



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“REEMPLAZO CCM ANALOGO POR CCM INTELIGENTE
GENERAL ELECTRIC”

PLANTA DE OXIGENO - DIVISION FUNDICION CHAGRES
ANGLOAMERICAN SUR

IVÁN MARCELO GUTIÉRREZ HERRERA

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD

CONCEPCIÓN – CHILE
2015



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“REEMPLAZO DE CCM ANALOGO POR CCM INTELIGENTE
GENERAL ELECTRIC”

PLANTA DE OXIGENO - DIVISION FUNDICION CHAGRES
ANGLOAMERICAN SUR

IVÁN MARCELO GUTIÉRREZ HERRERA

Profesor Guía
PATRICIO EDUARDO CONCHA FUENTES

Profesores Correctores
RAMON GONZALO ZAMBRANO LAVANDEROS
LUIS ALEJANDRO MUÑOZ SAEZ

INDICE

OBJETIVOS	5
RESUMEN	6
INTRODUCCION	7
CAPITULO I : GENERALIDADES DEL PROYECTO	8
1.1.- INTRODUCCION	8
1.2.- PLANEACION	8
1.3.- COORDINACION DE ESTUDIO	11
1.4.- DESCRIPCION GENERAL DE FUNDICION CHAGRES	11
1.4.1.- Descripción General y Ubicación Geográfica	11
1.4.2.- Proceso de Producción	12
1.4.3.- Situación de Producción Actual y Proyectada	16
1.4.4.- Fuentes de Energía	16
1.4.5.- Fusión	17
1.4.6.- Conversión	18
1.4.7.- Planta de Ácidos	19
1.5.- PLANTA DE OXIGENO CRIOGENICA	20
1.5.1.- Descripción del Proceso	20
1.5.2.- Descripción de la Planta	21
1.5.3.- Importancia de la Planta de Oxigeno	24
1.6.- PROBLEMÁTICA	25
1.6.1.- Introducción	25
1.6.2.- Observaciones Técnicas	26
1.7.- PLANTEAMIENTO DEL CONTRATO	28
1.7.1.- Disposiciones Contractuales	28
1.7.2.- Desmontaje CCM	28
1.7.3.- Montaje CCM	30
1.8.- PRUEBAS	32
1.8.1.- Hi-Pot	32
1.8.2.- Pruebas de Aislación	32
1.8.3.- Pruebas de Continuidad	33
1.8.4.- Ejecución de Pruebas	34
CAPITULO II : CENTRO DE CONTROL DE MOTORES (CCM)	36
2.1.- INTRODUCCION	36
2.2.- CENTRO DE CONTROL DE MOTORES (CCM)	36
2.3.- CARACTERISTICAS ELECTRICAS	36
2.4.- CARACTERISTICAS DEL CCM	38
2.4.1.- Características Físicas y de Diseño	38
2.4.2.- Unidad Combinada (Modulo)	42
2.5.- REQUERIMIENTOS TECNICOS	43
2.5.1.- Equipo para Entrada de Línea o Servicio	43
2.5.2.- Partidores a Plena Tensión	44
2.5.3.- Partidores con VDF	44

2.5.4.- Alimentadores (Feeders)	45
CAPITULO III : FUNDAMENTOS TEORICOS RELACIONADOS	46
3.1.- INTRODUCCION	47
3.2.- OPERACIÓN Y USO DE MOTORES	47
3.3.- ALIMENTACION TRIFASICA	51
3.4.- CONEXIÓN ESTRELLA	53
3.4.1.- Conexión Estrella Balanceada	54
3.4.2.- Conexión Estrella Desbalanceada	57
3.5.- CONEXIÓN DELTA	59
3.6.- POTENCIA	61
3.7.- FACTOR DE POTENCIA	62
CAPITULO IV : CALCULO DE PARAMETROS	63
4.1.- INTRODUCCION	63
4.2.- CALCULOS JUSTIFICATIVOS	63
4.2.1.- Cálculos Nominales	63
4.2.2.- Resumen General de Cargas	65
4.3.- CALCULO DE ALIMENTADORES	67
4.3.1.- Calculo de Alimentador Principal	67
4.3.2.- Sub-Alimentadores	69
4.4.- PROTECCIONES	73
4.4.1.- Intensidad de Cortocircuito General	74
4.4.2.- Intensidad de Cortocircuito por Equipos	76
CAPITULO V : COMUNICACIÓN PROFIBUS	80
5.1.- INTRODUCCION	80
5.2.- SISTEMA DE COMUNICACIONES	80
5.3.- CARACTERISTICAS GENERALES	81
5.4.- PERFILES	82
5.5.- MEDIDAS FISICAS DE TRANSMISION DE DATOS	84
5.6.- OPERACIÓN	86
5.7.- FUNCIONALIDAD	88
CONCLUSIONES	89

OBJETIVOS

Debido a lo antiguo del centro de control de motores (CCM) de la Planta de Oxígeno de Fundición Chagres, es que se propuso el cambio de dicho CCM, el cual alimenta, controla y suministra energía a la totalidad de los motores involucrados en el proceso de obtención de oxígeno a utilizar en el proceso de fundición.

Dentro del proceso de modernización de Fundición Chagres, está contemplado el cambio total del centro de control de motores (CCM) de la Planta de Oxígeno, por un CCM de tipo inteligente (comunicación mediante Profibus), con lo cual deberá ser propuesto, fabricado y ejecutado durante la Parada de Planta año 2014 de la Fundición Chagres, la cual tiene una duración de 20 días y que se desarrolla cada dos años; por lo que los trabajos deben ser ejecutados dentro de los primeros 15 días de la Parada de Planta 2014, para obtener un plazo de cinco días para el comisionamiento, puesta en marcha y entrega del CCM.

Este trabajo contempla desde el estudio técnico del reemplazo del CCM (ingeniería de detalle), la ejecución del retiro del CCM, el montaje del nuevo CCM y hasta su posterior puesta en marcha. Vale decir, abarca las principales aristas del proyecto, haciendo un importante hincapié en las medidas de control y mitigación, propias e intrínsecas en una faena de tipo minera.

Importante es señalar, que es de suma importancia la obtención de oxígeno en el proceso de fundición, debido a que es esta planta la que suministra el oxígeno suficiente para producir la combustión interna de los hornos, lo que resultará en la fundición del concentrado de cobre, refinación y posterior moldeo en barras de cobre, por lo que un error en cualquiera de los pasos de trabajo, resultará en la no partida de la planta, así como la pérdida de activos por parte de la compañía.

RESUMEN

- **Capítulo 1:** Aquí se hace mención a las generalidades del proyecto en cuestión, tales como el planeamiento del proyecto, los estudios pertinentes realizados para su remoción y posterior colocación del nuevo CCM, a los aspectos técnicos del CCM actual, la identificación de fallas y problemas que contenía el antiguo CCM, la colocación del nuevo CCM y la realización de pruebas, además de algunos detalles de cómo opera la fundición Chagres y la planta de oxígeno de la fundición.
- **Capítulo 2:** Se describe el centro de control de motores o CCM, sus características eléctricas, físicas y de diseño, los materiales ocupados en su construcción, el equipamiento montado en él y las características del equipamiento montado.
- **Capítulo 3:** Se detallan los motores controlados por el CCM, sus características físicas, eléctricas y su respectivo conexionado, describiendo también la alimentación trifásica de los motores que son controlados a través del CCM. Se incluyen las respectivas ecuaciones del conexionado y potencia.
- **Capítulo 4:** Se realizan los correspondientes cálculos para que el nuevo CCM sea puesto en marcha y se asegure su funcionamiento sin inconvenientes, así también con estos cálculos se justifican las variables mínimas eléctricas y otorgan confianza y seguridad que el nuevo CCM no presentara fallas ante probables inconvenientes, tales como sobretensiones ,cortocircuitos y sobrecorrientes .
- **Capítulo 5:** Se detalla a cabalidad el sistema de comunicación Profibus, sus características principales, como opera el sistema de comunicación Profibus, el porqué de su utilización para la comunicación entre el panel de control, CCM y los motores de la planta de oxígeno y algunas características del cable Profibus además de un esquema demostrando la simplicidad del sistema de comunicación Profibus y lo conveniente que es implementarlo.

INTRODUCCION

Lo relevante de este trabajo, es detallar el proceso de cambio del CCM de la planta de oxígeno de la fundición Chagres de AngloAmerican.

Dado que el actual CCM está en operación desde la puesta en marcha de la planta de oxígeno, la cual data desde 1992, es de vital importancia realizar la actualización de un CCM análogo por un CCM operado por sistema digital Profibus, para así asegurar una correcta operación de la planta de oxígeno. Para llevar a cabo esta modernización del CCM, es importante saber las características del CCM actual, tales como la disposición de cada gabinete en cada columna, su correspondiente cableado, sus requerimientos energéticos, etc.

En este trabajo también se detalla los aspectos técnicos del cambio de CCM, los cuales tienen por objetivo representar y demostrar de manera teórica el remplazo del CCM por uno más moderno, con las ventajas que un cambio así podría traer al proceso productivo de obtención de cobre por parte de AngloAmerican, tales como mayor seguridad, mayor control sobre el proceso de obtención de oxígeno y una mejor comunicación entre el panel de control y los respectivos sensores ubicados en la planta de oxígeno. También se incluyen las diferentes pruebas realizadas al nuevo CCM para así cerciorarnos que el nuevo CCM cumple con los estándares de AngloAmerican, además de asegurar su óptimo funcionamiento y una eventual respuesta adecuada ante algún desperfecto o ante alguna sobrecarga en el sistema.

También es importante recalcar, a modo de agradecimiento, a todo el personal que de manera profesional hizo que este cambio de CCM fuera posible, ya que sin el trabajo de ellos, su experiencia y su perspicacia habrían hecho de este cambio un proceso mucho más complicado y dificultoso.

CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1.- INTRODUCCIÓN

Una vez determinadas las necesidades intrínsecas del proyecto, se procede a realizar el estudio de diagnóstico para el desarrollo del proyecto, determinándose que dadas las características del CCM actual, su disposición y funcionalidad dentro del proceso productivo de la Fundición Chagres; es pertinente el pensar en la modernización de dicho CCM, el cual no ha sido cambiado ni modificado desde que fue construida la Planta de Oxígeno, en el año 1993, implicando el correspondiente desarrollo del proyecto eléctrico. En ese sentido, se hace primordial el describir el funcionamiento de cada una de las etapas productivas de la fundición, así como su funcionamiento a grandes rasgos.

Con el fin de ser más específicos en el desarrollo del proyecto, se puntualiza en algunas actividades del proceso productivo y de manera específica, en el funcionamiento de la Planta de Oxígeno controlada por dicho CCM. Asimismo, se establece el contexto general del proyecto, ubicación y áreas afines.

1.2.- PLANEACION

Para la planeación de todo proyecto, es importante tener las bases adecuadas que permitan sustentarlo, tomando en cuenta todas las variables para su aprobación y desarrollo; desde el presupuesto disponible, el tiempo de ejecución, la factibilidad, condiciones sociales, normatividad y otros aspectos importantes, que se consideran como parte del proceso de planeación.

Considerando estas variables, se requiere establecer las etapas funcionales para el correcto desarrollo del proyecto, las que se plasman en lo que se define como proceso de planeación, donde cada una de las etapas del proceso requiere de actividades específicas.

Las etapas del proceso de planeación consideradas para el desarrollo de este proyecto se muestran en la figura 1.1.

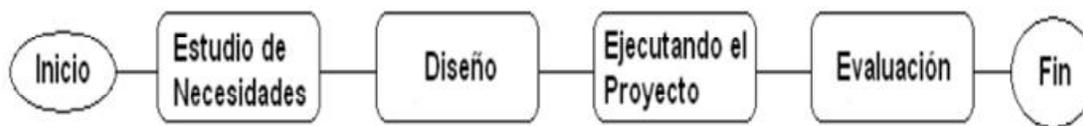


Figura 1.1: Proceso de planeación

En cada una de las etapas del proceso, se requiere puntualizar en las actividades a desarrollar de manera coordinada tanto administrativa como ejecutivamente. Atendiendo al principio descrito anteriormente, en las figuras 1.2 y 1.3, se puntualizan, respectivamente, las actividades correspondientes al estudio de necesidades y a la etapa del diseño del proyecto.



Figura 1.2: Flujograma de las actividades del Estudio de Necesidades

- **Inicio:** Se describen las necesidades y el motivo por el cual es necesario realizar el cambio del CCM
- **Planeación:** Se realiza la correspondiente organización de los requerimientos técnicos para la ejecución del estudio técnico-económico de lo que implicaría el cambio del CCM. Dicha labor estuvo a cargo del Departamento de Proyecto de Fundación Chagres.
- **Estudios Coordinados:** Se busca que todas las especialidades que participaran en el proceso de cambio aporten con sus ideas, inquietudes y conocimientos para la planeación del reemplazo, implicando disciplinas tales como Instrumentación, Electricidad, Operaciones y Seguridad Operacional.
- **Levantamiento:** Se entregan los posibles alcances, pormenores, implicancias y estudios técnicos por cada Departamento y Especialidad descrita anteriormente.
- **Factibilidad:** Con toda la documentación aportada por los participantes del estudio técnico-económico, se estima cuan factible es realizar el reemplazo propuesto, validando cada uno de los aportes realizados, definiendo los recursos necesarios para la ejecución del proyecto
- **Revisión:** Si el estudio de factibilidad arroja limitantes, problemáticas o errores, el estudio pasa a revisión por cada una de las especialidades, para definir y dar solución a las observaciones arrojadas por el estudio de factibilidad.

- **Diseño:** Una vez que el estudio de factibilidad sale aprobado por cada uno de los integrantes del estudio, la idea del proyecto pasa a la etapa de diseño, en donde se esboza el proyecto de forma completa, considerando todas las etapas que lo integraran, desde el diseño conceptual, ingenieril, memorias de cálculos, diseño de programación, etc.

Cabe señalar, que el proyecto una vez aprobado por el estudio de factibilidad, pasa a la etapa de diseño-ejecución, en donde se le da forma al proyecto, llevando a cabo cada una de las ideas planteadas y aportadas por cada Departamento. Es en esta línea, en donde el proyecto empieza a tomar forma, considerando el siguiente flujograma:



Figura 1.3: Flujograma de las actividades del diseño del CCM

- **Diagrama Unifilar:** Se recogen todos los aportes e inquietudes aportadas por los especialistas de cada Departamento y se insertan al proyecto, formando así un diagrama en el cual se insertan todas esas observaciones y necesidades para el diseño-ejecución del proyecto., partiendo de una idea base y a la cual se adicionan todas las ideas.

- **Cálculos:** De tipo justificativos, y en los cuales se basa la ingeniería de detalle del proyecto, con los que se diseña y dimensiona cada uno de los componentes, desde el más mínimo hasta el equipo de última tecnología que integrará el proyecto.

- **Normatividad:** Plantea las bases mínimas para que el proyecto cumpla con los estándares mínimos requeridos por el proyecto; y los cuales serán de exigencia para el cumplimiento que el ente regulador exige.

- **Evaluación:** En este ítem, se estudia que cada uno de las etapas anteriores tengan relación unas con otras, y que representen las necesidades planteadas al inicio del proyecto. También deben considerar que los cálculos y la planimetría no tengan errores.

- **Aprobación:** El jefe del proyecto debe dar su visto bueno a cada una de las etapas mencionadas anteriormente, con el fin de que el proyecto salga a la luz y comience su ejecución.
- **Ejecución:** Comprende la construcción a cabalidad de todo lo diseñado y dispuesto en el proyecto, comprendiendo todas las disciplinas que participan en el proceso constructivo.

1.3.- COORDINACIÓN DE ESTUDIOS

Los estudios requeridos comprenden la ingeniería conceptual de las obras a realizar en la Planta de Oxígeno de Fundición Chagres. La Oficina de Proyectos de Fundición Chagres fue la encargada de integrar un equipo de trabajo para la realización de los estudios de ingeniería para el nuevo CCM, compuesto por los señores Julio Villalobos (Jefe Oficina de Proyectos), Gonzalo Espinoza (Ingeniero Proyectista Eléctrico - Instrumentación), Jaime Zamora (Jefe Departamento Eléctrico), Raúl Verdejo (Técnico de Especialidad Departamento Eléctrico) y Pedro Reyes (Eléctrico General), todos de AngloAmerican Sur – División Fundición Chagres. Los estudios que comprenden el moldeamiento de un nuevo CCM, fue contratada a “General Electric Chile”, bajo la representación de Roberto Soto, Service Manager de GE. General Electric será la empresa responsable de la construcción del CCM, su moldeamiento arquitectónico así como técnico; es decir, deberán hacer una “copia” fidedigna del CCM actual instalado en la Sala Eléctrica 11N de la Planta de Oxígeno, conservando las dimensiones, disposiciones mecánicas y físicas, asignación de módulos, empalme final, instalación de protecciones y gavetas, etc.

Bajo la arista de ingeniería del proyecto, la empresa responsable será “Atasic Ingeniería”, la cual deberá tener la responsabilidad de la ingeniería de detalle de la migración que se producirá entre el CCM actual y el nuevo CCM. Dentro de las funciones básicas de Atasic Ingeniería, está contemplado el desarme y desconexión completo del CCM actual, el marcado de cables y su correlación, además el correspondiente retiro del CCM actual desde la Sala Eléctrica hasta las bodegas del Departamento Eléctrico de Fundición Chagres; dentro de las tareas a ejecutar con el nuevo CCM esta implican el traslado, izaje, maniobras de ingreso a la Sala 11N y posterior montaje del nuevo CCM, su conexión, comisionamiento de cada uno de los módulos, pruebas y ensayos tales como aislación, puesta a tierra, secuencia de fases, etc. y su posterior puesta en marcha.

1.4.- DESCRIPCIONES GENERALES DE FUNDICION CHAGRES

1.4.1.- Descripción General y Ubicación Geográfica

AngloAmerican es una compañía minera global con sede en Londres, Reino Unido. Es una de las principales productoras de diamantes, cobre, níquel, hierro mineral, carbón térmico y metalúrgico, y la mayor productora mundial de platino, con alrededor del 40% de la producción mundial. Tiene operaciones en África, Asia, Australia, Europa, Norteamérica y Sudamérica. Su fundación parte con Sir Ernest Oppenheimer junto con el americano J.P. Morgan, en el año 1917, cuando ambos empresarios fundan la AngloAmerican Corporation, con operaciones auríferas, contando con un capital de un millón de libras

esterlinas de fondos británicos y americanos, y de este modo, derivó el nombre de la compañía.

En Chile, AngloAmerican Sur opera los yacimientos de Los Bronces ubicado en la Región Metropolitana, con una producción de 365.000 toneladas de cobre fino, además de 981 toneladas de molibdeno, El Soldado ubicado en la V Región, con una producción de 53.893 toneladas de cobre fino, Mantos Blancos ubicado en la II Región, con una producción de 54.200 toneladas de cobre fino, Manto Verde ubicado en la III Región, con una producción de 62.239 toneladas de cobre fino, Fundición Chagres ubicado en la V Región, con una producción de 169.967 de cobre anódico, y la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi ubicada en la I Región, con una producción de 282.045 toneladas de cobre fino, siendo AngloAmerican dueña del 44% de la propiedad y el porcentaje restante es de propiedad de consorcios japoneses liderados por Mitsui & Co.

División Fundición Chagres se ubica en la comuna de Catemu, V Región, a 100 kilómetros al norte de Santiago y a 400 metros sobre el nivel del mar. Su proceso productivo consiste en la fusión de concentrados de cobre provenientes principalmente de las Divisiones Los Bronces y El Soldado, realizándose la fundición mediante un horno flash, tecnología que destaca por bajas emisiones y que hace de esta fundición, líder en materia medio ambiental en Chile

Fundición Chagres inició sus operaciones en el año 1917 como una pequeña fundición en donde se procesaba el material proveniente de la mina El Soldado, en la localidad de Hijuelas a 89 kilómetros de distancia. En 1958 fue comprada por la Compañía Minera Disputada de Las Condes y desde el año 2002 hace parte de la división de metales básicos de Angloamerican Sur. En 2012 produjo 138.671 toneladas de cobre anódico. Chagres cuenta con una dotación aproximada de 500 trabajadores, entre personal propio y contratistas de operación y proyectos. En la figura 1.4 se aprecia una vista general de la Fundición Chagres en la actualidad.

