
| Vibration | 2Gs at 10 to 500Hz |
| Size | 19 inch rack mount, 3 rack units high |
| Weight | 13.5 lb. (6.12kg) net, 17 lb. (7.71kg) shipping |

FEATURES/FUNCTIONS

Voltage Regulation

The DECS-300 regulates the generator RMS voltage to within 0.25% from no-load to full-load. It does this by utilizing digital signal processing and precise regulation algorithms developed by Basler Electric, utilizing the experience gained in many years of manufacturing tens of thousands of digital voltage regulators.

Output Signals

The DECS-300 sends an output signal of 4-20mA, 0-10Vdc, or ± 10 Vdc to the firing or control circuits of external power stages. The dc current from the power stages provides excitation to the field of the main generator or exciter. DECS-300 can control virtually any bridge, capable of accepting these signals, that is suitable for use on synchronous generators/motors.

Stability

The DECS-300 utilizes proportional (P), integral (I) and derivative (D) stability control. DECS-300 has 40 preprogrammed stability (PID) settings for both main field (20 settings) and exciter field (20 settings) applications. This means that a standard stability setting is already available for most applications/machines. The DECS-300 has a stability range that allows for customizing the stability settings to fine tune the stability to provide optimum customized generator transient performance. Setup software contains PID selection program to assist in determining the correct PID settings. The DECS-300 provides for customizing the stability and transient performance of the Min/Max Excitation Limiter and VAR/PF controllers by providing additional stability adjustments.

Underfrequency Limiter or V/Hz Ratio Limiter

DECS-300 is selectable for either Underfrequency Limiter or a V/Hz Ratio Limiter function. The underfrequency limiter slope can be tuned to have 0 to 3 times p.u. Volts/Hz, in 0.1Hz increments, and the frequency roll-off kneepoint can be set across a range of 45 to 65Hz, in 0.1Hz increments. This adjustability allows the DECS-300 to precisely match the operating characteristics of the prime mover and the loads being applied to the generator. The V/Hz Ratio Limiter clamps the regulation set point to prevent operation above a V/Hz level that is prescribed by the slope and roll-off settings as stated above. This feature is also useful for other potentially damaging system conditions such as a change in system voltage and reduced frequency situations that exceed the V/Hz ratio.

Softstart Voltage Buildup

Generator voltage overshoot can be harmful to the generator's insulation system if not controlled. DECS-300 has a softstart feature with a user-adjustable

setting to govern the rate at which the generator voltage is allowed to build up. This prevents the generator voltage from overshooting nominal voltage levels during start-up of the generator system.

Paralleling Compensation

DECS-300 has provisions to parallel two or more generators using reactive droop or reactive differential compensation with the addition of an external current transformer with secondary currents of 1 or 5Aac. The current input is rated at less than 1VA. This low burden means that existing metering CTs can be used and dedicated CTs are not required.

Set Point Control

DECS-300 has means for external set point adjustment of the controlling mode of operation. This eliminates the need for additional equipment like motor operated potentiometers for remote control or multiple point control for the excitation system. The operating mode's set point may be directly controlled by raise/lower contact inputs, auxiliary inputs of 4-20mA or ± 10 Vdc. The auxiliary input adjusts the operating mode across its predetermined adjustment range. The auxiliary input can be provided from other controlling devices such as a power system stabilizer. These devices modify the operation of the DECS-300 to meet specific operating characteristics and requirements for the machine under DECS-300 control. Two more methods of set point control may be achieved via the RS-232 communication port by using the Windows® based PC software or by the RS-485 port using Modbus™ protocol. Regardless of which method of set point is used (contact inputs, auxiliary input or communications with a PC or PLC), traverse rates of all modes of operation are independently adjustable. This means an operator can customize the rate of adjustment and "feel" to meet his/her needs.

Pre-position Inputs

DECS-300 provides the added flexibility of allowing a predetermined operating point for each mode of operation. With a contact input to the DECS-300, the operating mode is driven to an operating or regulation level assigned to that operation mode by the operator or user. The pre-position inputs operate in one of two modes, Maintain or Release. The Maintain mode prevents adjustment of the set point as long as the pre-position contact is closed. The release mode allows adjustment of the set point even though the pre-position is closed. This feature allows the DECS-300 to be configured for specific system and application needs.

Field Current Regulation Operating Mode

DECS-300 provides a manual channel of operation called Field Current Regulation, or FCR, Mode. In this

FEATURES/FUNCTIONS, continued

mode, DECS-300 regulates the DC output current of the power bridge. It does not rely on the sensing input to DECS-300 and is, therefore, a good source of backup excitation control when loss of sensing is detected. In this mode, control of the generator is totally dependent upon the operator to maintain nominal generator voltage as the load varies on the generator.

VAR/Power Factor Controller Operating Mode

DECS-300 has, as another standard feature, two modes of operation when the generator is in parallel with the utility power grid. The DECS-300 has both VAR and PF modes of operation. When the generator is in parallel with the utility grid, the DECS-300 can regulate the VAR output of the generator to a specific VAR level magnitude or it can vary the VAR output of the generator to maintain a specific power factor as the kW load varies on the generator.

Maximum Excitation Limiters

Each DECS-300 has integrated over/underexcitation limiters. Overexcitation limiters are present for both on-line and off-line excitation levels. This feature provides maximum overexcitation protection by having different settings for off-line operation where load levels require lower levels of excitation. When lower excitation levels are needed, lower limiter settings are required to properly protect the generator.