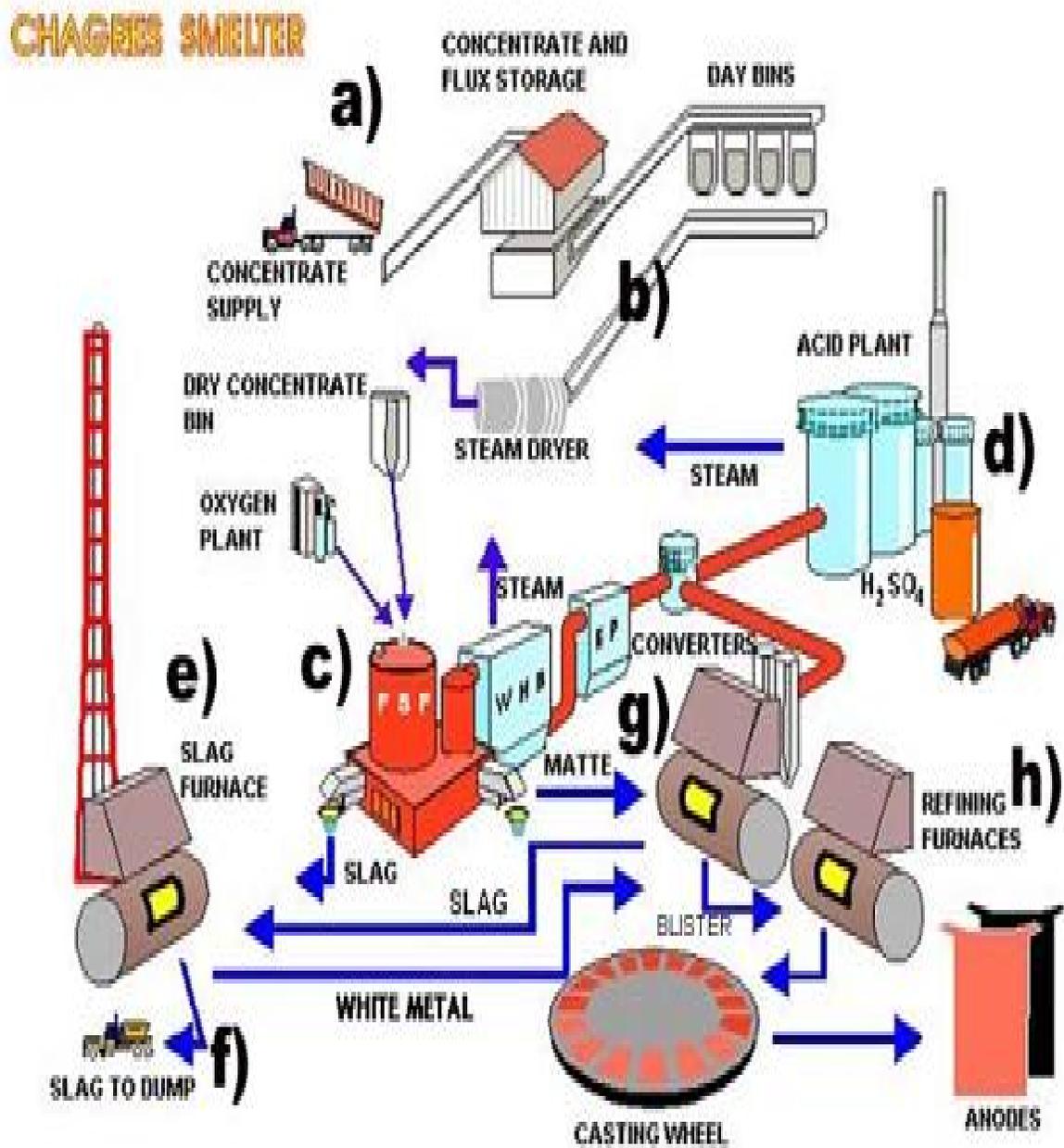


Figura 1.4: Vista General de Fundición Chagres (actualidad)

1.4.2.- Proceso de Producción

Para incrementar progresivamente la ley o contenido de cobre del material sometido a fundición, el proceso pirometalúrgico considera fases consecutivas de Fusión, Conversión y Refinación. Así se logra que la pureza inicial de un 30% a 40% contenida inicialmente en el concentrado, se incremente progresivamente hasta un 99,5% en el ánodo de cobre. De las fases consecutivas, la fusión y la conversión son las más importantes por lo determinantes que resultan en el proceso general, los cuales son dispuestos en la Figura 1.5. El proceso completo de la fundición incluye los procesos de:

- a) Recepción
- b) Almacenamiento y Secado de Concentrados
- c) Fusión de Concentrados
- d) Producción de Ácidos
- e) Limpieza de Escorias
- f) Escorial
- g) Conversión
- h) Refinación y Moldeo



1.5: Diagrama de procesos de Fundición Chagres

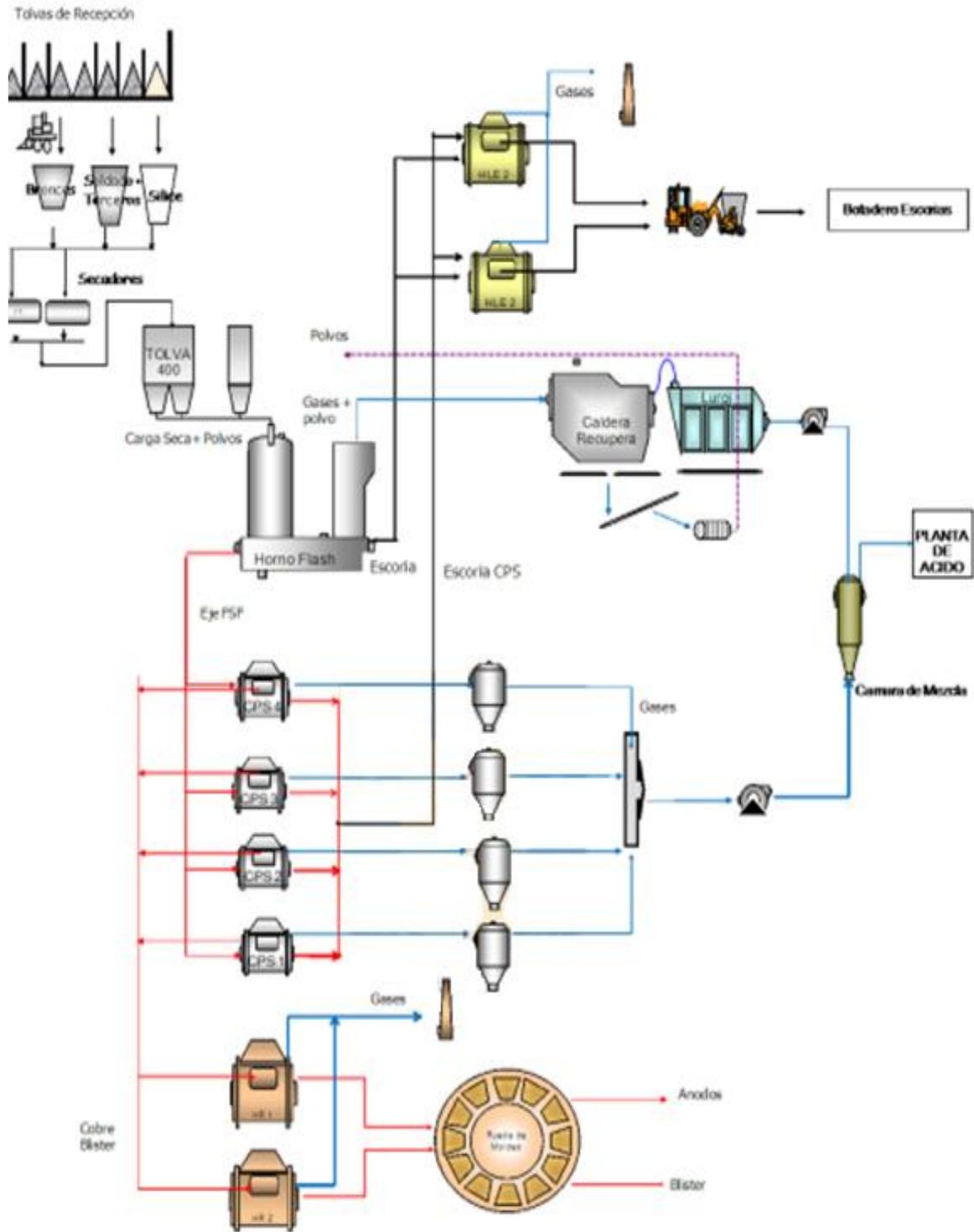


Figura 1.6: Proceso Productivo Fundición Chagres

1.4.3.- Situación de Producción y Consumos Actual y Proyectada

La producción de ánodos de cobre de la Fundición Chagres asciende nominalmente a 170.000 ton/año. El balance, considerando las actualizaciones de capacidad y producción del año 2013, fue de 169.967 ton/año, lo que no se ha alcanzado debido a que los concentrados considerados en las bases de diseño, no son los que han llegado a ser procesados, es decir, no han llegado a ser fundidos y producidos en ánodos de cobre. La producción actual es cercana a 158.000 ton/año. La producción anual promedio proyectada de la fundición hasta el año 2017 asciende a 188.322 ton/año de ánodos de cobre, sin expansión. En la anterior figura 1.6 se muestra el proceso productivo actual de la Fundición Chagres.

1.4.4.- Fuentes de Energía

El proceso metalúrgico de la fundición de cobre, requiere gran cantidad de energía térmica, y dentro de éstas, las principales fuentes de energía térmica excedentaria son los Hornos Flash de fusión y conversión y en menor medida la Planta de Ácido.

En algunas etapas del proceso es necesario retirar calor para obtener estados adecuados del flujo en proceso. Esta energía sobrante, de no ser aprovechada, deber ser disipada de alguna forma al medio ambiente mediante sistemas de refrigeración por agua y torres de enfriamiento de gases. A continuación se describe un resumen del proceso de Fusión, Conversión y Planta de Ácidos, procesos que van de la mano con el sistema de inyección de oxígeno o que dependen del óptimo funcionamiento de la Planta de Oxígeno.



Figura 1.7: Imagen Satelital de Fundición Chagres

1.4.5.- Fusión

Luego de la fase de secado de concentrados, donde se reduce drásticamente la humedad a un 1%, el material pasa a los hornos de la fundición para dar inicio al proceso de fusión. El objetivo es lograr el cambio de estado que permita que el concentrado pase de estado sólido a estado líquido, separando el cobre de los otros elementos, como sulfuros líquidos, calcosina, covelina, calcopirita, pirita y bornita. En lo posible, debe contener todo el cobre alimentado, y otra fase oxidada líquida adherida a la anterior, llamada escoria, ojalá exenta de cobre, compuesta principalmente de silicatos de hierro. El material fundido de cobre contiene sulfuros de cobre y hierro, algunos metales preciosos y otros elementos a nivel de trazas. La escoria, pobre en el metal, es caracterizada y descartada directamente o sometida a una etapa adicional de recuperación del metal, si su contenido es alto. El material fundido, en cambio, pasa a una etapa posterior de conversión por oxidación.

Los concentrados sulfurados de cobre son básicamente combinaciones, en proporciones variables, de sulfuros de hierro y cobre mezclados con componentes de sílice ácida o básica. Las reacciones que tienen lugar en el Horno de Fusión u Horno Flash (HF) transcurren entre estos componentes del concentrado y los fundentes, y corresponden principalmente a la reducción de los óxidos de cobre por el sulfuro cuproso y a la sulfatación de los óxidos de cobre por el sulfuro ferroso.

La tecnología HF corresponde a un proceso de fusión-conversión continua de concentrados, desarrollado por Outokumpu (empresa finlandesa), que aprovecha el calor generado en las reacciones del oxígeno, presente en el aire inyectado al proceso, con los sulfuros de hierro contenidos en el concentrado, alimentando de esta manera al reactor. Todo el aire soplado y el oxígeno presente en el sistema, proviene de la Planta de Oxígeno de la Fundición Chagres. La figura 1.8 representa la construcción de un HF.

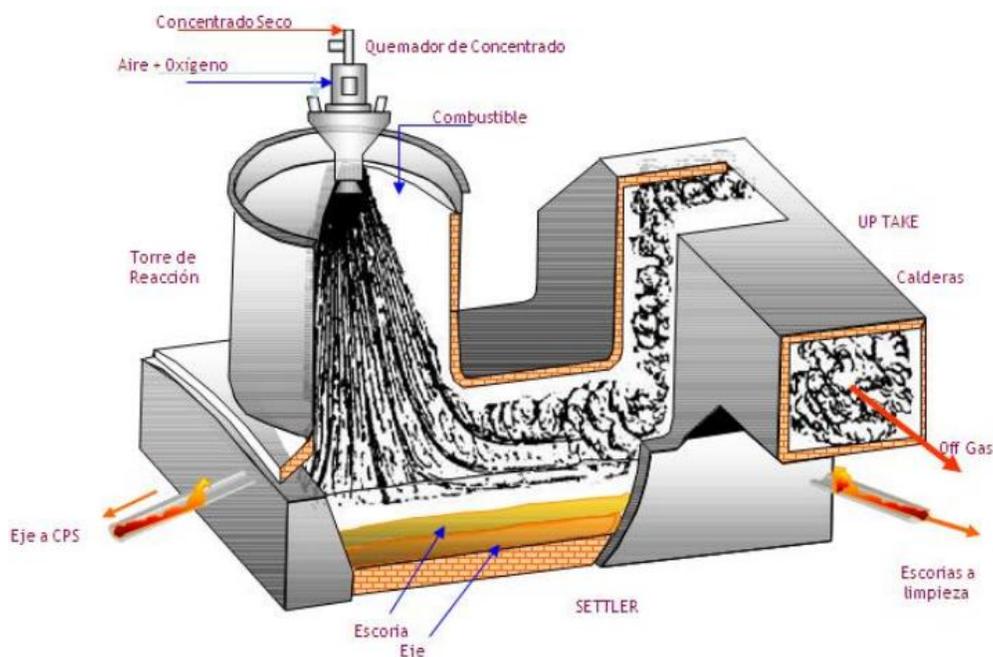


Figura 1.8: Horno Flash (Outokumpu)

Dependiendo principalmente de las características mineralógicas o químicas del concentrado, de los flujos y enriquecimientos en oxígeno del aire proveniente de la Planta de Oxígeno, se generarán importantes cantidades de calor en el reactor, suficientes para tener un proceso que funciona automáticamente, fundiéndose además materiales fríos de recirculación con cobre o carga fría, generadas en el proceso productivo y utilizadas para regular la temperatura en el horno. Esto significa, que no se necesita de una energía térmica proveniente de los quemadores de petróleo, sino que basta con la energía que se libera al entrar en reacción el azufre del concentrado, ayudado por su bajísimo contenido de humedad, con el oxígeno que existe tanto en el aire insuflado (proveniente de la Planta de Oxígeno) como el que se le adiciona para enriquecerlo en ese momento. El combustible solo es utilizado para originar inicialmente las condiciones en que los elementos descritos anteriormente comiencen a reaccionar por su cuenta.

1.4.6.- Conversión

En la etapa de conversión, el sulfuro ferroso se oxida formando dióxido de azufre, mientras que el óxido ferroso se une con la sílice y cal para formar escoria, esencialmente ferrítica. El calor de formación de esta escoria, junto con el producido en la oxidación del azufre y el hierro, es suficiente para mantener los diferentes materiales en estado fundido. Cuando se ha oxidado todo el azufre asociado con el hierro, el eje de alta ley (sulfuro cuproso) también se oxida y, tan pronto como se ha formado una cantidad apreciable de óxido cuproso, éste reacciona con el sulfuro cuproso para formar cobre blíster y dióxido de azufre, según las reacciones que ocurren hasta que se consume prácticamente todo el azufre.

La tecnología de conversión considerada en esta descripción de una fundición moderna, corresponde a Hornos Flash u Hornos de Conversión Inmediata Outokumpu / Kennecott.

Los principales insumos requeridos en el proceso de conversión son: cal fina (95% en promedio), oxígeno técnico (oxigenado generado en la planta con una pureza de un 95% en promedio) y aire de distribución, ambos provenientes de la Planta de Oxígeno. El enriquecimiento del aire en proceso es 70% de oxígeno promedio. En la torre de reacción se encuentra el quemador donde se alimenta la carga. Una lanza central, con aire enriquecido, facilita su distribución con la consecuente reacción del sulfuro contenido, lo que genera el calor de fusión requerido para el correcto funcionamiento del proceso. El material se funde de manera instantánea (flash) produciendo cobre blíster, escoria y gases metalúrgicos con altos contenidos de anhídrido sulfuroso (SO_2 al 35% - 45%). La temperatura de la reacción exotérmica alcanza hasta los 1.450 °C y el calor generado es transferido a los productos fundidos, gases metalúrgicos y al sistema de refrigeración de la torre constituido por elementos de cobre refrigerados por agua, insertos en el revestimiento refractario de la misma. El calor retirado desde el horno por las chaquetas de cobre refrigeradas por agua, con circuito cerrado de agua tratada e intercambiadores de calor, es eliminado mediante un sistema secundario que no considera torres de enfriamiento, sino una solución radiactiva conectiva mediante el uso de refrigeradores aleteados y ventiladores de aire forzado. La producción de cobre blíster alcanzará un contenido promedio de cobre de un 99%.

1.4.7.- Planta de Ácidos

El objetivo primordial de la Planta de Ácidos de la Fundición Chagres, es acondicionar los gases metalúrgicos primarios para su utilización como insumo en la producción de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Los gases emitidos por el HF están compuestos principalmente por SO_2 , humo, vapores metálicos y partículas de cobre arrastradas. Los gases provenientes de la chimenea principal y salida de escoria de los edificios de proceso, están compuestos fundamentalmente de SO_2 y material particulado. Ambos gases primarios, luego de pasar por los respectivos precipitadores electrostáticos, se juntan en una cámara de mezcla común desde donde son conducidos a las plantas de limpieza de gases. El proceso de producción de ácido sulfúrico se lleva a cabo en tres fases: purificación de gases, conversión de SO_2/SO_3 por oxidación catalítica y absorción.

- **Purificación:** La etapa de purificación o limpieza de gases tiene por objetivo acondicionar el gas, retirando todos aquellos compuestos cuya presencia pueda significar una merma en la eficiencia de producción de ácido sulfúrico o un daño al catalizador. Para ello, se cuenta con una torre de lavado que permite el enfriamiento y limpieza de sólidos y humos metálicos arrastrados; una sección de precipitadores de neblina húmeda y una torre de secado, donde son mezclados con aire de dilución hasta alcanzar un contenido medio de 14% de SO_2 , apto para ser enviado a la sección de conversión. El proceso de limpieza de gases genera un residuo líquido, que contiene la totalidad del arsénico y trazas de otros elementos metálicos volatilizados en la fundición y presente en los gases sometidos a tratamiento. El estéril es conducido a la Planta de Tratamiento Integral de Efluentes Industriales.
- **Conversión de SO_2/SO_3 :** Los gases limpios y secos ingresan a la etapa de conversión, donde el SO_2 y O_2 presentes, son convertidos en SO_3 mediante un catalizador (pentóxido de vanadio), y en condiciones de temperaturas que favorecen la reacción. Siendo la reacción anterior exotérmica, el calor de la reacción es aprovechado por un intercambiador de calor asociado a un precalentador donde se realiza la regulación térmica con el fin de precalentar a las temperaturas adecuadas los gases fríos que entran al convertidor. El precalentador también es alimentado por petróleo para el proceso de puesta en marcha o en caso de que la concentración de SO_2 en los gases sea insuficiente para obtener la temperatura deseada ($420\text{ }^\circ\text{C}$), el exceso de calor generado durante la conversión es retirado por medio de una caldera de calor residual para producir vapor saturado utilizable en otras aplicaciones térmicas o en el proceso de cogeneración.
- **Absorción de SO_3 :** En esta etapa el SO_3 producido, es puesto en contacto con ácido sulfúrico en condiciones adecuadas de concentración y

temperatura, siendo absorbido y generando ácido sulfúrico, que es enviado a estanques de almacenamiento. En esta etapa se eliminan a la atmósfera los gases limpios y libres de SO_2 .

La Figura 1.9 resume el proceso descrito de la Planta de Acido.

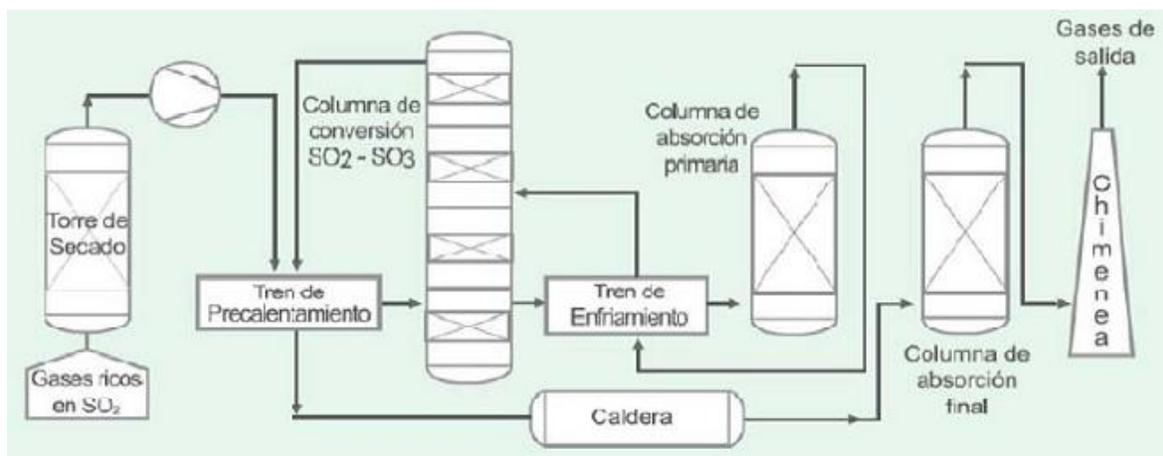


Figura 1.9: Esquema de la Planta de Acido

1.5.- PLANTA DE OXIGENO (CRIOGÉNICA)

1.5.1.- Descripción del Proceso

Una Planta de Oxígeno es una instalación, la cual a través de un filtrado molecular (mineral), permite separar el oxígeno de los otros gases de manera forzada, para su posterior uso industrial, obteniendo y acumulando dicho oxígeno en estado gaseoso. El gas oxígeno es generado usando una presión de rápido descenso, donde el aire puro (circundante) es forzado desde un soplador, absorbiendo los minerales, para luego el gas oxígeno ser separado de los otros gases componentes del aire, el cual como gas inerte es un 93% rico en oxígeno.

Una Planta de Oxígeno Criogénica obtiene el oxígeno usando bajas temperaturas y cambios abruptos de presión, obteniendo oxígeno líquido a baja temperatura. Los líquidos criogénicos son gases licuados que tienen un punto normal de ebullición por debajo de -238°F (-150°C) y el punto de ebullición del oxígeno líquido es de -297.3°F (-183.0°C). Los envases utilizados en el almacenamiento de gases criogénicos deben cumplir con estrictas normas de seguridad y deben ser fabricados bajo los Códigos ASME (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos) y deben ser diseñados para soportar tanto altas como bajas temperaturas y altas presiones. El oxígeno se almacena en forma líquida a pesar de que se utiliza principalmente en forma gaseosa. La conversión de oxígeno líquido a oxígeno gaseosos se obtiene por medio de vaporizadores y un cigüeñal de control de presión, el cual maneja la presión del gas alimentado durante el proceso. El proceso de obtención del oxígeno se describe en 4 significativos pasos, los cuales son:



Figura 1.10: Planta de Oxígeno Criogénica

- **Paso uno** : El aire comprimido llega desde un compresor de aire, es traspasado a la primera cámara de tamiz molecular, donde el nitrógeno es atrapado por zeolitas (pequeñas esferas minerales de aluminosilicatos micro porosos que destacan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse reversiblemente, representadas en la figura 1.21) mientras que el oxígeno sigue su paso a través del sistema a una salida que lo conduce a un tanque de almacenamiento y desde allí a una estación de llenado de cilindros o a los puntos de consumo de una red de distribución.



Figura 1.11: Zeolitas esféricas usadas para el proceso de oxigenación

- **Paso dos** : Cuando el primer estanque está saturado de nitrógeno, el flujo del aire se dirige al segundo estanque. Las válvulas de paso se abren en la segunda cámara y se cierran en la primera.

- **Paso tres** : Mientras la segunda columna separa el oxígeno del nitrógeno, el primer estanque lo libera hacia la atmósfera, que de inmediato se regenera con el aire del ambiente
- **Paso cuatro** : De nuevo el aire comprimido es alimentado a la primera cámara y este proceso es repetido continuamente. De esta forma un flujo constante de oxígeno es producido las 24 horas del día, los 365 días del año.

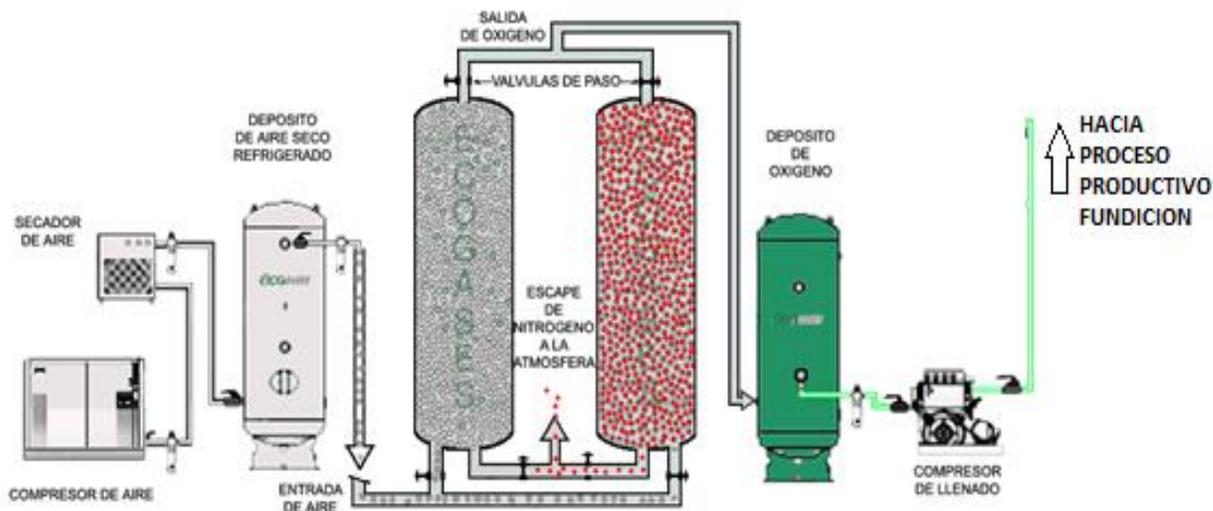


Figura 1.12: Proceso Productivo Planta de Oxígeno Criogénica

1.5.2.- Descripción de la Planta

- Capacidad de Producción

- Marca: Air-Liquide
- País de origen: Francia
- Año: 1992
- Tipo: Criogénica
- Modelo: 87-600 (600 Nm³/H x 1 serie)
- Producción gas oxígeno simple: Si
- Composición: O₂ mínimo a 93% del volumen
- N₂ máximo: 7% volumen.

- Presión: máximo 11 Kg/cm²
- Temperatura: máximo 45°C (temperatura del agua refrigerada: 10°C)
- Punto de rocío: -60°C (en la atmósfera)
- Capacidad del equipo:
 - a) Capacidad del gas oxígeno generado: 600 Nm³/H (100% del volumen convertido)
 - b) Porcentaje del gas oxígeno generado: mínimo 93% volumen

- Materias Primas

- Aire acondicionado puro
- Presión: atmosférica
- Temperatura: atmosférica (35°C aproximadamente)
- Condiciones de utilización:
 - a) Agua refrigerada: 3°C (solo en acción de bombas selectivas 10°C)
 - b) Agua normal: agua industrial con una presión de 2 Kg/cm²
 - c) Temperatura de entrada: debajo de 32°C
- Instrumento de aire:
 - a) Presión: 7.85 Kg/m²
 - b) Punto de rocío: -22°C

- Potencia

- Suministros de potencia: 3,3 KVAC trifásico, 50 Hz (compresor general)
380 VAC trifásico, 50 Hz (motores y bombas)
220 VAC monofásico, 50 Hz (motores inducción)
- Potencia de operación de los instrumentos:
110 VAC, monofásico, 50 Hz (sensores, reset, control)

- Gastos Generales

- Agua refrigerada: 18 m³/H
- Instrumentos de aire: 30 Nm³/H
- Potencia Media Tensión : 3,3KV, 492KW (compresores principales)
 Baja Tensión : 220V, 38KW (Motores y bombas)

1.5.3.- Importancia de la Planta Oxígeno

Cabe señalar la importancia de una planta de oxígeno dentro del proceso de fundición, debido a que como se mencionó anteriormente, es necesario contar con oxígeno puro en gran parte del proceso a fundición, así como en el proceso de fusión, conversión y en el proceso de la obtención de ácido sulfúrico.

En el proceso de fusión, es necesario contar con oxígeno para obtener el calor necesario para la reacción exotérmica en la fundición del concentrado de cobre, se necesita una gran cantidad de oxígeno inyectado, es primordial contar con aire soplado para el enriquecimiento de los concentrados así como bajar la humedad de los concentrados y finalmente en el proceso de reacción con oxígeno inyectado. Se puede ver lo necesario para el proceso el contar con oxígeno de manera constante y segura.

En el proceso de conversión, es necesario contar con oxígeno puro al 95%, siendo uno de los insumos primordiales, es necesario contar con oxígeno en los ductos de distribución de los convertidores, se necesita contar con un enriquecimiento de oxígeno (70%) para la oxidación de sulfatos y finalmente es primordial contar con aire inyectado para la acción de la lanza centra del convertidor y desencadenar el proceso de conversión. Es plasmado la importancia del oxígeno en el proceso de conversión.

Para la Planta de Acido, se necesita oxígeno en gran cantidad, al ser necesario para la disolución del ácido circundante o anhídrido sulfuroso para su precipitación y la obtención de SO₂.

La importancia del uso de una Planta de Oxígeno radica en la grandes cantidades que se deben utilizar de oxígeno para un proceso de fundición convencional, es decir, en un proceso en donde se funden los concentrados dentro del horno flash. Cabe señalar, que si llegara a fallar la Planta de Oxígeno, se podrá seguir en funcionamiento gracias a los estanques de almacenamiento insertos dentro de la planta, los cuales tiene una capacidad de 2400 Nm³/H cada uno de los estanques, siendo dos los presentes en la Planta, lo que da una autonomía de por lo menos 3 horas de consumo de oxígeno a producción normal.



Figura 1.13: Imagen Satelital Planta de Oxígeno Fundición Chagres

1.6.- PROBLEMÁTICA

1.6.1.- Introducción

Debido a que la Planta de Oxígeno se encuentra en operación desde el año 1993, es que se hizo necesaria la modernización de los sistemas que alimentan y controlan a totalidad de la planta, dado que en la Sala Eléctrica 11N, la cual controla la totalidad de la Planta, no se había ejecutado ningún trabajo de modernización del CCM maestro o general de la Planta, por lo que se hacía necesario el contar con un re direccionamiento de las políticas de comunicación de los motores, bombas, accionamientos, etc. que controlan y componen la planta.

Cabe señalar que el sistema con el cual la Planta funcionaba antes del reemplazo era a través de comunicación análoga, es decir, con parámetros de control tales como 4-20mA, señales coaxiales continuas y que hacían que el sistema fuera vulnerable ante cualquier falla en la etapa de control del Panel de Control.

Importante también es señalar que cualquier desperfecto en la Planta de Oxígeno, puede desencadenar una catástrofe, dado que la cantidad de oxígeno almacenado y procesado en la Planta, basta para producir una explosión de proporciones. Dentro del ambiente de los operadores y trabajadores propios de la Fundición existe el dicho “*Si la Planta de Oxígeno explota, desaparece todo Catemu...*”. Esta importante reflexión es la que se ha tomado en cuenta en el Departamento de Proyectos, dado que cualquier falla o desperfecto puede terminar en tragedia, y ante esta problemática, es mejor adelantarse a los hechos y modernizar el sistema de control y comunicación de la Planta.



Figura 1.14: Introducción al personal antes de iniciar las labores de desmantelamiento

La modernización del sistema de control de la Planta tiene por objetivo principal aumentar la seguridad, dado que con el nuevo sistema de control, desde los panel de control se tendrá una visión mucho más global , rápida y concisa de la operación de cada uno de los equipos, máquinas, bombas y motores que componen la Planta de Oxígeno. Una vez terminadas las labores de montaje y PEM del nuevo CCM, se podrá obtener una comunicación mucho más fidedigna y a la vez real de la operación de la Planta, de la mano con el sistema de comunicación (Profibus), el cual otorga una supervisión directa del sistema de control, inspección y comunicación con cada uno de los equipos de la Planta.

Las primeras directrices al cambio del CCM se hicieron a mediados del año 2013, en donde se reunieron los principales actores de la operación de la Planta, tales como operadores, mantenedores eléctricos y mecánicos, supervisión, jefaturas y personal responsable de la oficina de proyectos de AngloAmerican. Una vez descritas todas las falencias y problemáticas del proceso operativo de la Planta, se propuso realizar la modificación al CCM general de la Planta de Oxígeno, reemplazando el existente por un equipo mucho más moderno, confiable, estable, de mejor comunicación y control.

Dentro de las desventajas principales encontradas en el proceso de estudio de factibilidad, se encontraron una serie de puntos los cuales se deberían atacar de inmediato y que estaban en menor estándar al exigido por la compañía AngloAmerican. En este punto, es que el estudio de factibilidad arrojó una serie de observaciones al sistema operativo que hasta ese momento regía a la Planta de Oxígeno desde el año 1994. Los puntos se describen a continuación:

1.6.2.- Observaciones Técnicas

Dentro del estudio de factibilidad, se rescataron los siguientes puntos que describen la problemática que hoy en día tiene la Planta de Oxígeno y que representa su actual funcionamiento:

- Sistema de comunicación con problemas de señal en varios puntos.
- Nodos compartidos que limitan señal en ancho de banda comunicación.
- Se observa un importante retardo entre la señal remota y local, dependiendo del M-bust de cada módulo.
- Comunicación inexistente entre algunos puntos de control de terreno y comunicación local.
- Barras y sistemas de acople con evidencias de daño acumulativo.
- Suciedad en terminales de compresión acumulada.
- Inexistencia de tierra de protección en módulos contiguos.
- Barras y flejes derivativos con partes sin aislación.
- Pernería de gabinetes estáticos evidencian agripamiento (oxidación) en sus hilos continuos.
- Puertas de módulos con daños en bisagras y topes producto del uso.



Figura 1.15: Fotografía que muestra el daño acumulado durante años en bornes de control y potencia

Toda esta información quedo registrada en el informe técnico “Estudio de Factibilidad Modernización CCM Planta Oxígeno Fundición Chagres” código de correlación “ING-FAC-CHA-ELEC-063” el cual fue realizado por la empresa “Proingesa” y al cual sólo se tuvo acceso escrito y no de manera digital, debido a que es un documento controlado y que pasa por los derechos de AngloAmerican, razón por la cual no fue agregado a este documento.

En dicho documento se mencionan un sinnfín de pormenores de aspectos técnicos y que hacen relación a la problemática que presentaba el CCM antiguo. Se le solicito a la empresa “Proingesa” un estudio de factibilidad que indicara las posibilidades y lo factible que pudiera resultar el realizar el reemplazo del antiguo CCM por uno más moderno, que permita tener un mayor control sobre el proceso operacional de la Planta de Oxígeno.

Cabe señalar que el nuevo CCM, además de presentar un nuevo sistema de conexión para la alimentación de las cargas conectadas, también implica un cambio en el sistema de comunicación, ya que permite traspasar todo el sistema análogo a un sistema digital Profibus, con todas las ventajas que dicho tipo de comunicación permite.

1.7.- PLANTEAMIENTO DEL CONTRATO

1.7.1.- Disposiciones Contractuales

El estudio de factibilidad indicó que es totalmente posible y positivo el realizar el cambio del CCM, lo antes posible, por lo que el contrato pasó a la etapa de desarrollo de la ingeniería de detalle, la cual fue realizada por la empresa GE (General Electric). En dicho documento, se hace un detallado levantamiento de cada una de las cargas conectadas al antiguo CCM y que bajo ese mismo concepto, se debía implementar y fabricar un CCM que cumpliera con los requerimientos del sistema, simulando las cargas (mediante software), feeder, alimentadores, PLC, VDF y cargas varias.

El proceso anteriormente mencionado, tomó aproximadamente 6 meses, en donde se hizo un levantamiento completo al CCM antiguo y sus cargas, identificando parte del cableado, marcando y siguiendo cada una de las cargas. En dicho proceso, comenzó la participación de la empresa Atasic Ingeniería, prestando un apoyo fundamental en la mano de obra para la realización de los respectivos levantamientos, dado que se tuvo que seguir carga por carga y cable por cable hasta poder distinguir aquellos que estaban en uso, obsoletos, dañados, fuera de uso, etc. Toda esta tarea significó aproximadamente más de 3 meses de trabajo de identificación, tiempo en el cual se empezó a fabricar el CCM nuevo con las disposiciones técnicas descritas y detalladas con anterioridad.

General Electric tuvo la tarea de fabricar el CCM según las disposiciones técnicas realizadas en la etapa de ingeniería del sistema, donde se tuvo que hacer coincidir tanto el sistema de control como de fuerza, además de realizar todo el conexión interno del CCM de manera que todo el cableado externo del CCM quedara en las mismas disposiciones y ubicaciones, debido a que es poco probable que se tuviera que modificar la ubicación de los alimentadores hacia el nuevo CCM, dado que este cambio significaría un alza en el proyecto el cual no estaba contemplado, por lo que dentro de las complicaciones que se halló al momento de realizar el montaje final, fueron las nuevas disposiciones que los módulos y gabinetes tenían y en donde se debió hacer coincidir tanto el cableado de fuerza como de control dentro del nuevo CCM.

Además, previo a esta etapa, se debió realizar el desmontaje completo del CCM actual, tareas que se describen a continuación:

1.7.2.- Desmontaje CCM

En el proceso del desmontaje se debió tener especial cuidado, debido a que es en esta etapa en la que se debe ser meticuloso y ordenado, con el fin de obtener una correcta marcación y correlación de cada uno de los cables tanto de fuerza como de control.

El desmontaje implicó, en primera instancia, el marcado y correlación de todos los cables y alimentadores por cada módulo, gabinete, columna, y después, el consiguiente desmontaje de las partes metálicas del gabinete.

La tarea del desmontaje consideró la identificación y marcado de todo el cableado del antiguo CCM, considerando el completo marcado del sistema de control, comunicación, señales de terreno como paradas de emergencia y módulos de conexión remota, y fuerza. Importante es recalcar que un correcto marcado e identificación de cableado permite una optimización de los recursos y una importante reducción en los tiempos de ejecución del trabajo de identificación y re-conexión.

Después de haber marcado todo el cableado, comenzó la etapa de retiro, partiendo por el desplazamiento de los cables de cada gabinete hasta la trinchera abajo del CCM. Esta tarea también tiene complejidad, dado que los espacios que quedaban entre los módulos y gabinetes eran pequeños y se encontraban sellados con espuma ignífuga, por lo que el personal debió cortar y romper dichos sellos para así dejar libre el espacio de los cables en toda su extensión. Una vez rotos y dispersos los sellos de los gabinetes, el personal soltó y posicionó todo el cableado en las escalerillas debajo del CCM, logrando así, que los módulos y gabinetes comenzaran a quedar despejados de cables y sistemas alambrados. El cableado que fue retirado, quedó sobre las escalerillas dispuestos según su ubicación en el CCM, ya que con esto, se facilitaba el proceso de identificación de los cables, según su nueva posición.

Finalizado el proceso de retiro de la totalidad del cableado de dicha estructura, es que se procedió al despiece de los gabinetes. Dichos gabinetes presentaron un sin número de problemas al momento del desarme y desmontaje, dado que por lo avanzado del tiempo en funcionamiento y montaje, es que muchas de las piezas se encontraba con proceso de oxidación, pernería agripada, paneles pegados por suciedad acumulada, tuercas rodadas, etc. Toda problemática se abordó siguiendo el conocimiento del personal directo, quienes gracias a su experiencia, pudieron sortear todas las dificultades encontradas al momento de realizar el despiece.

Una vez que los gabinetes empezaron a ser retirados, éstos se llevaron hasta el patio de AT ubicado al exterior de la sala, en donde se acopiaron y dispusieron para que una grúa horquilla pudiera tomarlos y retirarlos hasta las bodegas de desechos de Fundación Chagres.



Figura 1.16: Zócalo existente tapado y espacio dejado por el antiguo CCM

1.7.3.- Montaje CCM

El montaje del CCM contempló la totalidad del proceso productivo que resultó en la posterior puesta en marcha del equipo y entrega del equipo a Operaciones.

Una vez que terminó el desarme del CCM y se sacó la totalidad de los componentes, se procedió a ingresar el nuevo CCM. Cabe señalar que el equipo es de importante envergadura y peso, por lo que el equipo venía seccionado en módulos, lo que facilitó su ingreso a la Sala Eléctrica. El desplazamiento se hizo utilizando conduit metálicos de 1” y que sirvieron de polines sobre los cuales se deslizaron los módulos del nuevo CCM.

Una vez que el equipo fue ingresado en su totalidad, se procedió a anclar de manera definitiva los zócalos del nuevo CCM a las vigas de soporte que van al piso y la unión de los módulos entre sí, considerando para tal efecto la pernería que el CCM proveía de fábrica.

El proceso de conexiónado fue realizado por personal técnico, dado que conllevaba más responsabilidad y un conocimiento más específico del tema, considerando que un error de conexiónado pudiera haber resultado en una importante falla o daño a la infraestructura del nuevo CCM

Para las señales de control, considerando la red Profibus, solo se rescataron algunas señales DCS provenientes de terreno, ya que el sistema Profibus simplificó el conexiónado entre

los módulos y a su vez omitió aquel cableado que estaba obsoleto al momento de realizar el conexionado.

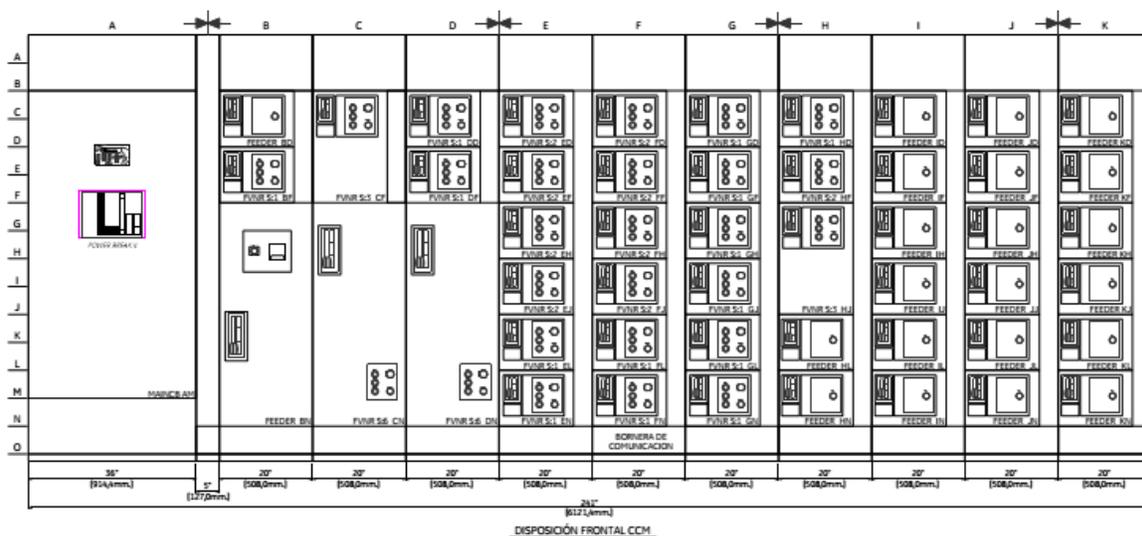


Figura 1.17: Disposición Frontal nuevo CCM

Una vez finalizado el conexionado completo del CCM, el personal procedió a realizar el chequeo de rigor, los cuales contemplan tanto el pre-comisionamiento, comisionamiento, pruebas de continuidad, megger y puesta en marcha (PEM).

En la figura 1.18 se puede observar la disposición y los bornes de conexión que posee el nuevo CCM. Es posible observar el cable de color morado y que es la señal de comunicación Profibus, así como el breaker de fuerza y el de control.

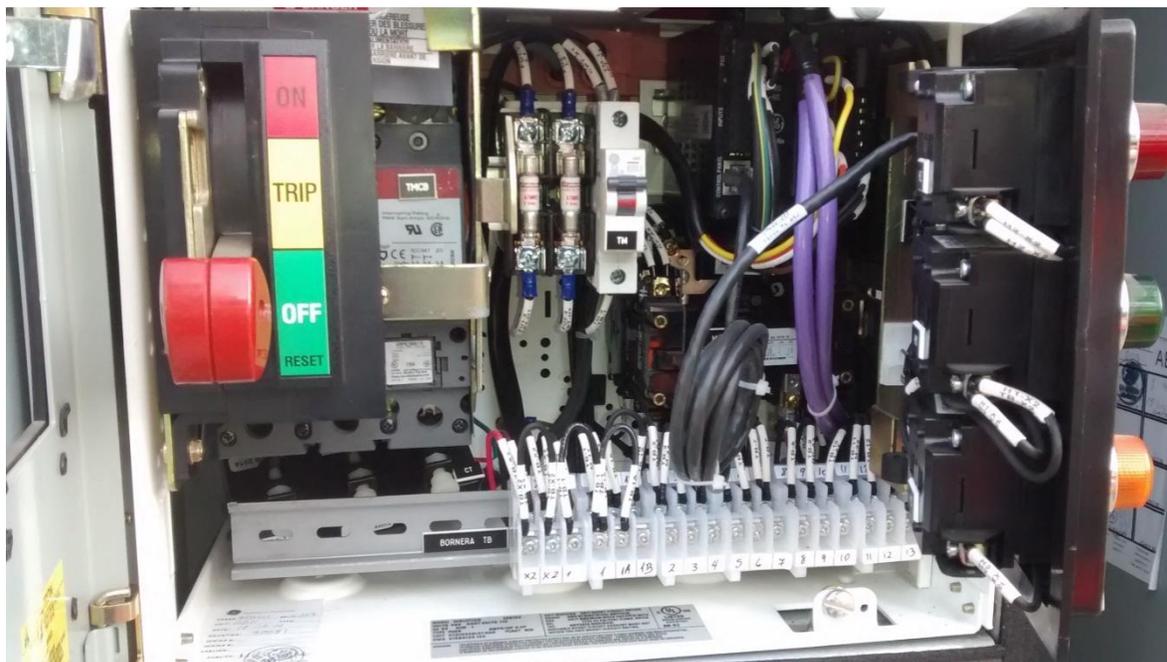


Figura 1.18: Fotografía del interior de uno de los módulos del nuevo CCM

1.8.- PRUEBAS

Dentro del apartado de las pruebas respectivas, se hace relación a una serie de pruebas que buscan definir que el sistema conexionado haya quedado en óptimas condiciones antes de su energización y puesta en marcha. Las pruebas buscan satisfacer y comprobar al cliente que el trabajo fue ejecutado de buena forma y siguiendo los respectivos estándares conforme a las especificaciones técnicas. Cabe recordar que las pruebas son una parte medular del proyecto, dado que son estas las que definen el éxito o el fracaso del trabajo, las que demuestran que el trabajo fue bien ejecutado o bajo las normas establecidas y que cumplen con las especificaciones tanto técnicas como tentativas que se deben enmarcar en la satisfacción completa del cliente.

Por todas las razones antes mencionadas, es que se da una importancia relevante a las pruebas, definiendo estas en dos tipos, las de tipo invasivas o destructivas y las de tipo no invasivas o no destructivas.

Las pruebas destructivas pueden ser definidas como aquellas pruebas en las cuales se somete al equipo, cable, estructura, etc. a un factor de funcionamiento anormal y con una sobretensión admisible por el equipo en cuestión, y busca que el daño y/o destrucción se produzca al momento de realizar las pruebas y no al momento de entrar en funcionamiento. Estas pruebas destructivas buscan en todo momento que el equipo no falle, dado que así, se asegura el entregar un equipo que es capaz de soportar fallas o valores intolerables en un funcionamiento normal del equipo. Los equipos usados para cometer pruebas destructivas son Hi-Pot (alto potencial) y Prueba de Aislación.