Minimum Excitation Limiter

The minimum excitation limiter limits the amount of excitation supplied to the field of the generator from dropping below unsafe operating levels. This prevents the machine from possibly slipping poles and from damaging the machine. It limits the amount of VARs being absorbed by the machine, based on user-definable settings.

An internally generated Underexcitation Limiting (UEL) curve can be utilized based on a VAR level at 0kW, or a customizable 5 point UEL curve can be selected to match specific generator characteristics.

Autotracking Between DECS-300 Operating Modes

DECS-300 is an intelligent device that can provide autotracking (autofollowing) of the controlling mode by the non-controlling modes. This allows the operator to initiate a controlled, bumpless transfer of the DECS-300 operating modes, causing minimum amounts of line disturbance for the power system. This feature can be used in conjunction with a set of protective relays to initiate a transfer to a backup mode of operation, such as FCR mode, upon the detection of a system failure or fault, i.e., loss of sensing.

Autotracking between DECS-300 Units

A DECS-300 can also follow (autotrack) a second DECS-300 unit. The first DECS-300 is put into a specific operating mode and follows the excitation level of the first. In the unlikely event of a failure of the first DECS-300, protective relays can initiate a transfer of control from the first to the second DECS-300.

Protective Functions

There are several protection functions built into the DECS-300 unit. These functions may be used as backup to the primary protection relays and can be assigned to up to four programmable output contacts via the PC software. The protection features offer fully adjustable tripping levels and time delays. The protective features are as follows:

- Generator Overvoltage
- Field Overvoltage
- Field Overtemperature
- Generator Undervoltage
- Field Overcurrent
- Watchdog Timer
- Loss of Sensing

Communications

DECS-300 comes complete with Windows® based PC software. This software makes the programming and customization of the DECS-300 easy and fast. The software comes with a PID selection program that allows the user to select stability settings quickly and easily in a user-friendly format. The PC software has a special monitoring function that allows the user to view all settings, a metering screen for viewing all machine parameters, and a control screen for remote control of the excitation system.

The rear-mounted RS-485 port supports Modbus™ communications protocol. This is an open protocol with all registers and operating instructions available in the instruction manual, to make it simple for the user to develop custom communications software.

Password Protection

All DECS-300 parameters are viewable via the front panel LCD display, the PC software or via Modbus™ without the need of a password. If the user wishes to change a setting, the proper password must be entered to allow access to the parameter. Two levels of password protection exist, one for global access of all parameters and one for a limited amount of access to parameters normally associated with operator control.

CONNECTIONS

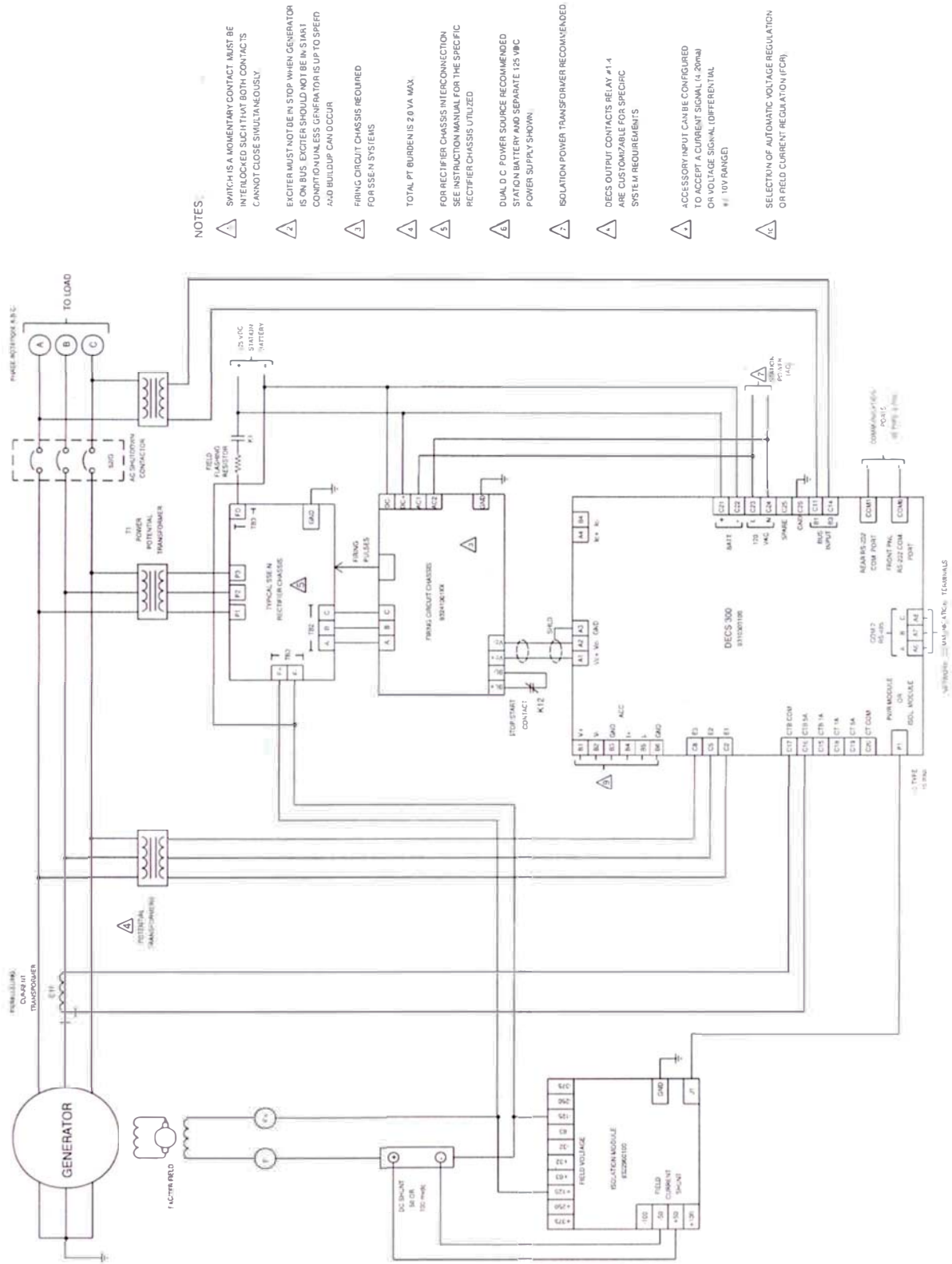


Figure 1 - Typical AC Connection Diagram

CONNECTIONS, continued

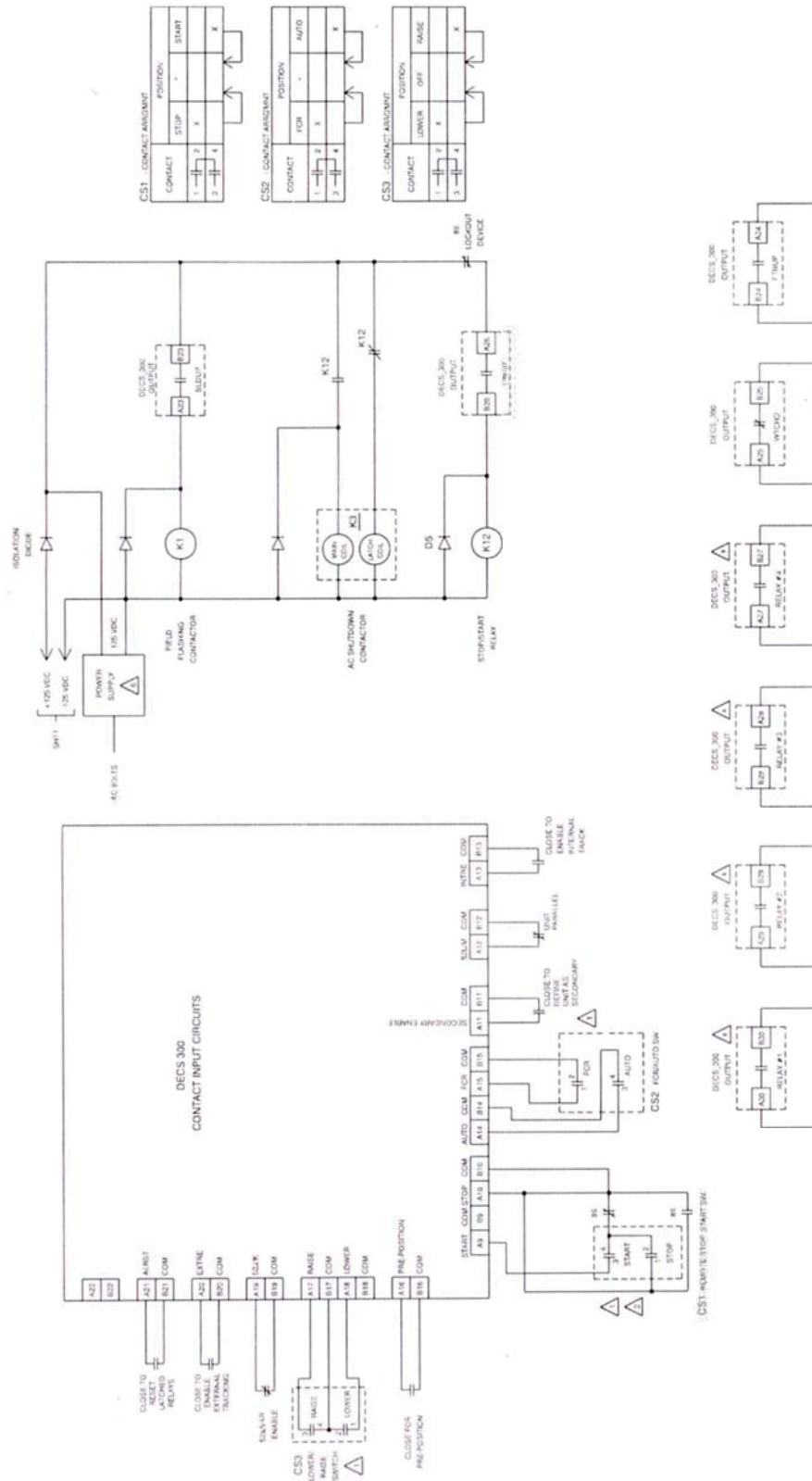
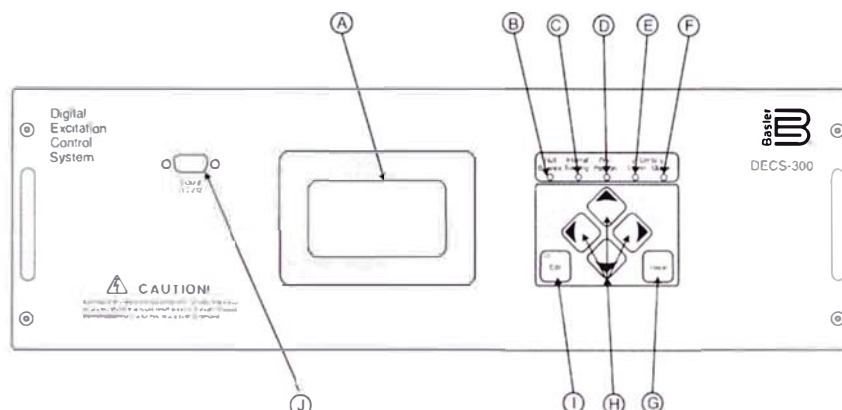