1.8.1.- Hi-Pot

La prueba o ensayo Hi-pot es una prueba que busca comprobar la rigidez dielectra de un componente eléctrico.

Es una prueba en donde se somete a una sobre tensión un equipo o un cable, pero que está dentro de los valores tolerables de fabricación. Esta prueba aumenta y somete al equipo bajo medición a un rango entre un 70% a 75% sobre la tensión nominal y/o de funcionamiento. Por ejemplo, para sistemas de MT Por ejemplo, si a un cable cuya tensión de funcionamiento es de 5KV, se le realiza la prueba para comprobar que las mufas de interconexión han quedado bien, por lo que entre sus bornes y tierra se le aplica entre 2 a 5 veces la tensión nominal de funcionamiento; resultando que dicha sobretensión hará que la mufa reviente si no ha quedado de la forma correcta. Cabe señalar que esta prueba se le realiza normalmente a cables de MT y en oportunidades muy puntuales a cables de BT.

1.8.2.- Pruebas de Aislación

Es una prueba en la cual se someten las barras o puntos de conexión de un equipo a una tensión nominal superior a la nominal pero a una corriente bajísima (entre 0,3A y 0,7A) y entre distintos puntos del sistema, es decir, entre fases, entre cada una de las fases y el neutro y entre cada una de las fases y tierra. Esta prueba es menos destructiva que el Hi-

Pot, pero que provoca un daño acumulativo en los puntos de conexión del equipo, y que además, es capaz de dañar la circuitería interna de algún equipo electrónico si este se encuentra conectado a equipos en medición o que puede resultar en el daño fatal para la aislación de un motor si está conectado al momento de realizar la prueba.

1.8.3.- Prueba de Continuidad

Es una prueba cuyo fin es encontrar aquellos puntos en los cuales no existe la comunicación entre cables y bornes de los puntos de conexión, es decir, permite encontrar aquellos puntos en donde alguna conexión quedo mal hecha o que simplemente no existe la comunicación entre un cable y otro y entre los extremos de un cable, permitiendo encontrar cuando un cable se encuentre cortado. La prueba de continuidad se realiza normalmente con un multímetro que posea esa característica, en la cual una señal sonora advierte si existe continuidad entre los puntos de medición y en algunos casos indica la resistencia asociada a dicho punto.

1.8.4.- Ejecución de Pruebas

Una vez terminado el proceso de conexión del CCM, se realizó la primera prueba no destructiva, la cual consistió en la ejecución de la prueba de continuidad, en donde gracias a un multímetro y siguiendo tanto los planos y todas sus láminas de conexión del CCM nuevo y del CCM antiguo, se pudo establecer la correcta comunicación entre los puntos de conexión, los bornes de entrada y salida, comunicación en la red Profibus, etc. Con esta prueba, se estableció un correcto conexión en todas las etapas de control y fuerza.

Cabe señalar que en el proceso de medición de continuidad, se debe tener especial cuidado al momento de hacer el seguimiento de las conexiones según plano, dado que es en este punto en donde se establece si existe alguna etapa que posea problemas de conexión y que previene algún posible cortocircuito en las líneas de control o peor aún, en las líneas de alimentación. En los planos de conexión queda de manifiesto el recorrido que debe tener cada una de las etapas del conexión, así como el proceso de comunicación, con lo que se puede obtener una rápida y fácil respuesta al momento de realizar el seguimiento de todo el conexión interno de cada módulo del CCM.

La prueba de continuidad debe testear cada uno de los módulos que comprende el CCM, dado que así se comprueba que el conexión es el correcto y no existen fallas que pudieran dañar al equipo sobre todo al momento de la energización. La segunda prueba importante que se ejecuto fue la prueba de aislación, en donde se comprueba que no existan cortocircuito entre las fases y entre la tierra del sistema. En esta prueba se busca encontrar cualquier problema de cortocircuito que ponga en peligro el CCM, puesto que evita un accidente al estar en presencia de un cortocircuito que dañe al sistema en su totalidad.

La prueba de aislación se ejecutó en dos etapas; la primera consistió en medir la aislación que existe entre cada una de las barras y puntos de conexión del CCM, por lo que mediante un Megaohmetro (Megger) se aplicó un voltaje superior al voltaje nominal del sistema y el cual soporta tanto el cable como los componentes de fuerza del CCM, por lo

que en este caso se aplicó una tensión de 1KV entre fases, es decir, una aplicación de tensión entre L₁ y L₂ entre L₁ y L₃ y entre L₂ y L₃.

La segunda etapa, consistió en aplicar la misma tensión pero esta vez entre fases y tierra, es decir, entre L₁ y tierra, entre L₂ y tierra y entre L₃ y tierra. La prueba se aplicó durante 30 segundos en cada una de las pruebas dando como resultado los datos en la Tabla 1.1 siguiente:

Tabla 1.1: Resultados Prueba de Aislación

PRUEBA	TENSION APLICADA	TIEMPO APLICACION	VALOR OBTENIDO	ACEPTACION
L ₁ – L ₂	1 KV	30 seg	5,4 [GΩ]	OK
L ₁ – L ₃	1 KV	30 seg	4,9 [GΩ]	OK
L ₂ – L ₃	1 KV	30 seg	5,2 [GΩ]	OK
L ₁ - Tierra	1 KV	30 seg	2,3 [GΩ]	OK
L ₂ – Tierra	1 KV	30 seg	2,4 [GΩ]	OK
L ₃ - Tierra	1 KV	30 seg	2,3 [GΩ]	OK

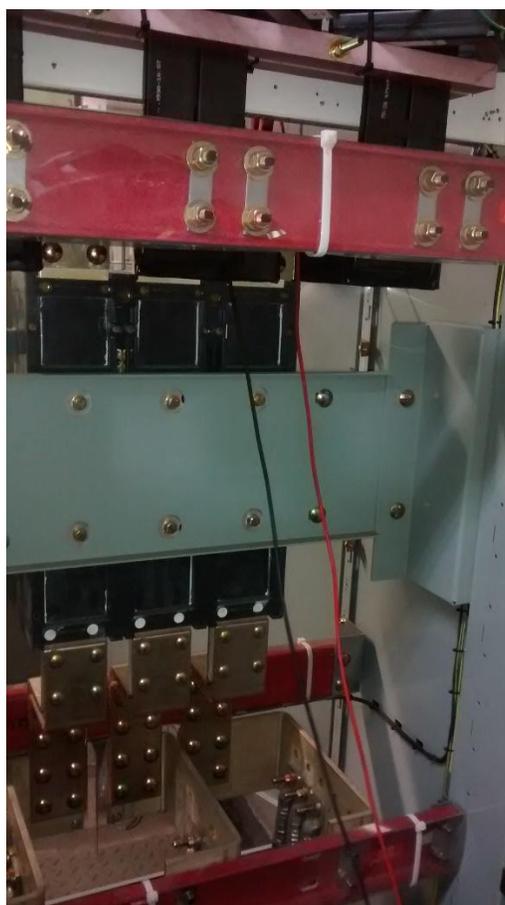


Figura 1.19: Aplicación de prueba de aislación entre fases

En la Tabla 1.1 es posible apreciar los valores que fueron medidos al momento de realizar la prueba. Es posible observar que los valores que arrojó el equipo de medición cumplen con los valores mínimos exigidos por norma (NCH Elec. 4/2003 Apéndice 7.1), y que

hacen relación a una aislación mínima igual o superior a 1000ohm por cada volt, con lo cual se obtiene una buena aislación entre los puntos de conexión, barras y tierra del sistema.



Figura 1.20: Equipo Megger utilizado en la Prueba de Aislación

Una vez terminadas las pruebas de continuidad y aislación, cabe el turno de la prueba de Hi-Pot, la cual es considerada como una prueba destructiva. El fabricante GE asegura y certifica que su equipo ya fue probado en sus instalaciones y/o fabrica, con lo cual se busca omitir esta prueba ante el daño que pudiese producirse al equipo al momento de la ejecución. Esta maniobra de evitar el ejecutar una prueba Hi-Pot se fundamenta en que es riesgoso que un mismo equipo sea medido en las misma condición de funcionamiento en vacío y bajo las mismas condiciones de la prueba anterior, por lo que el fabricante asegura que esta prueba fue realizada en taller a través de las pruebas FAT (Pruebas de Fabrica) en sus dependencias y con lo cual se evita el volver de ejecutar una prueba de estas característica por una segunda vez.

Como resultado se obtiene que el CCM en cuestión, cumple con todas las normativas que a prueba de PEM se refiere, con lo cual se certifica que cumple con todos los requisitos para que sea puesto en marcha sin problemas y complicaciones desde el punto de vista teórico. Cabe destacar que estas pruebas destructivas deben ser ejecutadas a través de personal calificado y siguiendo una serie de medidas de seguridad, principalmente por el riesgo que representa la alta tensión en la cual se ejecutan las pruebas.

CAPITULO II. CENTRO DE CONTROL DE MOTORES

2.1.- INTRODUCCIÓN

En este capítulo se podrá apreciar que en algunos sistemas eléctricos de instalaciones industriales se requieren equipos destinados para el arranque, star/stop, control, protección, medición, monitoreo de equipos y motores en baja tensión. Por motivos de seguridad de los operadores y de las maquinas, estos equipos deben operar de manera eficiente y segura.

Bajo estas consideraciones, se describen las partes principales del CCM, desde sus características eléctricas hasta aspectos físicos.

2.2.- CENTRO DE CONTROL DE MOTORES (CCM)

El centro de control de motores es un tablero eléctrico que alimenta, controla y protege circuitos cuyas cargas consisten principalmente en motores. Está conformado por una o más secciones metálicas verticales, auto-soportadas, de manera que pueden ensamblarse una junto a la otra formando una estructura rígida y que puede contener cualquier combinación de equipos o componentes principales, pero no limitados a los siguientes:

- Control de motores a plena tensión de giro reversible o no reversible.
- Control de motores a plena tensión a variación de velocidades.
- Control de motores a tensión reducida tipo autotransformador.
- Variadores de velocidad de frecuencia variable.
- Arrancadores electrónicos de partida suave.
- Tableros de alumbrado o distribución.
- Unidades con alimentador en derivación (interruptor termomagnético).
- Transformadores de alumbrado.
- Controles programables, relevadores de protecciones u otros.
- Ensamble de equipos especiales.

Todos los equipos enumerados contienen elementos o dispositivos auxiliares asociados como botones, interruptores, selectores, luces indicadoras, transformadores de control, fusibles de control y protección, contactos auxiliares, relevadores de protección, etc., todos ellos incorporados como parte integral de funcionamiento.

2.3 CARACTERISTICAS ELECTRICAS

En la tabla 2.1 se describen las características generales y los principales alcances de los parámetros eléctricos relacionados con el antiguo CCM instalado en la Sala Eléctrica 11N, la cual es la que alimenta y controla la totalidad de la Planta de Oxígeno. Cabe señalar que dicho CCM fue instalado el año 1992, año en que fue construida la Planta de Oxígeno de la Fundación Chagres.

El CCM instalado es de marca ABB, norma ANSI y el cual controla la totalidad de los motores involucrados en el proceso de obtención y procesamiento del oxígeno. Dicho CCM, eta soportados sobre un zócalo propio del CCM, el cual está instalado sobre una trinchera de 1200x1000 mm, en donde pasa todo el cableado de alimentación y control, soportado sobre 4 escalerillas de 300x300mm.

Tabla 2.1: Parámetros Eléctricos CCM instalado

DATOS	CARACTERISTICAS
Alimentación CCM	Interruptor General 2500A (acometida)
Potencia Instalada	1098 KW
Datos del sistema	3 fases, 6 conductores x fase (300 MCM)
Tensión de diseño	600 V
Tensión de operación	400V 220V
Tipo Interruptor Principal	Electromagnético
Clase CCM y alambrado	Clase I Tipo B
Gabinete	Nema I Nema 3R (módulos full extraíbles)
Acometida y salida de cables (control y fuerza)	Inferior (trinchera 1200x1000mm)
Corriente nominal barras	2500A – 630A
Cortocircuito CCM	64KA

El CCM antiguo fue descrito y diseñado por personal de Air-Liquide (Francia), según las especificaciones que la planta requirió para su montaje. Cabe señalar que mucha información con respecto a los parámetros técnicos de cada módulo no existe debido a lo antiguo del CCM y su posterior manejo por parte del personal de mantención de Fundición Chagres. Se consta de un libro completo con los planos as-built de cada módulo, con el cual se trabajó en la proyección del nuevo CCM a instalar, además de los correspondientes diagramas unilineales.

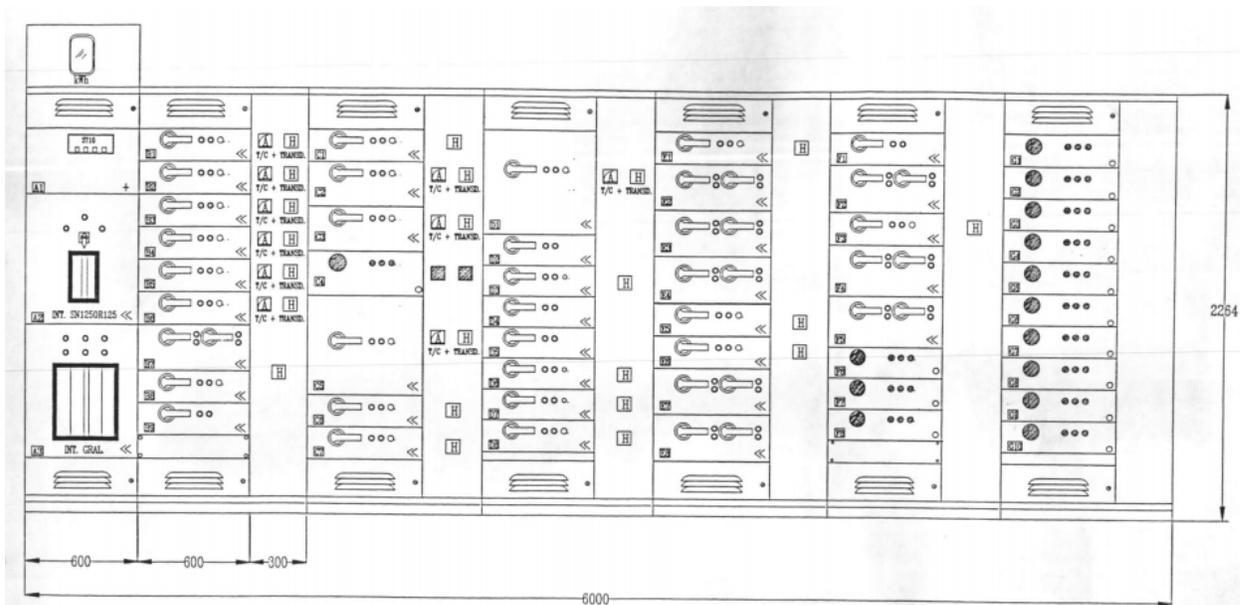


Figura 2.1: Vista frontal CCM antiguo

2.4.- CARACTERISTICAS DEL CCM

2.4.1.- Características físicas y de diseño

Los materiales y el diseño deben cumplir en todo momento la norma eléctrica chilena vigente, la cual hace relación a norma NCH Elec. 4/2003 y a la cual se debe referenciar en todo momento, además de las normas internacionales tales como las ANSI, NEMA e IEEE respectivamente; aplicado a centros de control de motores en tensiones nominales de 480V trifásicos y 220V monofásicos a 50Hz. Para proyectos de instalaciones nuevas, ampliaciones o modernización (como es el caso), ubicados al interior de salas eléctricas, se debe tener en cuenta que el proceso de certificación e inspección técnica deberá aprobar e inspeccionar en todo momento que el proceso de montaje se haga de acuerdo a las especificaciones técnicas requeridas por el mandante, así como también se debe cumplir la normativa vigente.

Para el caso del proyecto del cambio del CCM, la empresa Bureau Veritas Chile es quien tiene el contrato contractual de inspección técnica en Fundición Chagres área proyectos, por lo que serán ellos, quienes deberán certificar en todo momento que los trabajos ejecutados y proyectados correspondan con lo contratado por el mandante, además del cumplimiento de la normativa vigente. El ITO (inspector técnico de obras) especialista eléctrico asignado al proyecto de cambio del CCM es el Sr. Elías Becerra, y será el responsable de velar con el cumplimiento de lo establecido anteriormente.

Con respecto a los materiales usados para la ejecución de la obra, estos deberán ser los adecuados y estar certificados por entidades pertinentes y autorizadas por la entidad fiscalizadora. Para evitar que las estructuras se deformen o en caso de que exista un cortocircuito, este no pase a mayor daño, por tal motivo es que se debe contar con la hoja de certificación tanto de herramientas como de materiales a utilizar en el proceso de

montaje. En la figura 2.2 se muestra un ejemplo de la certificación requerida para una llave de torque electrónica, usada en el montaje del nuevo CCM.



Figura 2.2: Certificación Llave de Torque Electrónica

El material de la estructura a soportar el CCM debe ser el adecuado, para así evitar que la estructura se deforme o en caso de que exista un cortocircuito, pueda existir un parámetro de resistencia a la falla, por lo que es recomendable usar en las estructuras de las secciones lamina de acero, con espesor de 2,76mm para las cubiertas, divisiones o puertas debe ser de 1,98mm, canal de anclaje de 3,58mm y ángulo de levantamiento de 4,77mm, todos pensados en láminas de acero.

Para hacer una diferenciación en las partes que componen los gabinetes de un CCM, es que se enumeran las partes fijas y móviles de la estructura esquelética de un CCM típico. En la figura 2.3 se describen las partes de conexionado de un CCM.

1) Ductos de alambrado horizontal: El ducto de la parte superior del CMM es usado para llevar los cables de alimentación o es donde se posicionan las barras de alimentación según el modelo del CCM. El ducto de la parte inferior es donde pasa la barra de tierra y/o neutro, según como él sea el modelo y diseño del CCM

2) Ductos de alambrado vertical: Son usados para llevar todos los cables, tanto de control como de fuerza hacia cada módulo. Vale recordar que el modelo de CCM antiguo como el nuevo, llegan a un zócalo y posterior trinchera desde donde suben los cables de control y fuerza provenientes de terreno.

3) Bus (barra) horizontal o barrera: Los cables de alimentación son conectados al bus ya sea por medio de zapatas, aisladas del compartimiento general del CCM y de los ductos de alambrado.

4) Bus (barra) vertical: Este bus está conectado al bus horizontal principal y es por donde circula la alimentación a cada uno de los módulos del CCM.

5) Barra a tierra: Por motivos de seguridad, estas barras son muy importantes, por lo que el CCM debe estar correctamente conectado a tierra, ya sea de protección o de servicio. Esta barra debe ser instalada para todos los compartimientos y secciones, de tal manera que las unidades arrancadoras sean capaces de unirse al sistema de puesta a tierra.

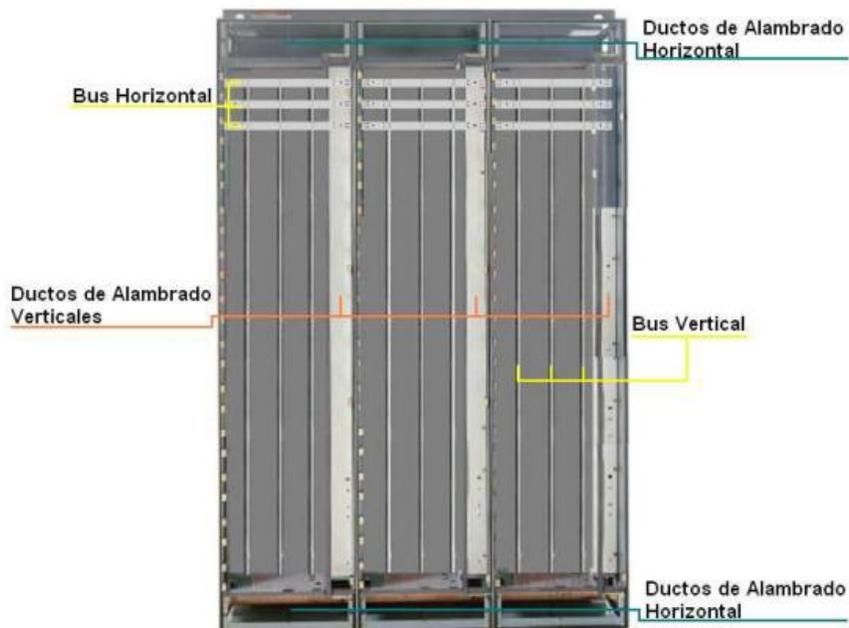


Figura 2.3: Vista de alambrado de un CCM típico

En la figura 2.4 se presenta la vista frontal del CCM marca General Electric Evolution Series E9000, modelado para el reemplazo del CCM actual.



Figura 2.4: Arreglo de tres columnas Evolution Series GE

Todo CCM se fabrica por columnas y dependiendo de la distribución de los equipos se determinan las cantidades o el tamaño del CCM. Se define como “frente muerto” a las aéreas que están en contacto con la electricidad y no están al alcance del operador.

Se debe considerar que la Planta de Oxígeno se encontraba en pleno funcionamiento con el CCM antiguo, por lo que el proyecto de renovación del CCM buscaba hacer una copia fidedigna del antiguo CCM, labor que fue contratada a General Electric Chile (GE). Fueron ellos, quienes tuvieron la misión de fabricar el nuevo CCM siguiendo todas las alternativas posibles para realizar el menor número de modificaciones al sistema de cableado existente, teniendo especial cuidado con la disposición física de cada nuevo módulo y la posible nueva ubicación, esto con el fin de que el cableado existente de cada módulo sea capaz de llegar sin inconvenientes al nuevo módulo, evitando hacer mufas de interconexión o alargar cables de control y/o fuerza.

La labor principal de General Electric fue la de fabricar el nuevo CCM haciendo una copia tanto de ubicación como de disposición de cada módulo de control, es decir, tratar de que

cada nuevo módulo “quede donde mismo está el modulo actual”. Se debe recordar que la norma eléctrica NCH Elec. 4/2003 especifica que al hacer un empalme, alargue o interconexión de un cable a pasar por un CCM, este debe tener una mufa de conexión acorde con el sistema y la norma. La mufa de conexión a requerir debe seguir ciertos pasos básicos e indispensables para una correcta aislación del conexionado.

2.4.2.- Unidad Combinada (Modulo)

Un módulo contiene medios de desconexión del circuito operable externamente, protección contra sobrecorriente del circuito derivado del motor y un controlador de motores con sus dispositivos auxiliares asociados cuando se usen. Los medios de desconexión y la protección contra sobrecorriente del circuito derivado del motor consisten en un dispositivo de desconexión con fusibles o interruptor automático, el cual si se llegara a utilizar, puede ser de un interruptor de tiempo inverso (termomagnético o magnético doble) o uno con disparo magnético instantáneo, además el controlador de motores incluye la protección contra sobrecarga. Para formar una unidad doble en un solo modulo, se pueden montar dos juegos de medios de desconexión del circuito operables externamente, cada uno con protección contra sobrecorriente del circuito derivado y un controlador magnético de motores.