Figure 2 - Typical DC Connection Diagram

FRONT and REAR PANEL VIEWS

The front panel HMI (Human Machine Interface) is composed of several elements, including a backlit LCD screen, six pushbuttons and six LEDs. The LCD is the primary interface because it conveys the majority of the information between the DECS-300 and the user/operator. Front panel pushbuttons allow the user to view menu screens and modify the various screen settings and operating conditions. The LEDs annunciate their respective states.



- A) 64x128 pixel graphic LCD with backlighting. Primary source for receiving information from the DECS or when locally programming settings. Displays operations, setpoints, loop gains, metering, protection functions, system parameters and general settings.
- B) Null Balance LED – Turns ON when the inactive modes (AVR, FCR, VAR, or PF) match the active mode.
- C) Autotracking LED – All inactive modes (AVR, FCR, VAR, or PF) track the active mode to accomplish the bumpless transfer when changing active modes.
- D) Pre-Position LED – Turns ON at the predefined setting (within the limits of the setpoints) of the current mode.
- E) Lower Limit LED – Turns ON at the minimum setpoint value of the current (active) mode.
- F) Upper Limit LED – Turns ON at the maximum setpoint value of the current mode.
- G) Reset Pushbutton – Cancels editing sessions and can be used as a quick-access to the metering screen.
- H) Scrolling Pushbuttons – Scrolls UP/DOWN/LEFT/RIGHT through the menu tree or when in the EDIT mode, the LEFT/RIGHT scrolling pushbuttons select the variable to change and the UP/DOWN scrolling pushbuttons change the variable.
- I) Edit Pushbuttons – Enables settings changes. When the EDIT pushbutton is first pushed, an LED on the pushbutton turns ON to indicate the edit mode is active. When changes are complete (using the scrolling pushbuttons) and the EDIT pushbutton is pushed again, the LED turns OFF, indicating the changes are saved. If changes are not completed and saved within five minutes, the edit mode is exited without saving changes.
- J) Serial Port COM0 – D-type 9 pin connector. This port is dedicated to RS-232 (ASCII commands) communication with a computer terminal or PC running a terminal emulation program such as BESTCOMS™.

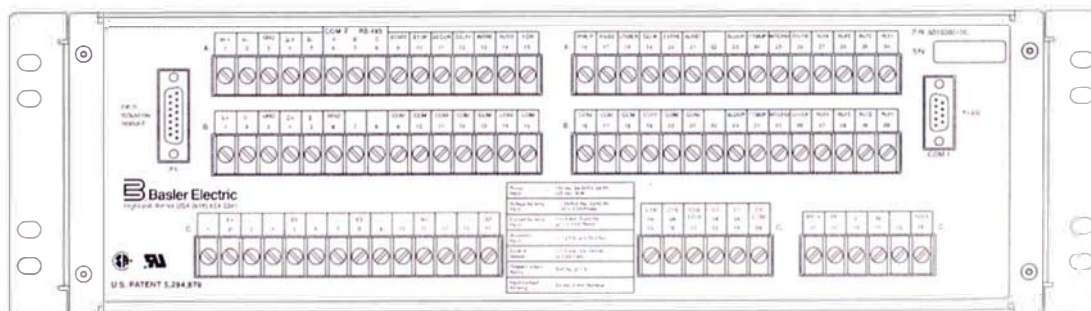
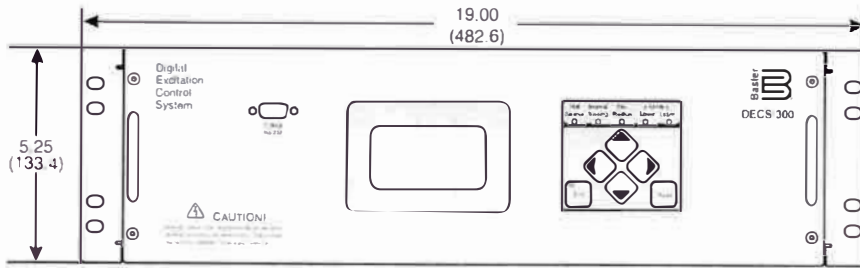
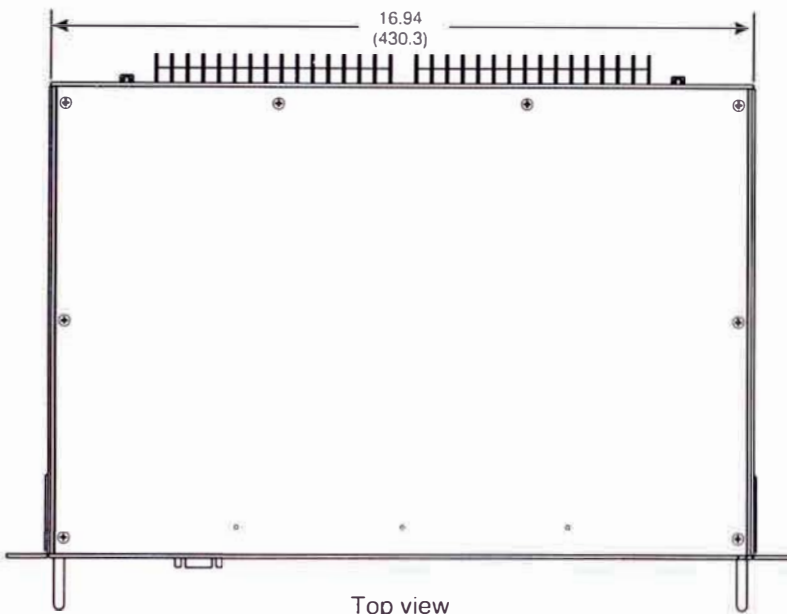