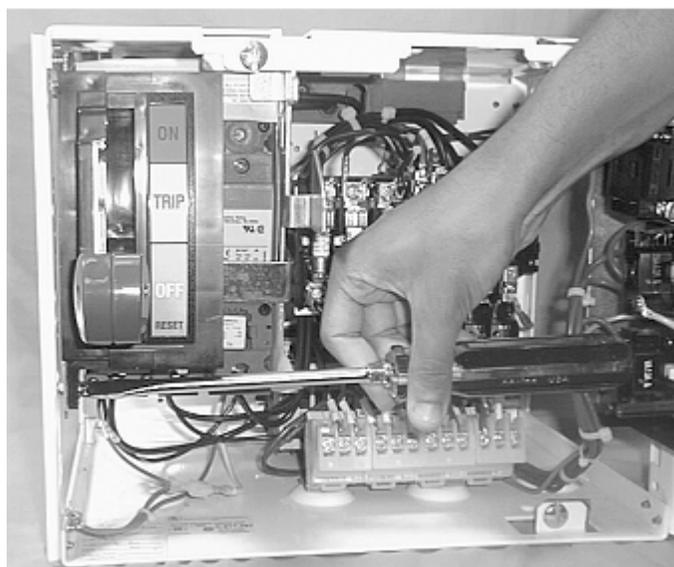


Figura 2.5: Modulo interior CCM Evolution Series

La construcción y el tamaño del módulo depende de los equipos que contenga para su funcionamiento, los equipos de control y protección para el motor pueden ser diferentes dependiendo de su aplicación, también podemos encontrar en su estructura las regletas para terminales, las cuales son muy útiles para la desconexión del motor sin la necesidad de quitar cables con herramientas, botoneras, luces piloto, selectores, los fusibles para la parte de control y la palanca de control, la cual da la facilidad de controlar ese circuito tanto con la puerta del módulo abierta o cerrada, y maneja la seguridad para el momento de mantenimiento ya que se pueden poner múltiples candados para evitar un accionamiento por error

El CCM puede contener cualquier combinación de equipos permitidos en el módulo. Las unidades a futuro no contienen equipos, pero por seguridad están cubiertas con una tapa para evitar contacto con las barras de cobre. El módulo cuenta con una puerta frontal de bisagra plástica con bloqueos mecánicos y una conexión firme a tierra. En la figura 2.6 se muestran las peinetas (clips) de conexión.

Las peinetas de fuerza tienen a función de conectarse al bus vertical para la alimentación del circuito del módulo y aparte tiene una peineta para conectar a tierra, muy útil y seguro para los operadores y el sistema eléctrico.



Figura 2.6: Peinetas de conexión (full extraíble)

2.5.- REQUERIMIENTOS TECNICOS

Atendiendo a las necesidades y características del CCM a instalar, se requiere atender aspectos técnicos, teniendo especial cuidado con los siguientes ítems.

2.5.1.- Equipo para entrada de línea o servicio

La elección del tipo de equipo para entrada de línea o de servicio del CCM debe solicitarse de acuerdo al tipo de sistema al cual se va a conectar y a los requerimientos del proyecto. Este ítem debe ser estudiado y comprendido por GE Chile, debido a que son ellos quienes deberán hacer el bosquejo general del actual CCM para que el nuevo CCM sea capaz de soportar todo el cableado existente y sin complicaciones al momento de realizar la migración. A continuación, se enlistan las características técnicas mínimas que debe tener el nuevo CCM y del cual formamos parte al hacer los levantamientos con personal de GE Chile.

a) Ducto horizontal inferior: El nuevo CCM debe tener el espacio suficiente para la llegada del cableado existente tanto en tamaño como en cantidad por fase.

b) Interruptor Principal: La unidad del interruptor principal electromagnético se puede instalar en la parte superior o inferior de la sección vertical, de montaje removible de 3 polos, tiro sencillo, operados eléctrica y manualmente, de energía almacenada y adecuada para el servicio en un sistema de 400VAC, 3 fases, 6 hilos, 50Hz, con capacidad de interrupción adecuada para el proyecto y de similares características al interruptor actual instalado. Se debe conectar a las barras principales por medio de barras principales por

medio de barras de cobre y tamaño adecuado. Importante es la capacidad de control mediante comunicación Profibus.

c) Acoplamiento Directo: El acoplamiento de los alimentadores a las barras del CCM existente debe ser considerado al momento de hacer el levantamiento con personal de GE Chile. En este caso el CCM debe ser suministrado con todas las características técnicas que permitan la instalación del nuevo CCM haciendo un levantamiento exhaustivo, que permita que las barras de acometida a las barras sean sin inconvenientes por calibre, espacio y disposición dentro del nuevo CCM.

Las medidas físicas del nuevo CCM debían ser similares según los requerimientos específicos de AngloAmerican, debido a que el cambio y migración se debía producir en los 15 días que duraba la Parada de Planta, por lo que, pensar en hacer una modificación a los soportes, bases y trincheras, significaba un trabajo mucho más exhaustivo que implicaría la modificación y mucho más tiempo de trabajo, con lo cual quedaría mucho menos tiempo de trabajo para la desconexión y retiro del antiguo CCM y el montaje, conexión, comisionamiento y puesta en marcha del nuevo CCM. En resumen, el nuevo CCM debía ser una copia fiel del CCM antiguo, tanto en medidas, ubicación, disposición, anclajes, estructura y más.

2.5.2.- Partidores a Plena Tensión

Este tipo de partidor es el más usado en el CCM actual. Los partidores a plena tensión no reversible debe ser tamaño NEMA, para 400 VAC, 3 fases, 50 Hz, integrados con un interruptor magnético en caja moldeada, contactor magnético y relevador de sobre carga. Cada partidor debe estar equipado con:

- Manilla de operación externa del interruptor termomagnético (breaker de protección)
- Lámparas piloto de alta luminosidad de color verde que indica equipo fuera de operación, color rojo que indica equipo en operación y color ámbar que indica equipo disparado por sobrecorriente (trip).
- Botoneras de partir-parar de contacto momentáneo (control local).
- Interruptor termomagnético.
- Contactor magnético de tres fases.
- Protección térmica por sobrecarga del motor en cada una de las fases, de estado sólido, de rango ajustable, contactos auxiliares para señalización de disparo por sobrecarga
- Botonera de restablecimiento exterior de protección de sobrecarga
- Transformador de control relación 380/120 VAC

2.5.3.- Partidores con VDF

Dentro de los motores a alimentar y controlar de la Planta de Oxígeno, existen 4 motores los cuales ya poseen control por intermedio de un VDF marca ABB modelo ACS550-01-087A-4, los cuales controlan y alimentan las bombas de enfriamiento de agua. A manera

general, la aplicación de un VDF debe ser sólo por necesidades del proceso de variación de velocidad, por lo que no debería aplicar a requerimientos de limitación de corriente de arranque.

Las características de los motores cuyo funcionamiento está ligado a los VDF se detallan a continuación:

1) Motor 1: Motor Bomba Oxígeno Líquido 1

- Fabricante : ABB
- TAG : P01
- Tipo : Asíncrono Trifásico
- RPM : 1450 RPM
- Frecuencia : 50Hz
- Voltaje : 230/400V
- Potencia : 5,5 Kw- 7,5 CV
- Peso : 32 Kg

Los cuatro motores son idénticos y de similares características, dado que cada uno de ellos controla la entrada/salida de oxígeno líquido desde la cubeta principal, desde sus despiches frontales, los cuales constan con cuatro salidas independientes.

El variador de frecuencia tiene dos constantes, y dependiendo de su aplicación, puede ser de par variable para aplicaciones de la mayoría de cargas, como bombas centrifugas y ventiladores o puede ser de par constante para aplicaciones de cargas, o para el transporte de cargas constantes.

El variador de frecuencia debe tener filtros para evitar la introducción de armónicas al sistema de alimentación y proteger al propio equipo de armónicas, provenientes del sistema o red. El VDF aplica para motores de inducción trifásicos tipo jaula de ardilla diseño NEMA B u otros.

2.5.4.- Alimentadores (Feeders)

Los alimentadores son aquellos módulos dentro del CCM que son usados como alimentación principal a algún componente, cuyo funcionamiento no aplica a motores, tales como equipos no mecánicos, luminarias, tableros, etc. Dentro de los requerimientos que debe poseer el nuevo CCM, es que debe contar con por lo menos 26 feeders, dado que el actual CCM alimenta y controla la totalidad de los equipos eléctricos que funcionan al interior de la Planta de Oxígeno, es decir, alimenta desde los tableros generales de enchufes y distribución, hasta las luminarias totales de la planta, así como el Panel de Control y sus componentes respectivos.

Dentro de los usos más comunes que tienen los feeder existentes, es la de alimentar de manera continua y sin interrupciones el sistema de respaldo y emergencia de la planta, desde donde se alimenta el tablero principal de las UPS dedicadas a mantener la tensión de control constante, aun cuando la alimentación de la red falle. Es importante mencionar, que

al no contar con la alimentación de la red, la Planta de Oxígeno se detiene por completo, pero no así su sistema de control, dado que sería un peligro inminente no tener control de todas las bombas y dispositivos de seguridad de la planta ante una falla y falta o exceso de presión dentro del mismo sistema. Es por esta razón, que dentro del CCM se produce tanto la alimentación a la UPS como también existe un módulo de bypass de la UPS, el cual sirve como prueba de efectividad del sistema de control del CCM, así como sacar de enclavamiento desde el CCM la misma UPS para mantención, reparo o simplemente sacar de funcionamiento dicho sistema.

CAPITULO III. FUNDAMENTOS TEORICOS RELACIONADOS

3.1.- INTRODUCCION

En este capítulo se resalta la importancia de los motores en la industria y los sistemas trifásicos de tres y cuatro hilos, en conexión delta y estrella, con cargas balanceadas y desbalanceadas.

Se plantea de manera general los modelos tanto matemáticos como físicos que relacionen las variables eléctricas tales como corriente, tensión y potencia. Estos elementos sustentan las expresiones o ecuaciones que se utilizan en los cálculos de las diferentes variables eléctricas requeridas como parte del diseño de la presente tesis.

3.2.- OPERACIÓN Y USO DE MOTORES

Los motores eléctricos juegan un papel sobresaliente en el desarrollo industrial. Un motor eléctrico es un equipo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, utilizando las propiedades magnéticas de la corriente eléctrica.

Existen motores monofásicos y polifásicos, en donde los monofásicos operan haciendo uso de una sola fase (un solo hilo) de un sistema eléctrico determinado y los polifásicos utilizan varias fases, encontrándose en este ítem los motores trifásicos junto con sus distintas configuraciones.

Cabe señalar que a nivel industrial se ocupan más los motores trifásicos en atención a la potencia requerida y a la operación del sistema eléctrico. Así mismo, se tiene diferentes tipos de motores de corriente alterna: monofásicos, de inducción tipo jaula de ardilla y de uso general en potencia nominal de 0,18 a 1500 KW comúnmente.

El motor de inducción jaula de ardilla se puede clasificar en:

- Clase A: Los motores de diseño clase A son los motores de diseños normales, con un momento de arranque normal y bajo deslizamiento. El deslizamiento de plena carga de los motores de diseño A debe ser menor del 5% y menor también que el de los motores de diseño B de condiciones equivalentes. El momento de torsión máximo está entre 200 y 300% del momento de torsión a plena carga y sucede a bajo deslizamiento (menos del 20%). El momento de torsión de arranque de este diseño es por lo menos el momento de torsión nominal, para los motores más grandes, y de 200% o más del momento de torsión nominal, para los motores más pequeños. El problema principal con esta clase de diseño es su extremadamente alto valor de la corriente durante el arranque. Los flujos de corriente en el arranque están, generalmente, entre 500% y 800% de la corriente nominal. Con estos motores, en tamaños por encima de unos 7.5 hp, se debe utilizar alguna forma de arranque de voltaje reducido para controlar los problemas de la caída de voltaje en el sistema de potencia al

cual están conectados durante el arranque. En tiempos pasados, el diseño de motores clase A era el diseño común para la mayor parte de las aplicaciones entre 7.5 hp y 200 hp, pero durante los últimos años se han reemplazado profusamente por los motores de diseño clase B. Las aplicaciones típicas para estos motores son los ventiladores, abanicos, bombas, tornos y otras máquinas – herramientas.

- Clase B: Los motores de diseño clase B tienen un momento de torsión de arranque nominal, una corriente de arranque más baja y un deslizamiento bajo. Este motor produce, aproximadamente, el mismo momento de arranque de los motores clase A, con cerca de un 25% menos de corriente. El momento de torsión máximo es mayor o igual al 200% del momento de carga nominal, pero menor que el de diseño clase A, en razón del aumento de la reactancia del rotor. El deslizamiento del rotor es aun relativamente bajo (menos del 5%) a plena carga. Las aplicaciones son similares a aquellas del diseño clase A, pero se prefiere el diseño clase B por razón de sus menores exigencias de corriente de arranque. Los motores de diseño clase B han reemplazado considerablemente los motores de diseño clase A en las instalaciones modernas.
- Clase C: Los motores de diseño clase C tienen un momento de torsión de arranque alto, con corriente de arranque baja y bajo deslizamiento (menos del 5%) a plena carga. El momento de torsión máximo es ligeramente más bajo que el de los motores de clase A, mientras que el momento de torsión de arranque llega hasta un 250% del momento de plena carga. Estos motores se fabrican con rotores de doble jaula por lo que son más costosos que los motores de las clases anteriores. Se usan para cargas que requieren un alto momento de arranque, tales como bombas cargadas, compresores y bandas transportadoras.
- Clase D: Los motores de diseño clase D tienen un momento de torsión de arranque muy alto (275% o más del momento de torsión nominal) y una corriente de arranque baja, pero tienen también un deslizamiento alto a plena carga. Son, esencialmente, motores de inducción comunes, de clase A, pero con las barras del rotor más pequeñas y hechos de un material de más alta resistencia. La alta resistencia del rotor hace que el momento de torsión máximo se presente a muy baja velocidad. Incluso es posible que el momento de torsión más alto ocurra a velocidad cero (100% de deslizamiento). El deslizamiento a plena carga para estos motores es bastante alto en razón de la alta resistencia del rotor, la que por lo general tiende de un 7 a un 11%, pero puede llegar hasta al 17% o más. Estos motores se usan en aplicaciones que requieren la aceleración de cargas de tipo inercias extremadamente altas, especialmente grandes volantes usadas en prensas punzonadoras o grúas de tijera. En tales aplicaciones, estos motores aceleran un gran volante hasta su máxima velocidad, para luego impulsar la perforadora. Después de una operación de perforación, el motor re-acelera el volante por un período de tiempo razonablemente largo para la siguiente operación.

Además de estas cuatro clases de diseños, NEMA acostumbraba a reconocer las clases de diseño E y F, llamadas arranque suave de los motores de inducción. Estos diseños se distinguieron por tener muy bajas corrientes de arranque y se usaron para cargas de momento de arranque bajo, en situaciones donde las corrientes de arranque eran un problema. Estos diseños son obsoletos hoy en día.

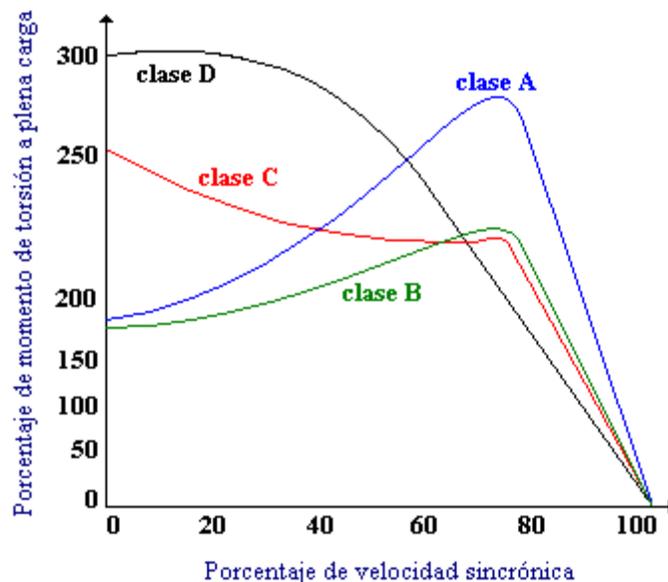


Figura 3.1: Curvas características de cada motor

Por sus características, el motor jaula de ardilla es uno de los más usados a nivel industrial, debido a que se puede elegir el diseño que satisfaga a las necesidades y requerimientos del usuario, en el accionamiento de bombas, ventiladores y compresores. Entre sus principales ventajas se encuentra: la simplicidad de construcción del rotor y controladores, su bajo costo y su adaptabilidad a ambientes agresivos.

Para los motores de inducción, se cuenta con dos devanados, uno se coloca en el estator y el otro en el rotor. En el estator y rotor se tiene un entrehierro cuya longitud se trata de hacerlo lo más pequeño posible, con lo que se logra mejorar el acople magnético entre los devanados.

El devanado del estator puede ser monofásico o trifásico (en general trifásico). En lo sucesivo se analiza el trifásico, cuyas bobinas se colocan en las ranuras interiores del estator. Las fases del devanado del estator se conectan en tipo estrella Y o delta Δ , cuyos bornes son conectados a la red. El devanado del rotor también es trifásico y se coloca en la superficie del cilindro. En el caso simple se une en cortocircuito.

Cuando el devanado del estator es alimentado por una corriente trifásica, se induce un campo magnético giratorio, cuya velocidad sincrónica viene dada por:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (3.1)$$

Donde

- n_1 es la velocidad sincrónica
- f es la frecuencia de la red (50 Hz)
- p es el par polos del estator

Si el rotor esta en reposo o su velocidad mecánica es menor a la velocidad sincrónica ($n_{mec} < n$), entonces el campo magnetico giratorio traspasa los conductores del devanado del rotor e inducen en ellos una fem (fuerza electro-motriz). Tal definición puede ser explicada con la regla de la mano derecha, en donde la dirección de la fem inducida en los conductores del rotor viene dada por el sentido del flujo magnético que gira en sentido contrario. Además, la componente activa de la corriente en el rotor I_{rot} se encuentra en fase con la fem inducida.



Figura 3.2: Regla de la mano derecha

Sobre los conductores con corriente empleados en el campo magnético, actúan fuerzas electromagnéticas cuya dirección se determina por la regla de la mano izquierda, donde estas fuerza crean un momento electromagnético M_{elmag} que arrastra al rotor tras el campo magnético. Si este M_{elmag} es lo suficientemente grande, entonces el rotor va a girar y su velocidad n_2 va a corresponder a la igualdad. Es decir:

$$M_{elmag} (estator) = M_{freno} (rotor) \quad (3.2)$$

La ecuación anterior define el funcionamiento de la maquina en régimen de motor y es evidente en este caso que se cumple que:

$$0 \leq n_2 < n_1 \quad (3.3)$$

A la diferencia de velocidades entre el campo magnético y el rotor se llama deslizamiento y se representa como:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3.4)$$

Donde

s es el deslizamiento
 n_1 es la velocidad del estator
 n_2 es la velocidad del rotor

Se deduce que en el régimen de motor, se obtiene que:

$$0 < s \leq 1 \quad (3.5)$$

Para el caso de un generador, se establece que:

$$s < 0 \quad (3.6)$$

Para el caso de un frenado de tipo magnético, viene dado por:

$$s > 1 \quad (3.7)$$

Cuando se tienen diferentes motores que conforman un sistema el cual realiza un determinado proceso, es adecuado que los contactores o arrancadores que son el principal componente de control de los motores, estén agrupados en un material envolvente, esto con la finalidad de prevenir condiciones ambientales y de operaciones inadecuadas para el equipo y personal de trabajo. El objetivo de instalar de esta manera la conexión de los equipos es la siguiente:

- 1) Prevenir contacto accidental con partes energizadas (vivas).
- 2) Proteger el controlador del medio ambiente dañino.
- 3) Prevenir la explosión o incendio que pudiese resultar del arco eléctrico, causado por la apertura de contactos dentro de un medio explosivo.

En este sentido, lo que se busca es que el sistema que contenga el control de motores o CCM tengas las características técnicas apropiadas para asegurar el correcto funcionamiento de los motores, teniendo especial cuidado en la aislación de todo material tanto aislante como metálico, con el fin de aislar cada componente eléctrico para su segura operación por parte del operador y/o mantenedor.

3.3.- ALIMENTACION TRIFASICA

Las tensiones generadas en un sistema trifásico son de la misma magnitud y presentan una diferencia de fase de 120° eléctricos. El orden de aparición de las tensiones fasoriales nos muestra la secuencia, que por convenio internacional se indica como positiva para la rotación de los fasores en el plano complejo, tal como se muestra en la figura 3.2, en donde se aprecia a simple vista la rotación contraria a la dirección del movimiento de las manecillas del reloj, esto es con respecto al tiempo o al desplazamiento angular. Las ventajas de usar este tipo de distribución son las siguientes:

- Para alimentar una carga de igual potencia eléctrica, las corrientes en los conductores son menores que las que se presentan en un sistema monofásico
- Para una misma potencia, las maquinas eléctricas son de menor tamaño que las maquinas eléctricas monofásicas.
- En un sistema trifásico es posible conectar cargas monofásicas y trifásicas de manera simultánea.

Importante es en el proceso de migración y conexionado del nuevo conexionado, manejar los fundamentos de funcionamiento trifásico, así como de sus conexiones, dado que se deberá desconectar totalmente el CCM actual para realizar la migración al nuevo CCM, teniendo un especial cuidado en el proceso de conexionado, poniendo un especial énfasis en la correcta correlación de las fases, el sentido de giro, y tipo de conexión según corresponda al módulo y/o motor respectivo.

Se deberá realizar una importante capacitación e instrucción al personal involucrado directamente en el proceso de desconexión del CCM antiguo y posterior conexión del CCM nuevo, debido a lo crucial y trascendental del trabajo de migración de cada uno de los módulos de control y fuerza correspondientes. Se debe considerar que el personal que estará ejecutando el trabajo antes descrito, posee las competencias necesarias, básicas y a la vez suficientes para enfrentar el trabajo de conectar todos los motores a su módulo respectivo. Es por esta razón, que es importante hacer una mención a los tipos, esquemas y definiciones de conexión de un sistema trifásico.