Figure 3 - Rear Panel View

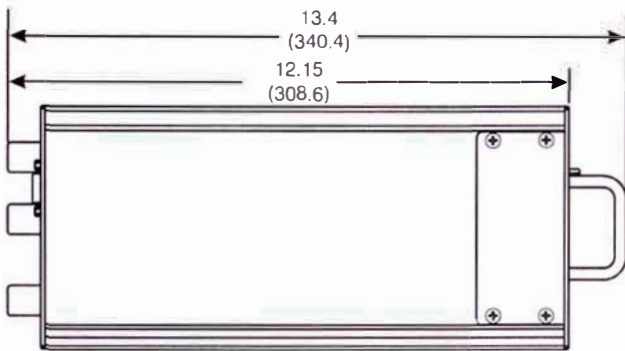
DIMENSIONS



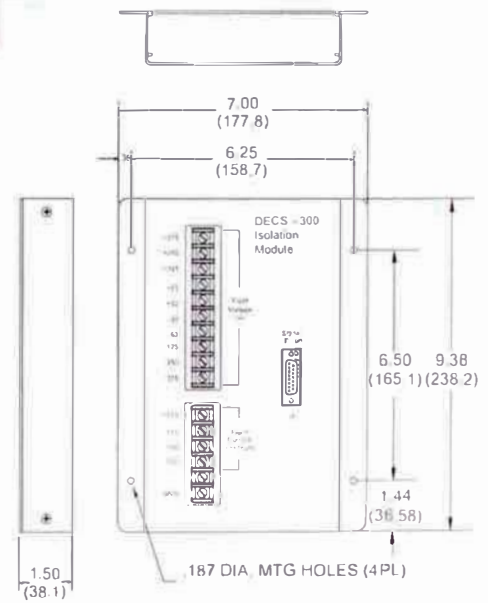
Front view



Top view



Side view



Isolation Module

Figure 4 - Dimensions

CUTOUT/MOUNTING INFORMATION

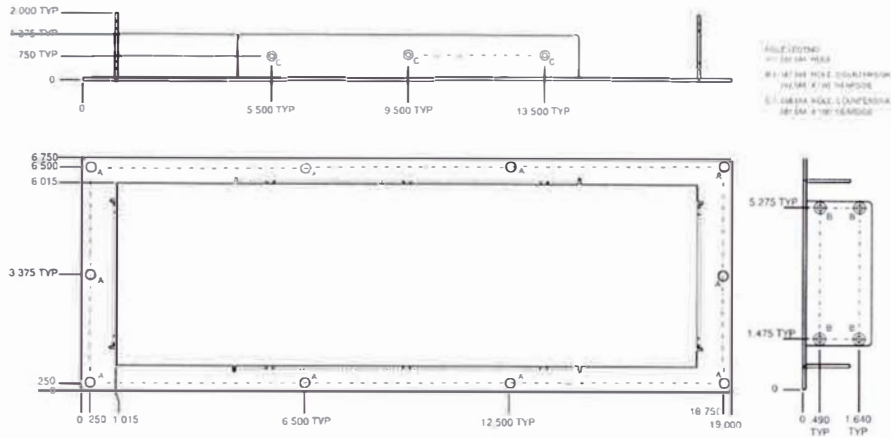


Figure 5 - Front Panel Cutout Dimensions
(Optional front panel mounting bracket, Basler P/N 9310304100)

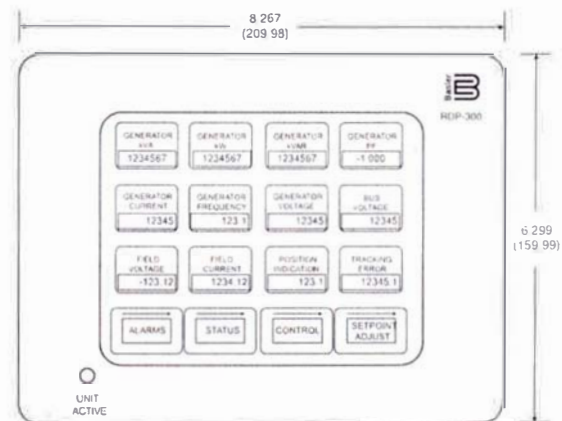
HOW TO ORDER

The DECS-300 is available in one of two power supply ranges. Model number designations are shown below.

| Model | Power Supply |
|------------|-----------------|
| DECS-300-L | 24/48 Vdc |
| DECS-300-C | 120/125 Vac/Vdc |

ACCESSORIES

- Front panel mounting bracket, Basler P/N 9310304100.
- Interconnection cable for dual DECS-300 applications, Basler P/N 9310300032.
- RDP-300 Remote Display Panel (shown on right), is a Human-Machine Interface (HMI) used to provide remote control, view metered quantities, and provide annunciation of system status and alarms available from the DECS-300 system. The RDP-300 features a touch-sensitive 6" diagonal monitoring screen, two-wire RS-485 Modbus™ communication protocol, and may be located up to 4000 feet from the DECS-300. For more details, see Product Bulletin SNE.



Basler Electric



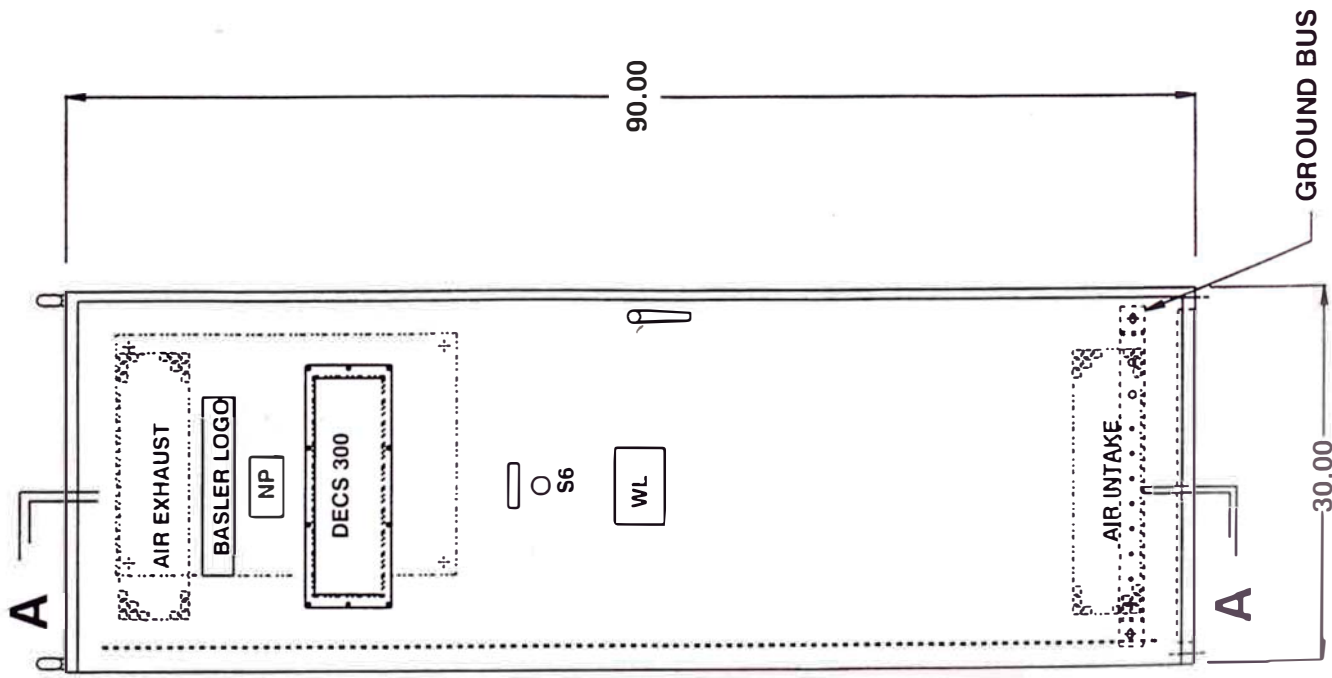
ROUTE 143, BOX 269, HIGHLAND, ILLINOIS U.S.A. 62249
PHONE +1 618.654.2341 FAX +1 618.654.2351

P.A.E. Les Pins, 67319 Wasselonne Cedex FRANCE
PHONE +33 3.88.87.1010 FAX +33 3 88 87.0808