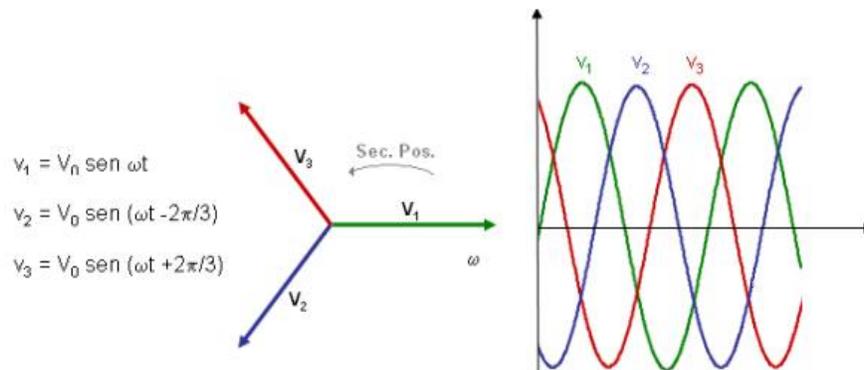


Figura 3.3: Representación de un sistema trifásico

En el sistema trifásico se tienen dos alternativas de conexión de los devanados para las tensiones generadas por fase, siendo la conexión en estrella y la conexión en delta. Se podrá observar que para la misma tensión generada por fase en ambos sistemas, en el sistema tipo estrella se tendrá una mayor tensión de línea, que para el sistema tipo delta; que se da como resultado de la composición de los fasores, disposición y conexión de los devanados.

3.4.-CONEXIÓN ESTRELLA

Efectuando la conexión de los terminales de los devanados del motor en los puntos iniciales o finales, se obtiene una conexión en estrella; tendremos un sistema de distribución eléctrico de tres fases y cuatro hilos, donde en este caso, se tiene acceso al punto neutro en el cuarto hilo, tal como se representa en la figura 3.4.

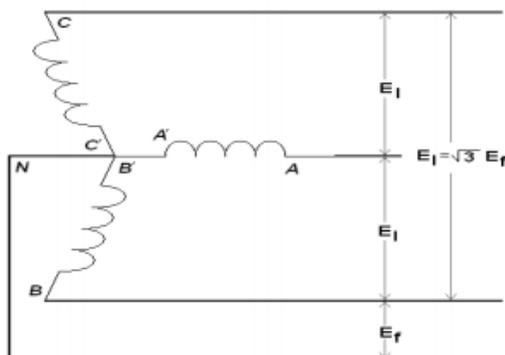


Figura 3.4: Sistema de Conexión Estrella

En la conexión estrella, con secuencia positiva, tenemos que se han conectado las terminales A', B' y C', el cual corresponde al punto común neutro (N). Mediante este tipo de conexión se dispone de las tensiones de fase y de línea.

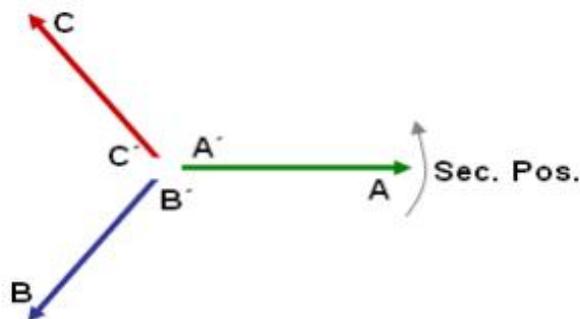


Figura 3.5: Diagrama de Secuencia Positiva

Por tanto, es posible determinar, por ejemplo, la tensión de línea o tensión entre fases A y B, la cual es posible de obtener siguiendo la siguiente ecuación:

$$\overline{E_{AB}} = \overline{E_{AN}} - \overline{E_{BN}}$$

$$\overline{E_{AB}} = \overline{E_{AN}} - \overline{E_{BN}}$$

$$\overline{E_{AB}} = E \angle 0^\circ + E \angle 60^\circ$$

$$\overline{E_{AB}} = E(\cos 0^\circ + j \text{sen } 0^\circ) + E(\cos 60 + j \text{sen } 60^\circ)$$

$$\overline{E_{AB}} = E \left(\frac{3}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$\overline{E_{AB}} = \sqrt{3}E \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j \frac{1}{2} \right)$$

$$\overline{E_{AB}} = \sqrt{3}E (\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ)$$

$$\overline{E_{AB}} = E \angle 30^\circ \quad (3.9)$$

El resultado en la ecuación 3.9, indica que la tensión de línea es mayor $\sqrt{3}$ veces la tensión de fase y también se puede observar que se adelanta 30° . Esta operación es idéntica para las otras líneas implícitas en el sistema trifásico.

3.4.1.- Conexión Estrella Balanceada

Al conectar tres cargas idénticas a un sistema trifásico, tal como se muestra en la figura 3.5, se constituye un sistema balanceado ya que la potencia proporcionada por cada fase es igual. En la figura 3.7, se aprecia el modelo fasorial de un sistema trifásico con cargas balanceadas.

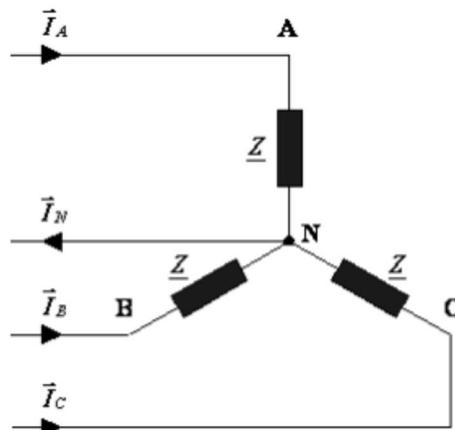


Figura 3.6: Sistema Trifásico Conexión Estrella Balanceado

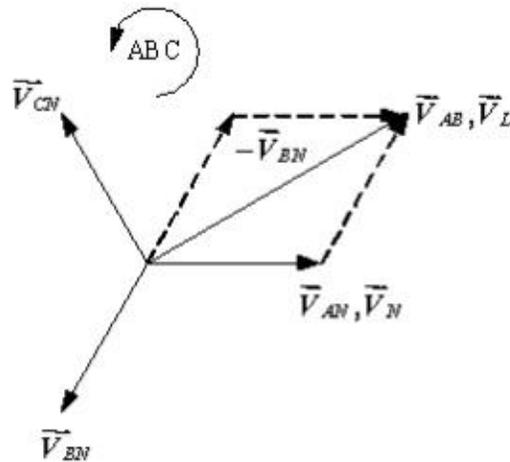


Figura 3.7: Diagrama Fasorial Conexión Estrella Balanceado

Cuando las cargas se alimentan directamente en sus terminales, con un sistema trifásico simétrico, con secuencia de fases ABC, considerando como referencia a las tensiones de fase, la corriente de fase o línea quedan expresadas como:

$$I_A = I_F \angle 0^\circ \quad (3.10)$$

$$I_B = I_F \angle 120^\circ \quad (3.11)$$

$$I_C = I_F \angle 240^\circ \quad (3.12)$$

Por lo que aplicando la Ley de Kirchoff de corrientes, correspondiente al nodo N, se obtiene que:

$$I_N = I_A + I_B + I_C$$

$$I_N = \frac{\overline{V_{AN}}}{Z} + \frac{\overline{V_{BN}}}{Z} + \frac{\overline{V_{CN}}}{Z} = \frac{1}{Z} (V_{AN} + V_{BN} + V_{CN}) \quad (3.13)$$

Puesto que la suma fasorial de las tres tensiones simétricas es igual a cero, entonces:

$$I_N = 0 \quad (3.14)$$

De lo anterior se concluye que en un circuito con tensiones simétricas, en sistemas conectados en estrella balanceado, la intensidad de corriente en el conductor neutro es igual a cero.

Cabe destacar que aunque se tenga un circuito trifásico, compuesto por tres tensiones y tres cargas, se puede analizar una sola fase y usar la secuencia de fases para obtener las corrientes y tensiones de las otras fases, como lo dispuesto en la figura 3.8.

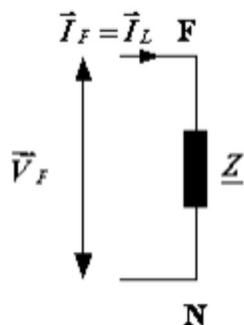


Figura 3.8: Análisis en una sola fase

La corriente de fase en función de la corriente de línea queda expresado como:

$$I_F = I_L = I_L \angle -\theta_Z \quad (3.15)$$

Dónde:

- $-\theta_Z$ Es el ángulo de la impedancia
- I_F Representa la corriente de fase o línea de A, B o C
- I_L Es la notación de la corriente de línea

El factor de potencia, por fase es igual al coseno del ángulo del desplazamiento entre la corriente de línea y la tensión de fase respectiva, es decir:

$$FP = \cos \theta \quad (3.16)$$

Por tanto, la tensión entre fases (tensión de línea) es igual a:

$$V_L = \sqrt{3}V_F \quad (3.17)$$

La distribución de la energía, de manera general, se puede esquematizar como se describe en la figura 3.9.

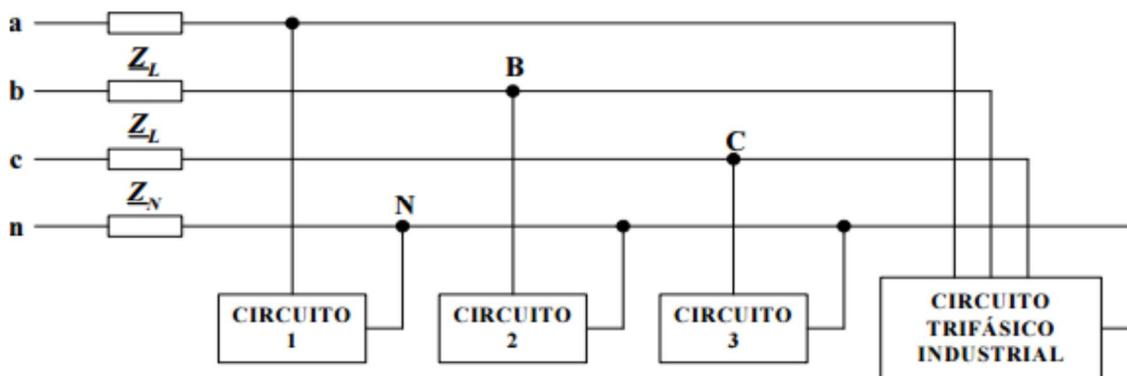


Figura 3.9: Esquema representativo de distribución de energía trifásica conectado en estrella

3.4.2 Conexión Estrella Desbalanceado

Suponiendo que una fuente suministra tensiones simétricas a un sistema de cargas en estrella desbalanceadas, con secuencia de fases abc (+), los diagramas fasoriales de tensión en la fuente y en la carga, lo cuales se muestran en la figura 3.10 y la representación fasorial en la figura 3.11.

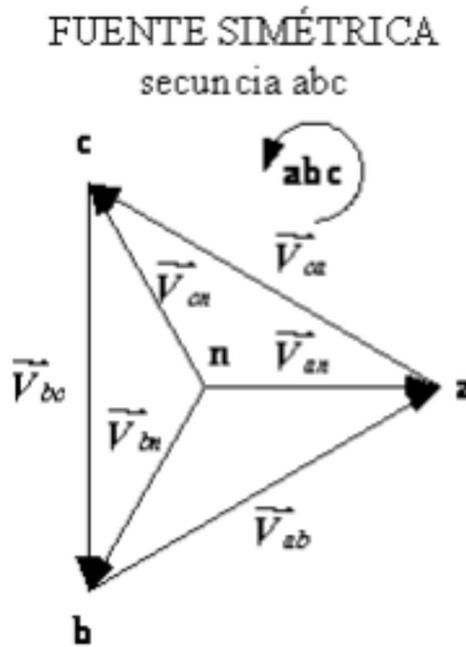


Figura 3.10: Sistema Trifásico Conexión Estrella Desbalanceado

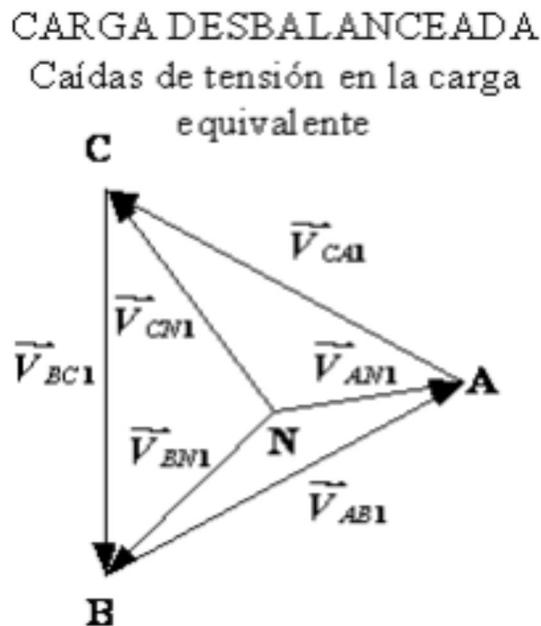


Figura 3.11: Diagrama Fasorial Conexión Estrella Desbalanceado

Haciendo un solo diagrama fasorial tenemos lo representado en la figura 3.12.

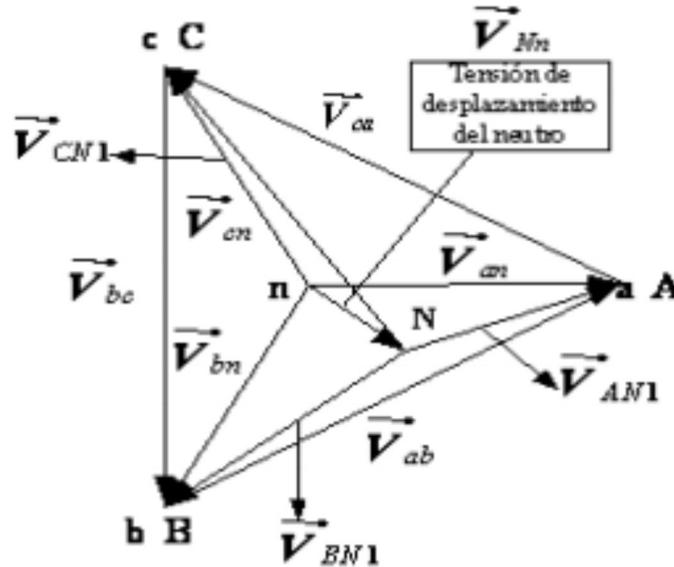


Figura 3.12: Diagramas Fasoriales Sobrepuestos

De acuerdo con la Ley de Tensión de Kirchoff, tenemos que:

$$V_{an} - V_{AN1} - V_{Nn} = 0 \quad (3.18)$$

$$V_{bn} - V_{BN1} - V_{Nn} = 0 \quad (3.19)$$

$$V_{cn} - V_{CN1} - V_{Nn} = 0 \quad (3.20)$$

Por tanto, las caídas de tensión en la carga equivalente son representadas como:

$$V_{AN1} = I_A \cdot Z_{A1} \quad (3.21)$$

$$V_{BN1} = I_B \cdot Z_{B1} \quad (3.22)$$

$$V_{CN1} = I_C \cdot Z_{C1} \quad (3.23)$$

Sustituyendo en las ecuaciones de la LKV las ecuaciones de las caídas de tensión en la carga equivalente, tenemos:

$$V_{an} - I_A Z_{A1} - V_{Nn} = 0 \quad (3.24)$$

$$V_{bn} - I_B Z_{B1} - V_{Nn} = 0 \quad (3.25)$$

$$V_{cn} - I_C Z_{C1} - V_{Nn} = 0 \quad (3.26)$$

Entonces, usando las ecuaciones 3.18 a la 3.26, se puede determinar, en uso de la LKC

$$I_A + I_B + I_C = I_N \quad (3.27)$$

Además

$$I_N = \frac{V_{Nn}}{Z_N} = V_{Nn} Y_N \quad (3.28)$$

Sustituyendo tenemos

$$V_{Nn} Y_N = Y_{A1} V_{an} + Y_{B1} V_{bn} + Y_{C1} V_{cn} - V_{Nn} (Y_{A1} + Y_{B1} + Y_{C1}) \quad (3.29)$$

$$V_{Nn} = (Y_{A1} + Y_{B1} + Y_{C1} + Y_N) = Y_{A1} V_{an} + Y_{B1} V_{bn} + Y_{C1} V_{cn} \quad (3.30)$$

Despejando la caída de tensión del desplazamiento del neutro se obtiene:

$$V_{Nn} = \frac{Y_{A1} V_{an} + Y_{B1} V_{bn} + Y_{C1} V_{cn}}{Y_{A1} + Y_{B1} + Y_{C1} + Y_N} \quad (3.31)$$

Por tanto, las corrientes de línea y del conductor del neutro quedan expresadas como:

$$I_A = Y_{A1} (V_{an} - V_{Nn}) \quad (3.32)$$

$$I_B = Y_{B1} (V_{bn} - V_{Nn}) \quad (3.33)$$

$$I_C = Y_{C1} (V_{cn} - V_{Nn}) \quad (3.34)$$

Y por ende, la expresión final de la corriente queda expresada como:

$$I_N = I_A + I_B + I_C \quad (3.35)$$

3.4.- CONEXIÓN DELTA

En la figura 3.13 se puede apreciar que las tensiones de línea y de fase son iguales. Sin embargo, la corriente, matemáticamente tiene un comportamiento similar a la tensión en el sistema estrella por lo que:

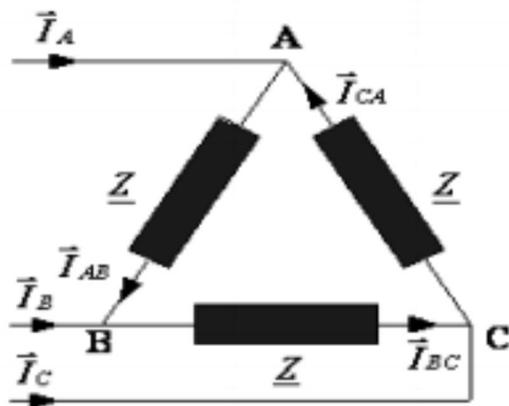


Figura 3.13: Sistema Trifásico Conexión Delta

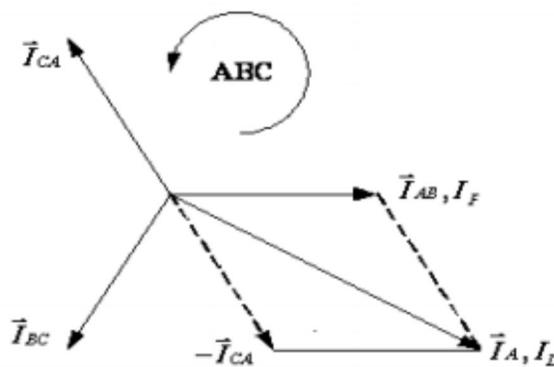


Figura 3.14: Diagrama Fasorial Conexión Delta

Las corrientes de fase son iguales, es decir:

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_F \quad (3.36)$$

La corriente de línea es igual a:

$$I_L = \sqrt{3}I_F \quad (3.37)$$

Toda vez que:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} = I_F \angle 0^\circ - I_F \angle -240^\circ = \sqrt{3}I_F \angle -30^\circ \quad (3.38)$$

Las corrientes de fase son iguales, entonces:

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} \quad (3.39)$$

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_F \quad (3.40)$$

En el caso de tener una alimentación con secuencia de fases abc, las corrientes de línea se adelantan 30 grados con relación a sus respectivas tensiones de fase.

La distribución de la energía de un sistema en delta, se puede esquematizar como se describe en el diagrama de la figura 3.15

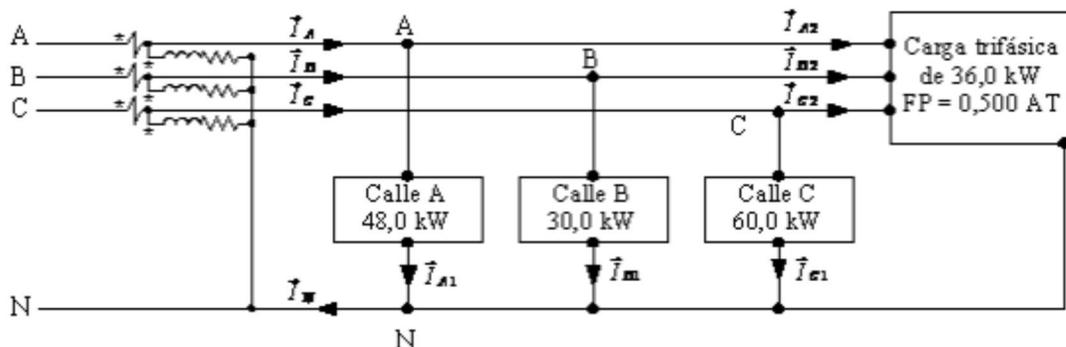


Figura 3.15: Esquema representativo de distribución de energía trifásica en delta

3.5.- POTENCIA

Existen diferentes métodos para determinar las potencias de distribución de energía. De manera práctica se puede medir la potencia activa utilizando un medidor de calidad de energía, un wattmetro trifásico o monofásico o bien si el sistema de distribución está balanceado y las cargas son resistivas la potencia activa es igual a la potencia aparente, por lo que basta con medir la corriente y la tensión de fase y la potencia sería igual al producto entre ellas. Esta potencia se representa con la letra P y su unidad es el Watt (W).

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (3.41)$$

$$P_T = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta_{1\varphi}^{V\varphi} = 3I_L^2 R_\varphi \quad (3.42)$$

La potencia que proporciona la compañía suministradora de energía se le denomina potencia aparente y equivale al producto de la tensión por la corriente, se representa con la letra S y su unidad de medida es el volt-amper (VA).

$$S = V \cdot I \quad (3.43)$$

$$S_T = \sqrt{3}V_L I_L \quad (3.44)$$

El otro tipo de potencia que existe, es la potencia reactiva y corresponde a la ocasionada por los elementos reactivos de la carga (efectos inductivos y capacitivos) se representa con la letra Q y su unidad son los volt-amper reactivos (VAR).

$$Q = V \cdot I \cdot \text{sen } \theta \quad (3.45)$$

$$Q = \sqrt{3}V_L I_L \text{sen } \theta_{I\phi}^{V\phi} = 3I_L^2 R_\phi \quad (3.46)$$

3.6.- FACTOR DE POTENCIA

En la figura 3.16 se muestran diferentes triángulos de potencia representativos del predominio que se tenga en las cargas utilizadas.

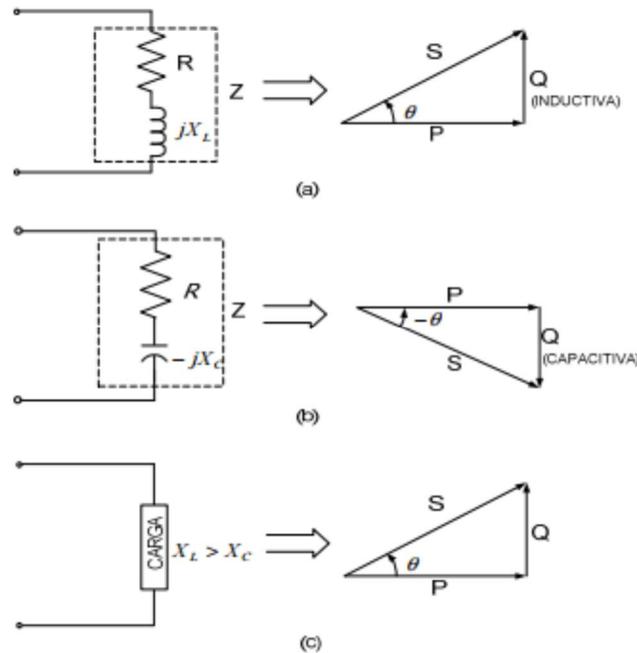


Figura 3.16: Triángulos de potencia: (a) Predominio del efecto inductivo. (b) Predominio del efecto capacitivo. (c) Suma de los efectos con $X_L > X_C$

El factor de potencia es igual a la relación de la potencia activa entre la potencia aparente, es decir:

$$FP = \cos \theta = \frac{\text{Potencia activa (KW)}}{\text{Potencia aparente (KVA)}} = \frac{P(KW)}{S(KVA)} \quad (3.47)$$

La norma establece que el FP debe estar comprendido entre 0,9 y 1, de tal manera que si es menor de 0,9 se recomienda corregirlo para mejorar el aprovechamiento de la energía suministrada.