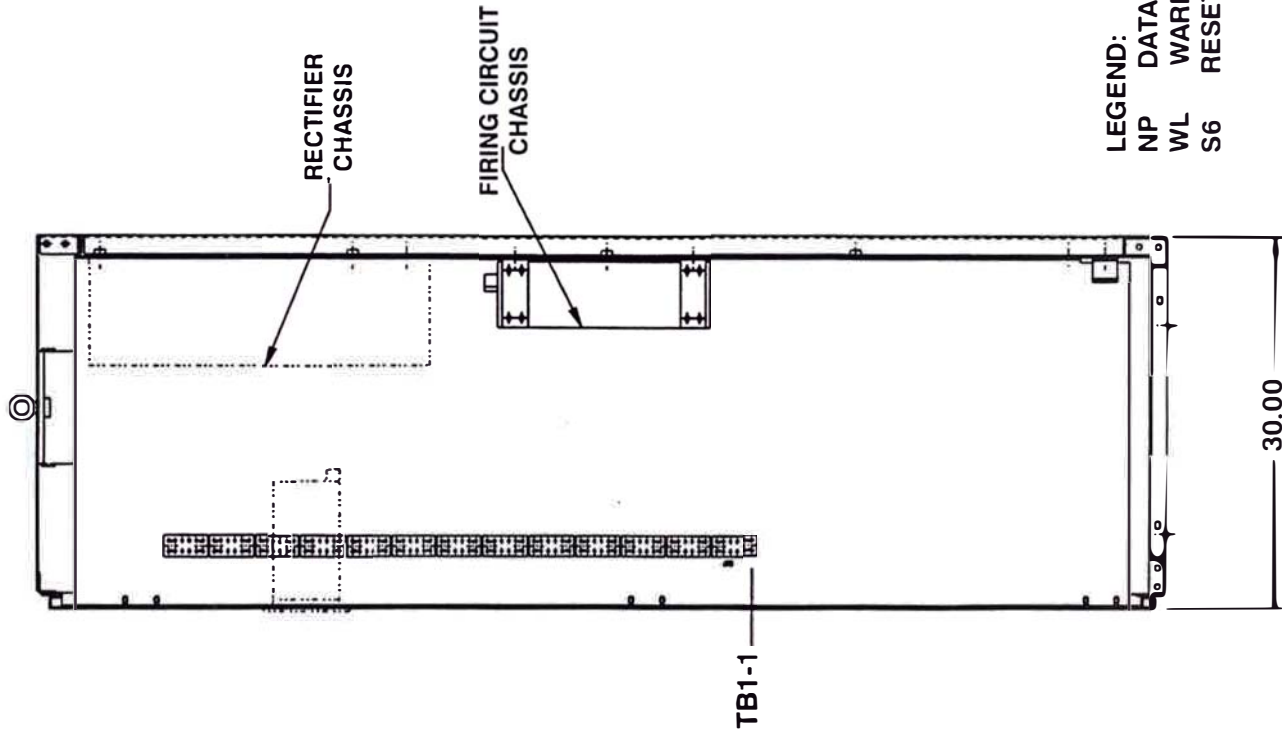
<http://www.basler.com>, info@basler.com