CAPITULO IV. CALCULO DE PARAMETROS

4.1.- INTRODUCCION

Las principales variables eléctricas inherentes al CCM son la potencia, la corriente, tensiones, factor de potencia, dimensionamiento de barras y más. En este sentido, este capítulo establece los cálculos correspondientes a las variables eléctricas mínimas a definir para una correcta puesta en marcha y posterior funcionamiento sin inconvenientes. El realizar una correcta memoria de cálculo o también llamado cálculos justificativos, entrega la confianza en que las características tales como los calibres de alimentadores o el correcto ajuste de la protección de los módulos del CCM evitara problemas posteriores en el normal funcionamiento del CCM, un expuesto a variables poco favorables, tales como fallas, sobretensiones, sobrecorrientes o cualquier otra variable eléctrica que ponga el jaque la vida útil y utilitaria de los propios motores como así también su centro de control.

4.2.- CALCULOS JUSTIFICATIVOS

4.2.1.- Cálculos Nominales

Para el presente proyecto, en donde se busca el recambio del CCM que controla la totalidad de la Planta de Oxígeno, se utilizarán diferentes metodologías de cálculo para desarrollar y explicar de mejor manera las condiciones mínimas para la realización del proyecto eléctrico.

Todos los cálculos fueron hechos de acuerdo a la NCH Elec. 4/2003, para las instalaciones eléctricas.

A continuación, se detalla la modalidad de cálculo para la obtención de las secciones mínimas requeridas en la modelación tanto de alimentadores como de sub-alimentadores.

a) Secciones Monofásicas

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\Delta V} \quad (4.1)$$

Dónde:

- S Es la sección nominal del conductor expresada en mm.
- ΔV Es el voltaje de pérdida.
- ρ Es la resistividad del cobre, expresada como 0,018.
- I Es la corriente nominal del equipo o sistema.
- L Es la longitud del conductor.
- $\cos\varphi$ Es el Factor de Potencia

b) Secciones Trifásicas

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\Delta V} \quad (4.2)$$

Dónde:

- S Es la sección nominal del conductor expresada en mm.
- ΔV Es el voltaje de pérdida.
- ρ Es la resistividad del cobre, expresada como 0,018.
- I Es la corriente nominal del equipo o sistema.
- L Es la longitud del conductor.
- $\cos \varphi$ Es el FP.

A continuación, se detalla el método para la obtención de la corriente que fluirá a través de los alimentadores, basándose en la norma vigente NCH 4/2004.

c) Corriente Monofásica

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi} \quad (4.3)$$

d) Corriente Trifásica

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} \quad (4.4)$$

Dónde:

- P Es la potencia activa expresada en Watts.
- V Es el voltaje nominal del sistema.
- $\cos \varphi$ Es el FP.

e) Corriente de Tabla

La corriente de tabla es calculada con las ecuaciones características expresadas en la norma, y es la que comúnmente se utiliza para realizar todos los cálculos justificativos a usar según la norma.

$$I_{tabla} = \frac{1,25xI}{Nxf_nxf_t} \quad (4.5)$$

Dónde:

- I Es la corriente nominal del sistema o equipo (corriente de servicio)
- N Es el número de conductores por fase.
- f_n Es el factor de corrección de capacidad de corriente por conductores.
- f_t Es el factor de corrección de capacidad de corriente por temperatura.

e) Regulación de Voltaje

$$\%Reg = \frac{V_{nom} - V'}{V_{nom}} \cdot 100\% \quad (4.6)$$

Dónde:

- $\%Reg$ Es la regulación de tensión en la barra
- V_{nom} Es el voltaje nominal.
- V' Es igual a $V_{nom} - \Delta V$ al reemplazar en $\%Reg$

4.2.2.- Resumen General de Cargas

Tabla 4.1: Resumen de Cargas

Nº	MOTOR O EQUIPO	TAG	POTENCIA (KW)
1	Aire Acondicionado	Aire Acondicionado	13,2
2	Ventilador Sala Lubricación Posición Inferior	C01F1	2,5
3	Ventilador Sala Lubricación Posición Superior	C01F2	2,5
4	Calefactor Aceite	C01OTE1	9
5	Motor Bomba de Engrase	C01OTP1M	7,5
6	Extractor Vahos de Aceite	C01OTP2M	0,5
7	Compresor de Nitrógeno	Compresor Nitrógeno	5
8	Calefacción de Aceite Turbina 1	D01OTE2	3,8
9	Bomba de Aceite Turbina 1	D01OTP1M	3
10	Calefacción de Aceite Turbina 2	D02OTE2	3,8
11	Bomba de Aceite Turbina 2	D02OTP1M	3
12	Calefactor de Reactivación	E09	524
13	Ventilador de Celdas para Agua de Enfriamiento	E62AM	15
14	Ventilador de Celdas para Agua de Enfriamiento	E62BM	15
15	Ventilador de Celdas para Agua de Enfriamiento	E62CM	15
16	Ventilador de Celdas para Agua de Enfriamiento	E62DM	15
17	Calefacción de Deshielo	E081	5,7
18	Ventilador Normal	F01M2	5
19	Filtro de Aire	F01ML	1
20	Ventilador Exterior	F01Y0	15
21	Motor Bomba de Oxigeno Liquido	P01	5,5
22	Motor Bomba de Oxigeno Liquido	P02	5,5

23	Motor Bomba de Oxigeno Liquido	P40	5,5
24	Motor Bomba de Oxigeno Liquido	P41	5,5
25	Motor Bomba de Agua de Enfriamiento	P60	30
26	Motor Bomba de Agua de Enfriamiento	P61	30
27	Motor Bomba de Agua de Enfriamiento	P62	11
28	Motor Bomba de Agua de Enfriamiento	P63	11
29	Motor Bomba de Agua de Enfriamiento	P64	75
30	Motor Bomba de Agua de Enfriamiento	P65	75
31	Tomas de Corriente	Tomas de Corriente	12,5
32	Red de Voltaje 125VCC	Y03	5
33	Panel de Control	Y04	3,5
34	120 VAC Normal	Y05	7
35	UPS By-pass	Y06	15
36	UPS Normal	Y06-N1	15
37	Panel de Alumbrado	Y07	20
38	Alimentación Trafo T-05	Y10	15
39	Tratamiento de Agua	Y18	1,5
40	Reserva	N/A	10
41	Reserva	N/A	10
42	Reserva	N/A	20
43	Reserva c/equipos	N/A	10
44	Reserva c/equipos	N/A	20
45	Reserva c/equipos	N/A	10
46	Reserva c/equipos	N/A	5
		TOTAL	1098

Potencia Transformador Instalado	1150KVA
-----------------------------------------	----------------

Debido a que existe un transformador instalado solo para la operación de la Planta de Oxigeno (TAG: Y02-T02-EE), este cumple con los requerimientos propios y de funcionamiento de la Planta, más aun, este transformador fue inspeccionado, realizada la mantención preventiva ,correctiva y sometido a auditoria por la empresa Systems SA, la cual certifico en el año 2012 (anterior Parada de Planta) que dicho transformador cumple con todas las exigencias y normativas en cuanto a su operación en vacío y a plena carga, funcionamiento correctivo, aislación, corrección de fases y alimentación; por lo que queda descartado cualquier maniobra que impacte sobre el transformador en sí. Según los datos proporcionados por AngloAmerican, la auditoria hecha por la empresa Systems SA tiene una duración basal de 5 años, pero AngloAmerican, según estándares y protocolos internos, realiza dichas mantenciones e inspecciones de manera anual.

Por el motivo descrito anteriormente, es que el contrato contractual solo tiene relación con el recambio del CCM de la Planta de Oxigeno, con alcances a sus respectivas tareas de ingeniería de detalle y corrección de condiciones sub-estándar las cuales puedan perjudicar la correcta puesta en marcha y posterior funcionamiento del nuevo CCM, en lo que respecta al correcto dimensionamiento de alimentadores, correcta migración de control y fuerza,

migración de control análoga a comunicación Profibus y corrección de protecciones, además de la parte ejecutante del retiro del CCM actual por el nuevo CCM.

4.3.- CALCULO DE ALIMENTADORES

Como es sabido, la Planta de Oxígeno se encuentra en pleno funcionamiento, por lo que se debe asumir que los cálculos a las secciones de los alimentadores están bajo norma y cumplen con todos los requisitos normativos y técnicos, propios de una faena minera. Se debe considerar que la industria minera en Chile cumple con los estándares de seguridad más altos del sector industrial, debido en gran parte a la complejidad de las labores mineras, sus peligros y alto potencial de daño.

Considerando el punto anterior, dentro de la ingeniería de detalle, se estipula la revisión de los alimentadores principales de cada componente, corroborando que el cableado existente realmente corresponde al nominal y por ende, cumple satisfactoriamente con su funcionalidad y operación. Dentro de este concepto, se instruyó de parte de AngloAmerican, un levantamiento completo de todos los alimentadores del CCM, corroborar que el calibre de los alimentadores sea el correcto y solucionar aquellas acciones o situaciones que estén fuera de estándar.

Para los cálculos, se establecieron los tipos de alimentadores y sub-alimentadores según tabla N° 8.7 y N° 8.7a de la NCH 4/2003, según corresponda. Para los alimentadores, se establece que los conductores instalados están con aislación libre de halógenos, tipo EVA Notox. Para los sub-alimentadores se cumplen las mismas características.

4.3.1.- Alimentador Principal CCM

Para el cálculo de los alimentadores generales del CCM, se verifica si los instalados en el antiguo CCM cumplen con las características y disposiciones normativas, dado que al ser un equipo antiguo y en operación hace más de 24 años, es posible que algunas cargas y consumos hagan que la regulación del cableado instalado originalmente presente problemas.

Tenemos que:

$$P_{total} = 1098 \text{ KW}$$

Basándose en los cálculos anteriores, expresada en la ecuación 4.4 para el cálculo de una corriente trifásica, y una potencia demandada de 1098 KW, se obtendrá una corriente de:

$$I = \frac{P_d}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I = \frac{1098 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \times 380V}$$

$$I = 1660,6 \approx 1661 \text{ A}$$

La corriente anterior se denomina corriente de servicio. Para lograr calcular la corriente a utilizar según tabla, se obtiene:

$$I_{\text{tabla}} = \frac{1,25 \cdot 1661}{6 \cdot 0,6 \cdot 0,91}$$

$$I_{\text{tabla}} = 475,33 \approx 475 \text{ A}$$

Cabe señalar que el coeficiente 1,25 se utiliza para obtener un valor 25% mayor para el dimensionamiento del conductor, con lo cual, se obtiene que este tenga un porcentaje de dimensionamiento que permita la correcta difusión de temperatura y corrección por número de conductores según canalización. (NCH Elec. 8.1.2.3; NCH Elec. 12.2.2)

El cable que está instalado es de 151,8 mm² (300MCM), el cual soporta una corriente de 505A (según NCH Elec. 4/2003, Tabla 8.7a), por lo tanto, se demuestra que el conductor utilizado, con 6 conductores por fase (2 triadas), cumple con la capacidad de corriente exigida por la carga.

Se comprueba que la caída de tensión de un largo de 13 metros, medidos desde la base del trafo de alimentación y el recorrido que hace el alimentador a través del banco ducto.

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I}{S}$$

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,018 \cdot 13 \cdot 475}{151,8}$$

$$\Delta V = 1,3 \text{ V}$$

Se comprueba la regulación de voltaje con dicha sección, en donde:

$$V' = 380 - 1,3 = 378,7 \text{ V}$$

Así:

$$\%Reg = \frac{V_{\text{nominal}} - V'}{V_{\text{nominal}}} \cdot 100\%$$

$$\%Reg = \frac{380 - 378,7}{380} \cdot 100\%$$

$$\%Reg = 0,34\%$$

Por lo que el porcentaje de regulación es menor a un 3% exigido por norma, el conductor cumple con las exigencias mínimas de sección y transporte para la potencia instalada y su demanda máxima.

$$0,34\% < 3\%$$

Dado que cumple con la condición de la norma, en donde la %Reg debe ser menor o igual a un 3%, entonces se comprueba que el conductor instalado de 151,8 mm² (300 MCM) cumple con los requerimientos mínimos para la alimentación del CCM actual y por ende, al nuevo CCM a instalar.

Para la condición de la tierra de protección, según norma se debe usar una sección indicada en la Tabla N°10.23 de la NCH Elec. 4/2003, la cual entrega un valor mínimo de sección para el conductor de tierra de protección con respecto a la sección de las líneas activas o fases.

Tabla N° 10.23
Secciones Nominales para Conductores de Protección

Sección nominal de los conductores activos [mm ²]	Sección nominal del conductor de protección [mm ²]
1,5	1,5
2,5	2,5
4	2,5
6	4
10	6
16	6
25	10
35	10
50	16
70	16
95 hasta 185	25
240 hasta 300	35
400 o más	50

Figura 4.1: Tabla N°10.23 NCH Elec. 4/2003

Con esta definición, la sección de la tierra del alimentador del sistema debe ser de por lo menos 25 mm² o bien 4 AWG para conductores activos de sección 151,8 mm². Esta condición se cumple a cabalidad, dado que el sistema de puesta a tierra que posee el CCM actual es de un calibre similar al usado en las líneas activas, es decir, el conductor de tierra de protección usado es un conductor de 151,8 mm² (300 MCM).

4.3.2.- Sub-alimentadores

Los sub-alimentadores, siguen la misma tónica anterior, en donde se debe comprobar que el cableado instalado y en funcionamiento, cumple con las exigencias mínimas para su operación. Para realizar el cálculo de los sub-alimentadores, se sigue la misma metodología usada anteriormente para el cálculo del alimentador principal del CCM, solo que ahora, se

debe hacer modulo por modulo o equipo por equipo. Se pondrá por ejemplo un motor que mueve una bomba de agua, con una potencia de 30KW.

Entonces, se tiene que:

$$P = 30 \text{ KW}$$

Con una potencia demandada de 30 KW, se obtendrá una corriente de:

$$I = \frac{P_d}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I = \frac{30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \times 380V}$$

$$I = 45,58 \approx 46 \text{ A}$$

Para lograr calcular la corriente a utilizar según tabla, se obtiene:

$$I_{\text{tabla}} = \frac{1,25 \cdot 46}{1 \cdot 1 \cdot 0,91}$$

$$I_{\text{tabla}} = 63,18 \approx 63 \text{ A}$$

El cable que está instalado es de 8,37 mm² (8AWG), el cual soporta una corriente de 80A (según Norma Elec. 4/2003, Tabla 8.7a), por lo tanto, se demuestra que el conductor utilizado, con 1 conductor por fase, cumple con la capacidad de corriente exigida por la carga.

Comprobamos la caída de tensión de un largo de 25 metros, medidos desde la base del trafo de alimentación y el recorrido que hace el alimentador a través del banco ducto.

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I}{S}$$

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,018 \cdot 25 \cdot 63}{8,37}$$

$$\Delta V = 5,86 \approx 5,9 \text{ V}$$

Comprobamos la regulación de voltaje con dicha sección, en donde:

$$V' = 380 - 5,9 = 374,1 \text{ V}$$

Así

$$\%Reg = \frac{V_{nominal} - V'}{V_{nominal}} \cdot 100\%$$

$$\%Reg = \frac{380 - 374,1}{380} \cdot 100\%$$

$$\%Reg = 1,55\%$$

Dado que el porcentaje de regulación es menor a un 3% exigido por norma, el conductor cumple con las exigencias mínimas de sección para la potencia instalada y su demanda máxima.

$$1,55\% < 3\%$$

Dado que cumple con la condición de la norma, en donde la $\%Reg$ debe ser menor o igual a un 3%, entonces se comprueba que el conductor instalado de 8,37 mm² (8AWG) cumple con los requerimientos mínimos para la alimentación del CCM actual y por ende, al nuevo CCM a instalar.

Para la condición de la tierra, según la Tabla N°10.23 de la NCH Elec. 4/2003, para una sección de 8,37mm² (conductores activos) se debe usar una sección para los conductores de tierra de protección mínima de 6mm². Esta condición se cumple a cabalidad, dado que el sistema de puesta a tierra que posee el CCM actual es de un calibre similar al usado en las líneas activas, es decir, se alimenta con un conductor de 8,37 mm² (8 AWG), todos insertos en un cordón de 4x8 AWG.

Se puede demostrar que es factible realizar la inspección de los sub-alimentadores del CCM, por lo que dicho trabajo queda expuesto en la siguiente tabla 4.1, donde queda expresado el comisionamiento hecho a cada equipo del CCM, con el fin de optimizar el trabajo.

También es importante considerar que para los cálculos, utilice una técnica muy empleada en minería en la proyección de alimentadores y equipos, la cual consiste en estimar un FP de valor unitario, con lo cual se obtiene un valor de corriente mayor.

Dado que como el valor de FP es inversamente proporcional a la corriente, si se mantiene un FP unitario, proporcionara un valor de corriente mayor, con lo cual se tiende a sobredimensionar levemente los alimentadores y protecciones de los equipos, con el resultado de una mejor protección y estimación de alimentaciones y protecciones ante fallas y aumento inesperado de corrientes, defecto que es común en la industria minera.

A continuación, en la Tabla 4.2 se expresan los valores arrojados por el comisionamiento realizado a cada máquina y motor de forma independiente. Además, también se considera el resumen del cálculo de la caída de tensión de cada unidad, equipo y motor, comprobando que el porcentaje de regulación y la sección del conductor cumplan con lo establecido por la NCH Elec. 4/2003

Tabla 4.2: Comisionamiento General Módulos CCM

TAG	POTENCIA (KW)	CORRIENTE (A)	CORRIENTE TABLA (A)	SECCION CONDUCTOR (mm ²)	LONGITUD CONDUCTOR (mts)	% REGULACION	ESTADO
Aire Acondicionado	13,2	20	4	3,31	26	0,26	OK
CO1F1	2,5	3,8	5,22	3,31	30	0,38	OK
C01F2	2,5	3,8	5,22	3,31	40	0,52	OK
C01OTE1	9	13,7	18,8	3,31	30	1,4	OK
C01OTP1M	7,5	11,5	15,8	3,31	26	1	OK
C01OTP2M	0,5	0,8	1,1	3,31	26	0,07	OK
Compresor Nitrógeno	5	7,6	10,4	3,31	40	0,99	OK
D01OTE2	3,8	5,8	7,97	3,31	25	0,49	OK
D01OTP1M	3	4,6	6,32	3,31	12	0,19	OK
D02OTE2	3,8	5,8	7,97	3,31	10	0,2	OK
D02OTP1M	3	4,6	6,32	3,31	10	0,16	OK
E09	524	796,1	455,6	126,7	23	0,68	OK
E62AM	15	22,8	31,3	5,26	25	1,2	OK
E62BM	15	22,8	31,3	5,26	25	1,2	OK
E62CM	15	22,8	31,3	5,26	25	1,2	OK
E62DM	15	22,8	31,3	5,26	25	1,2	OK
E081	5,7	8,66	11,9	3,31	23	0,68	OK
F01M2	5	7,6	10,4	3,31	16	0,41	OK
F01ML	1	1,52	2,09	3,31	19	0,1	OK
F01Y0	15	22,8	31,3	5,26	34	1,7	OK
P01	5,5	8,36	11,5	3,31	45	1,3	OK
P02	5,5	8,36	11,5	3,31	45	1,3	OK
P40	5,5	8,36	11,5	3,31	45	1,3	OK
P41	5,5	8,36	11,5	3,31	45	1,3	OK
P60	30	45,6	62,6	8,37	25	1,5	OK
P61	30	45,6	62,6	8,37	25	1,5	OK
P62	11	16,7	22,9	3,31	30	1,7	OK
P63	11	16,7	22,9	3,31	33	1,7	OK
P64	75	114	157	21,2	40	2,4	OK
P65	75	114	157	21,2	40	2,4	OK
Tomas de Corriente	12,5	19	17,2	3,31	23	0,98	OK
Y03	5	7,6	10,4	3,31	16	0,41	OK
Y04	3,5	5,32	7,31	3,31	20	0,36	OK
Y05	7	10,6	14,6	3,31	27	0,98	OK
Y06	15	22,8	31,3	5,26	38	1,9	OK
Y06-N1	15	22,8	31,3	5,26	46	2,2	OK
Y07	20	30,4	41,8	5,26	35	2,3	OK
Y10	15	22,8	31,3	5,26	12	0,59	OK
Y18	1,5	2,28	3,13	3,31	5	0,04	OK

Como se puede apreciar en la Tabla 4.2, el comisionamiento general que se hizo a los sub-alimentadores del CCM, dio como resultado que todo el cableado está bajo norma y en óptimas condiciones, tanto mecánicas como eléctricas.

También es posible apreciar, que según norma interna de AngloAmerican, todos los alimentadores, sea cual sea su carga, y que se alimentan de un CCM, deben tener una

sección mínima de 3,31 mm². Este apartado (Anglo Fatal Risk – Number 271°-2001) tiene relación directa con el inciso descrito anteriormente, en donde hace mención indicativa a las secciones mínimas requeridas para las conexiones, empalmes, tableros, etc. Como se puede observar, este apartado da la ventaja a que se estará trabajando siempre en condiciones favorables en lo que respecta a la caída de tensión que se produce en los alimentadores, dado que ese “sobredimensionamiento” produce una brecha bastante importante, que permite la proyección de más cargas o de aumentar la longitud del cable mismo, sin perjudicar la caída de tensión y aumentar dicha caída de tensión.

Como era de esperarse, todos los sub-alimentadores cumplen cabalmente con las exigencias de proyección y estudio del reemplazo del CCM de la Planta de Oxígeno de la Fundición Chagres, con lo que se logra tener la seguridad que el dimensionamiento del cableado general del CCM cumple con las normas y exigencias mínimas permitidas tanto por la NCH Elec. 4/2003 así como las Anglo Fatal Risk.

4.4.- PROTECCIONES

Es de suma importancia un buen ajuste y coordinación de las protecciones dentro de un CCM, es por esta razón, y conservando las características funcionales del actual CCM, es que se hizo un levantamiento general modulo por modulo, para obtener así, el ajuste tanto resistivo como magnético de las protecciones del interruptor de caja moldeada de cada equipo.