DECS-300 Excitation System Drawing

FRONT VIEW



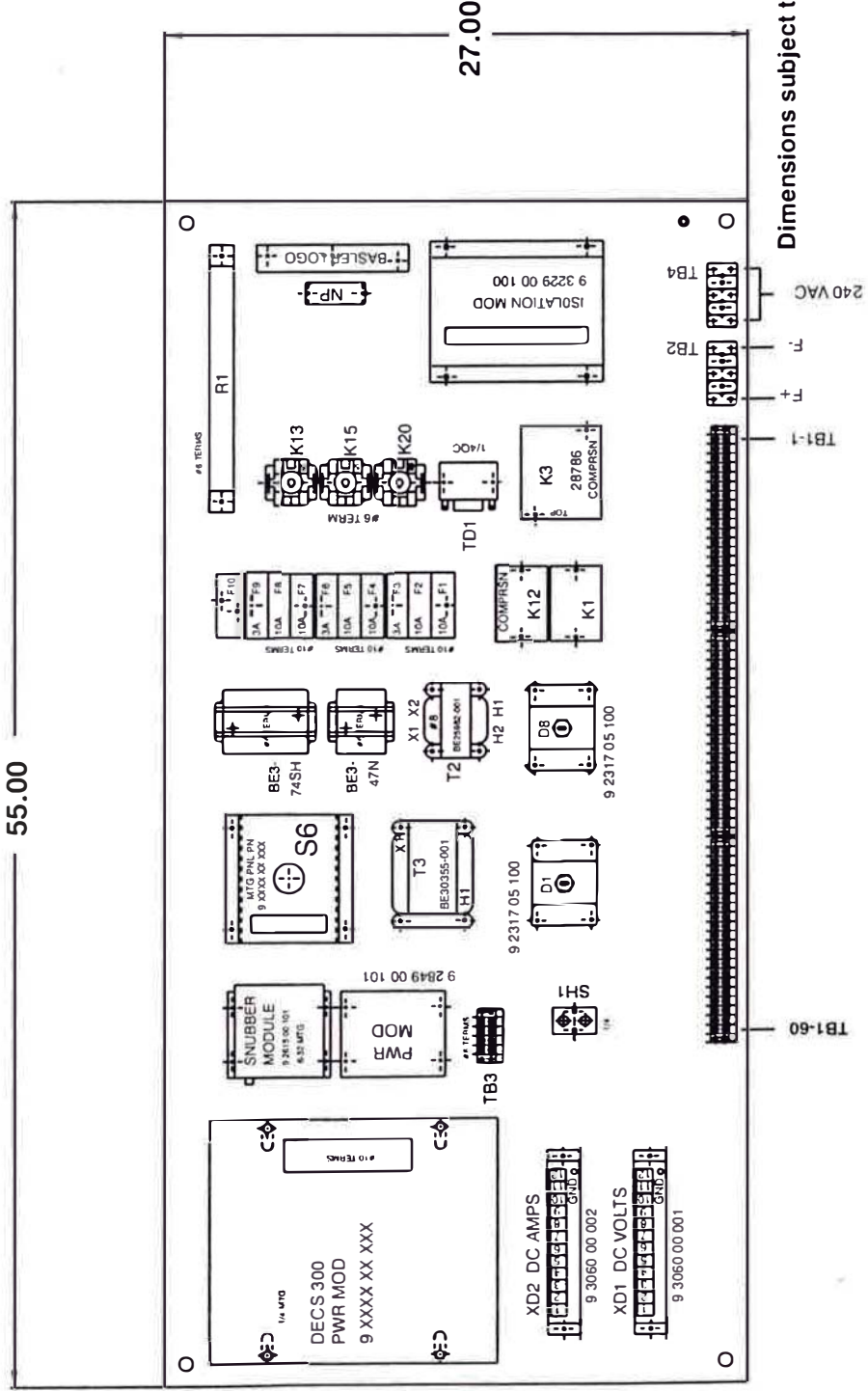
SECTION A-A



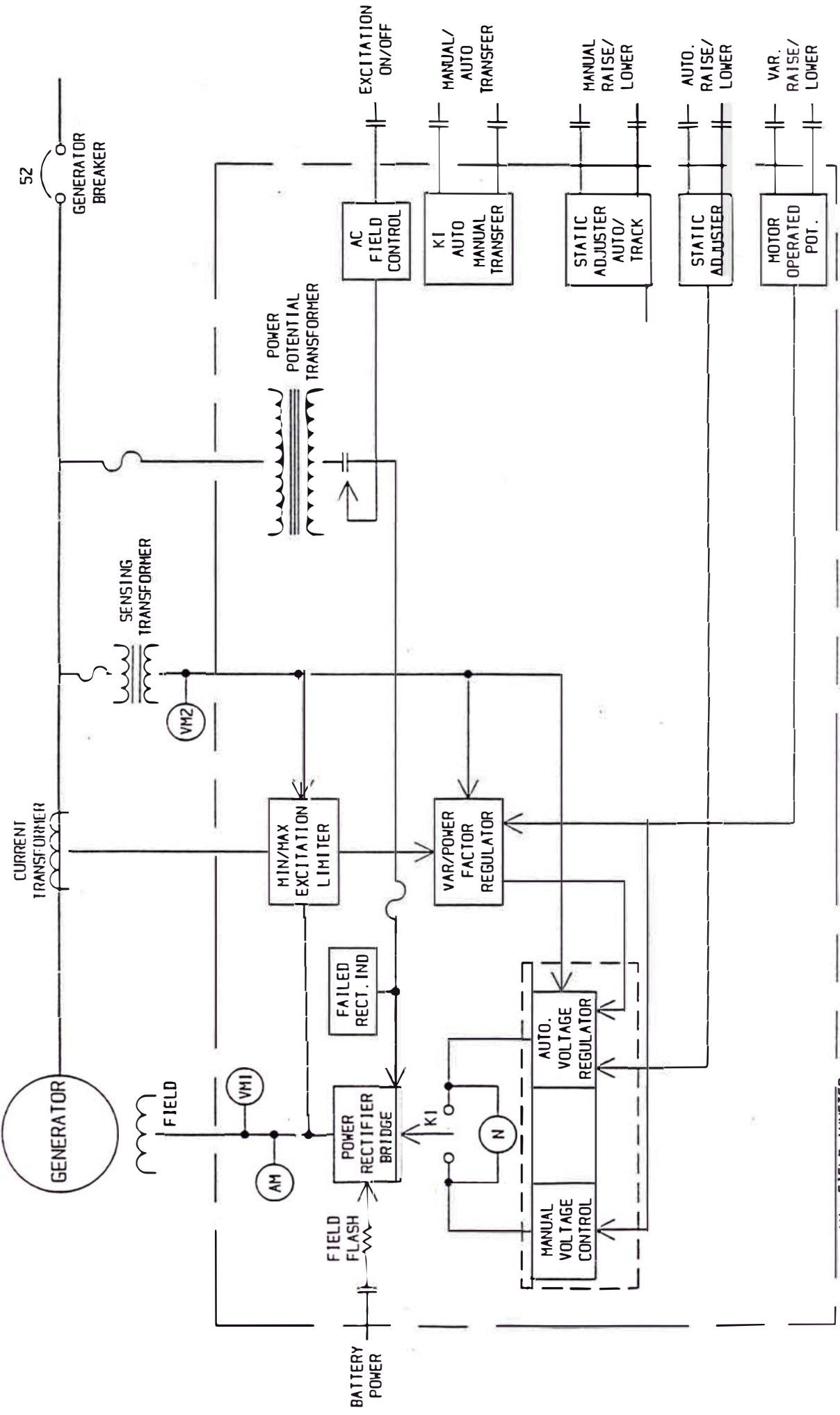
- LEGEND:**
NP DATA NAMPLATE
WL WARNING LABEL
S6 RESET TO NORMAL SW.

Dimensions subject to change without notice.

DECS-300 Outline Drawing



FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM OF TYPICAL SHUNT STATIC EXCITER REGULATOR



52

GENERATOR BREAKER

CURRENT TRANSFORMER

SENSING TRANSFORMER

POWER POTENTIAL TRANSFORMER

EXCITATION ON/OFF

MANUAL/AUTO TRANSFER

MANUAL RAISE/LOWER

AUTO RAISE/LOWER

VAR. RAISE/LOWER

GENERATOR

FIELD

AM

VM1

VM2

K1

N

MANUAL VOLTAGE CONTROL

AUTO VOLTAGE REGULATOR

VAR/POWER FACTOR REGULATOR

MIN/MAX EXCITATION LIMITER

POWER RECTIFIER BRIDGE

FAILED RECT. IND.

AC FIELD CONTROL

K1 AUTO MANUAL TRANSFER

STATIC ADJUSTER AUTO/ TRACK

STATIC ADJUSTER

MOTOR OPERATED POT.

- AM FIELD AMMETER
- VM1 FIELD VOLTMETER
- VM2 GENERATOR VOLTMETER
- N AUTO/MANUAL NULL BALANCE METER