La selectividad dentro de una protección se consigue por medio de dispositivos de protección automáticos si ocurre una condición de defecto en cualquier punto de la instalación y es eliminada por el dispositivo de protección situado inmediatamente aguas arriba del defecto, de forma que no se vean afectados todos los demás dispositivos de protección. La selectividad entre los interruptores automáticos A y B es total si el valor máximo de la corriente de cortocircuito en el circuito B no supera el ajuste de disparo por cortocircuito del interruptor automático A. En esta condición sólo disparará el interruptor automático B. La selectividad es parcial si la máxima corriente de cortocircuito posible en el circuito B es superior al ajuste de la corriente de disparo por cortocircuito del interruptor automático A. En esta condición dispararán los interruptores automáticos A y B.

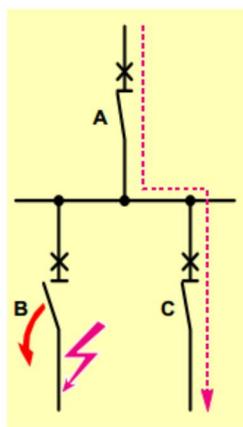


Figura 4.1: Ejemplo de Coordinación de Protecciones

Mediante la limitación del valor máximo de corriente de cortocircuito que pasa a través del mismo, un interruptor automático con limitación de corriente permite utilizar en todos los circuitos situados aguas abajo de su ubicación física y componentes de circuitos con capacidades de corte de cortocircuito y capacidades de resistencia térmica y electromecánica con valores muy inferiores a los habituales. El tamaño físico reducido y los requisitos de rendimiento más bajos permiten conseguir un ahorro considerable y simplificar el trabajo de instalación.

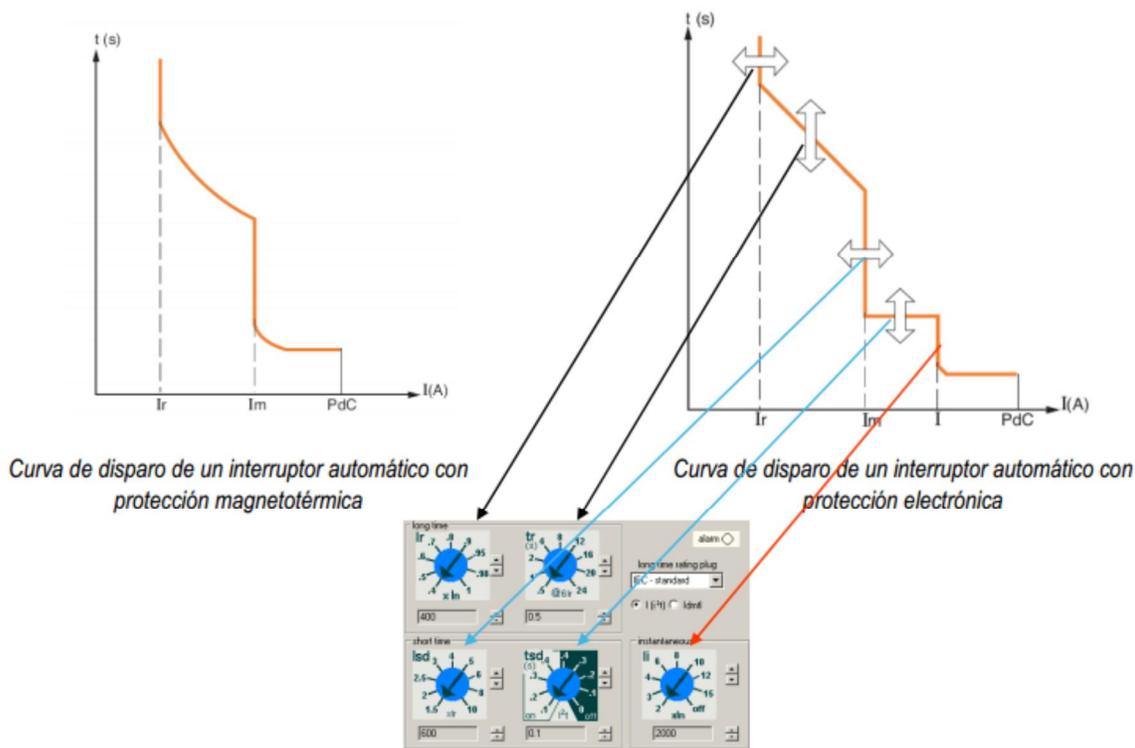


Figura 4.2: Ejemplo Curvas de Disparo en un Interruptor Caja Moldeada GE

4.4.1.- Intensidad de Cortocircuito General

La intensidad de cortocircuito será calculada a través del método de bus infinito, donde se considera la intensidad de corriente entregada por el transformador, la potencia del transformador y el voltaje. Una vez obtenida esta corriente, que sale por el lado secundario del transformador, es posible encontrar la componente simétrica y asimétrica de la corriente de cortocircuito. Estas componentes entregan un dato fidedigno acerca de las capacidades que deben tener tanto las protecciones como las barras para la protección de los componentes de cada módulo del CCM. Como toda variable eléctrica, esta es representada a través de ecuaciones características que definen el comportamiento nominal de dichas variables. Para obtener la intensidad de corriente que circula desde el secundario del transformador hasta el CCM, se debe considerar la siguiente ecuación:

$$I_{2n} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2}$$

Dónde:

- I_{2n} Es la intensidad por el lado secundario del transformador:
- S Es la potencia nominal del transformador:
- U_2 Es la tensión nominal del secundario del transformador:

Entonces, si se tiene que:

Potencia Transformador Instalado	1150 KVA
-----------------------------------------	-----------------

Así

$$I_{2n} = \frac{1150 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400}$$

$$I_{2n} = 1747,24$$

Una vez conocida la corriente que circula por el devanado secundario del transformador hacia el CCM, procedemos a calcular las componentes simétricas y asimétricas de la corriente de cortocircuito, donde se consideran las siguientes ecuaciones:

Componente Simétrica

Componente Asimétrica

$$I_{cc(simetrica)} = \frac{I_{2n}}{Z_{tr}}$$

$$I_{cc(asimetrica)} = 1,25 \cdot I_{cc1(simetrica)}$$

Entonces, considerando que $Z_{tr} = 4,1\%$, la componente simétrica queda definida como:

$$I_{cc(simetrica)} = \frac{I_{2n}}{Z_{tr}}$$

$$I_{cc(simetrica)} = \frac{1747,24}{0,041}$$

$$I_{cc(simetrica)} = 42615,37 \text{ A}$$

$$I_{cc(simetrica)} = 42,62 \text{ KA}$$

Calculamos la componente asimétrica:

$$I_{cc(asimetrica)} = 1,25 \cdot I_{cc(simetrica)}$$

$$I_{cc(asimetrica)} = 1,25 \cdot 42,62$$

$$I_{cc(asimetrica)} = 53,27 \text{ KA}$$

Cabe señalar que la componente asimétrica de un sistema se rige por el siguiente concepto:

1,1 a 1,3	para sistemas de Alta Tensión (completo)
1,25	para Sistemas Industriales
1,5	para Sistemas Industriales en MT

En nuestro caso, y por tratarse de un Sistema Industrial pero cuyos equipos solo operan en BT, se considera una componente asimétrica de 1,25 veces la componente simétrica del sistema.

Se debe considerar una protección la cual tenga la capacidad de un valor de disparo de por lo menos 60KA. Las barras proyectadas tienen un nivel de soporte de 64KA según los datos aportados por el fabricante de GE Chile, por lo que están debidamente proyectadas y soportarán la corriente de cortocircuito.

4.4.2.- Intensidad de Cortocircuito por Equipos

Para el cálculo de la protección de cada uno de los equipos, es necesario realizar el cálculo de las componentes de cortocircuito de cada uno de los equipos, procedimiento similar al realizado con el cálculo de la protección general del CCM.

Considerando el equipo que mueve una bomba de agua, cuyos datos son los siguientes:

- Motor Bomba de Agua de Enfriamiento (Tag: P60)

$$P = 30 \text{ KW}$$

$$V = 380 \text{ V}$$

$$FP = 0,85$$

Entonces, la corriente a plena carga viene dada por:

$$I = \frac{30 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85}$$

$$I = 53,62 \text{ A}$$

Considerando un factor de sobrecarga de un 25% indicado en la Tabla 10.22 de la NCH Elec. 4/2003, se obtiene:

$$I' = 1,25 \cdot 53,62$$

$$I' = 67,03 \text{ A}$$

Con lo cual, se debe contar con un interruptor termomagnético con un valor de disparo:

$$\text{Interruptor termomagnético} = 3 \times 80 \text{ A (long-time)}$$

Para el ajuste magnético, usaremos la tabla adjunta al catálogo propio de los interruptores GE, donde se especifican las intensidades y valores a utilizar dentro del ajuste magnético de la protección automática.

Tabla 4.3: Ajuste Magnético Interruptor Caja Moldeada GE

Corriente nominal de los interruptores automáticos (en A)	Sección de los conductores (en mm ²)								
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
6	100	167	267	400	667				
10	60	100	160	240	400	640			
16	37	62	100	150	250	400	625	875	
20	30	50	80	120	200	320	500	700	
25	24	40	64	96	160	256	400	560	760
32	18,0	31	50	75	125	200	313	438	594
40	15,0	25	40	60	100	160	250	350	475
50	12,0	20	32	48	80	128	200	280	380
63	9,5	16,0	26	38	64	102	159	222	302
80	7,5	12,5	20	30	50	80	125	175	238
100	6,0	10,0	16,0	24	40	64	100	140	190
125	5,0	8,0	13,0	19,0	32	51	80	112	152

Nivel de corriente In del disparo magnético instantáneo (en A)	Sección de los conductores (en mm ²)														
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
50	100	167	267	400											
63	79	133	212	317											
80	63	104	167	250	417										
100	50	83	133	200	333										
125	40	67	107	160	267	427									
160	31	52	83	125	208	333									
200	25	42	67	100	167	267	417								
250	20	33	53	80	133	213	333	467							
320	16	26	42	63	104	167	260	365	495						
400	13	21	33	50	83	133	208	292	396						
500	10	17	27	40	67	107	167	233	317						
560	9	15	24	36	60	95	149	208	283	417					
630	8	13	21	32	63	85	132	185	251	370					
700	7	12	19	29	48	76	119	167	226	333	452				
800	6	10	17	25	42	67	104	146	198	292	396				
875	6	10	15	23	38	61	95	133	181	267	362	457			
1.000	5	8	13	20	33	53	83	117	158	233	317	400	435		
1.120	4	7	12	18	30	48	74	104	141	208	283	357	388	459	
1.250	4	7	11	16	27	43	67	93	127	187	253	320	348	411	
1.600		5	8	13	21	33	52	73	99	146	198	250	272	321	400
2.000		4	7	10	17	27	42	58	79	117	158	200	217	257	320
2.500			5	8	13	21	33	47	63	93	127	160	174	206	256
3.200			4	6	10	17	26	36	49	73	99	125	138	161	200
4.000				5	8	13	21	29	40	58	79	100	109	128	160
5.000				4	7	11	17	23	32	47	63	80	87	103	128
6.300					5	8	13	19	25	37	50	63	69	82	102
8.000					4	7	10	15	20	29	40	50	54	64	80
10.000						5	8	12	16	23	32	40	43	51	64
12.500						4	7	9	13	19	25	32	35	41	51

Considerando la Tabla 4.3 indicada anteriormente, es posible ajustar el nivel magnético de la protección a utilizar, con el simple hecho de ubicar los valores resistivos definidos como long-time dentro de los módulos interiores de un interruptor caja moldeada.

Entonces, si utilizamos un conductor cuya sección es 3,31 mm², nos posicionamos en el recuadro de valor mayor más próximo, el cual es de 4 mm² y un ajuste de disparo de 80A con lo cual se define:

$$I_m = 167 A \text{ (short-time)}$$

Por tanto, la protección del motor que acciona la bomba de agua queda ajustada en un disparo de 80A y un ajuste magnético de 167A.

Así, sucesivamente se debe hacer la misma operación para cada uno de los equipos que componen el CCM. Esta tarea será plasmada en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Ajuste Protecciones Sub-alimentadores

TAG	POTENCIA (KW)	FACTOR DE POTENCIA	CORRIENTE A PLENA CARGA (A)	CORRIENTE SOBRECARGA (A)	SECCION CONDUCTOR (mm ²)	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO (A)	AJUSTE MAGNETICO (A)
Aire Acondicionado	13,2	0,85	24	30	3,31	3x32	50
CO1F1	2,5	0,85	4,5	5,6	3,31	3x10	160
C01F2	2,5	0,85	4,5	5,6	3,31	3x10	160
C01OTE1	9	1	14	18	3,31	3x20	80
C01OTP1M	7,5	0,85	13	16	3,31	3x20	80
C01OTP2M	0,5	0,85	0,89	1,1	3,31	3x6	267
Compresor Nitrógeno	5	0,85	8,9	11	3,31	3x16	100
D01OTE2	3,8	1	5,8	7,3	3,31	3x10	160
D01OTP1M	3	0,85	5,4	6,8	3,31	3x10	160
D02OTE2	3,8	1	5,8	7,3	3,31	3x10	160
D02OTP1M	3	0,85	5,4	6,8	3,31	3x10	160
E09	524	1	796,1	995,1	126,7	3x1000	435
E62AM	15	0,85	27	34	5,26	3x40	60
E62BM	15	0,85	27	34	5,26	3x40	60
E62CM	15	0,85	27	34	5,26	3x40	60
E62DM	15	0,85	27	34	5,26	3x40	60
E081	5,7	1	8,7	11	3,31	3x16	100
F01M2	5	0,85	8,9	11	3,31	3x16	100
F01ML	1	0,85	1,8	2,3	3,31	3x6	267
F01Y0	15	0,85	27	34	5,26	3x40	60
P01	5,5	0,95	8,8	11	3,31	3x16	100
P02	5,5	0,95	8,8	11	3,31	3x16	100
P40	5,5	0,95	8,8	11	3,31	3x16	100
P41	5,5	0,95	8,8	11	3,31	3x16	100
P60	30	0,85	54	68	8,37	3x80	50
P61	30	0,85	54	68	8,37	3x80	50
P62	11	0,85	20	25	3,31	3x32	50
P63	11	0,85	20	25	3,31	3x32	50
P64	75	0,85	134,1	167,2	21,2	3x200	417
P65	75	0,85	134,1	167,2	21,2	3x200	417
Tomas de Corriente	12,5	1	19	24	3,31	3x32	50
Y03	5	0,85	8,9	11	3,31	3x16	100

Y04	3,5	0,85	6,3	7,9	3,31	3x10	160
Y05	7	0,95	11	14	3,31	3x20	100
Y06	15	1	23	29	5,26	3x32	75
Y06-N1	15	1	23	29	5,26	3x32	75
Y07	20	1	30	38	5,26	3x40	60
Y10	15	1	23	29	5,26	3x32	75
Y18	1,5	0,85	2,7	3,4	3,31	3x6	267

Se consideró un FP igual a todos los motores cuya función es similar, debido a que el Departamento Eléctrico de Fundición Chagres no posee información requerida con respecto a cada FP de cada motor instalado, y en rigor, a los años que han transcurrido desde la puesta en marcha de la Planta de Oxígeno. A consecuencia de esto, se decidió y fue sometido a estudio por parte de la Oficina de Proyectos de AngloAmerican, el sostener y aplicar un FP estándar según año, capacidad y carga de los motores involucrados, llegando a la conclusión que un $FP = 0,85$ resulta apropiado para el cálculo y estudio de recambio del CCM de la Planta de Oxígeno.

Se consideró un $FP = 1$ para aquellos feeder que alimentan componentes reostáticos tales como los calefactores, debido a que su FP es muy similar a uno y es despreciable al momento de hacer mediciones de campo.

Se consideró un $FP = 0,95$ a los motores cuyo funcionamiento está regido por un VDF, dado que es el valor de FP que maneja y es indicado en el funcionamiento del VDF marca ABB modelo ACS550-01-087A-4.

CAPITULO V. COMUNICACIÓN PROFIBUS

5.1.- INTRODUCCION

La comunicación o protocolos Profibus es un bus industrial o sistema de comunicación abierto que se regula bajo los estándares europeos EN 50170 y EN 5024, que aseguran y garantizan tal condición. La organización que vela por este bus industrial es Profibus Internacional (PI). Este es un bus que define todas las características de una red de comunicación serie industrial y que se utiliza como medio de intercambio de información entre dispositivos distribuidos en la planta, industria, etc. En resumen, el uso más habitual de la comunicación mediante Profibus es a la hora de interconectar distintos dispositivos de distintos fabricantes sin unas especiales exigencias, pudiendo ser utilizado para aplicaciones donde el tiempo del bus sea crítico y con complejos objetivos de comunicación. Actualmente la organización de usuarios de Profibus está trabajando en la implementación de una herramienta que permita conectar verticalmente Profibus a una red básica TCP/IP.

5.2.- SISTEMA DE COMUNICACION

La comunicación en un sistema industrial se puede dar a tres niveles, de forma separada o conjunta:

- **Nivel de actuador/sensor** : Las señales binarias de los sensores y actuadores son transmitidos a través del bus de estos dispositivos de manera cíclica al maestro de la red. Para este nivel se suele utilizar AS-Interface.

- **Nivel de campo** : Este nivel conecta a todos los periféricos tales como módulos E/S, transductores de señal con el sistema de automatización por una comunicación en tiempo real. En este nivel los datos son también enviados de forma síncrona mientras que las alarmas, los parámetros y los datos de diagnóstico de la comunicación son enviados de forma asíncrona en momentos puntuales. Para este nivel PROFIBUS ofrece una solución transparente y especialmente preparada para procesos de automatización.

- **Nivel de célula.** : Los controladores programables tales como los PLC y los IPC se comunican unos con otros en este nivel mediante grandes paquetes y potentes funciones de comunicación, pudiendo estar esta capa integrada en el sistema de comunicaciones interno de una compañía mediante internet, intranet, mediante los protocolos más usuales TCP/IP y Ethernet.

La Figura 5.1 representa el uso más habitual de Profibus y su forma de conexionado común para redes industriales

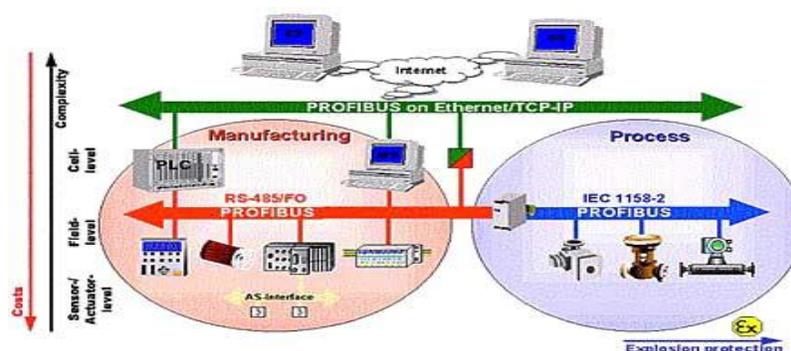


Figura 5.1: Representación del uso del sistema Profibus

Así pues debemos utilizar Profibus cuando necesitemos comunicar elementos del segundo nivel, especialmente recomendable para sistemas de producción. Los principales puntos de descripción del bus son:

- Modelo OSI que se aplica a los buses de campo.
- Topología y arquitectura de un bus de campo.
- Componentes.
- Instalación y cableado.
- Datos de transmisión.
- Tramas de datos.
- Opciones de interconexión con otros sistemas.
- Software disponible para configuración, supervisión y diagnóstico de la red de Comunicación.

5.3.- CARACTERISTICAS GENERALES

Este bus se basa en la comunicación controlada entre maestro-esclavo. Definimos de manera particular estos dispositivos como:

- Dispositivos maestros : O también conocidos como Master Devices, en donde estas estaciones activas rota un permiso de acceso y control que les permite enviar mensajes sin necesidad de petición.
- Dispositivos secundarios : O también conocidos como Slaves Devices son periféricos asignados a los maestros. Consisten en una serie de dispositivos lo suficientemente inteligentes como para seguir las normas del protocolo, entre los que podemos encontrar: sensores, actuadores tipo relé, convertidores de frecuencia, electroválvulas, etc. Su papel es pasivo, pudiendo sólo transmitir cuando se les ha realizado una petición previa.

Los datos que se desplazan por el canal físico son de 5 tipos diferentes:

- Datos de entrada y de salida al proceso.
- Funciones de diagnóstico y verificación.
- Configuración de dispositivos.
- Programas entre los controladores.
- Parámetros de control.

Además de la línea de comunicación, al dispositivo se le debe dotar de corriente eléctrica que se lleva de manera conjunta con esta línea de datos. Las principales características de Profibus son, según describe la norma EN 50170 (DIN19245) son:

- Abierto: Profibus no pertenece a ninguna compañía, está controlado por un comité de estandarización, por lo tanto permite la comunicación entre equipos de diferentes marcas sin la necesidad de una pasarela de protocolo.
- Independiente de fabricantes: Los equipos para Profibus son ofrecidos por muchos vendedores los cuales han de estar certificados.
- Transmisión digital: La comunicación bidireccional entre sistemas de control de procesos y dispositivos de campo es soportada a través de par trenzado, de forma habitual.
- Exactitud: Gracias al reconocimiento de comandos y mensajes, Profibus es un sistema de comunicación altamente seguro puesto que los mensajes defectuosos son repetidos hasta que la confirmación de recepción es enviada.
- Multi-funcional: Profibus se adapta a todas las tareas de automatización, permitiendo el intercambio de datos entre controladores como entre elementos de campo.
- De probada funcionalidad.
- Capacidad de diagnóstico: El estándar Profibus define múltiples formas de diagnósticos entre el sistema de control de procesos y los dispositivos de campo.
- Expansión del sistema: Un equipo adicional puede ser incorporado en cualquier momento al bus sin necesidad de reformar la estructura existente, incluso sin enturbiar la comunicación existente.
- Bajo costo: Reduce cableado y simplifica en consecuencia los planos de estos, competencia de precios entre vendedores al ser independiente, etc.
- En constante renovación gracias a Profibus Internacional (PI).
- Como característica fundamental del bus resaltaremos la comunicación abierta. La comunicación abierta se refiere al intercambio de datos entre estaciones diferentes de producción usando diferentes redes de datos estándar. En 1984 la Organización internacional de estandarización, OSI, aprobó el estándar de comunicación internacional ISO 7498 como el básico para comunicaciones abiertas, también conocido como el modelo de referencia ISO.

5.4.- PERFILES

Profibus ofrece protocolos de comunicaciones según la aplicación tanto para alta velocidad como para grandes cantidades de direccionamiento, caso de los sensores y actuadores, tanto

para buses con largos tiempos de respuesta como para aplicaciones de comunicación compleja. Los tres perfiles compatibles que ofrece Profibus son:

El Profibus-DP (Decentralized Periphery), para el control distribuido. Diseñado para la comunicación entre sistemas de control automático, entradas y salidas distribuidas o remotas en campo. Ofrece la funcionalidad de intercambiar datos de forma rápida y cíclica. Su principal ventaja es que es plug and play, en cuanto a que se permite la identificación de los dispositivos. La Figura 5.2 representa el cableado y señal de un tipo DP.

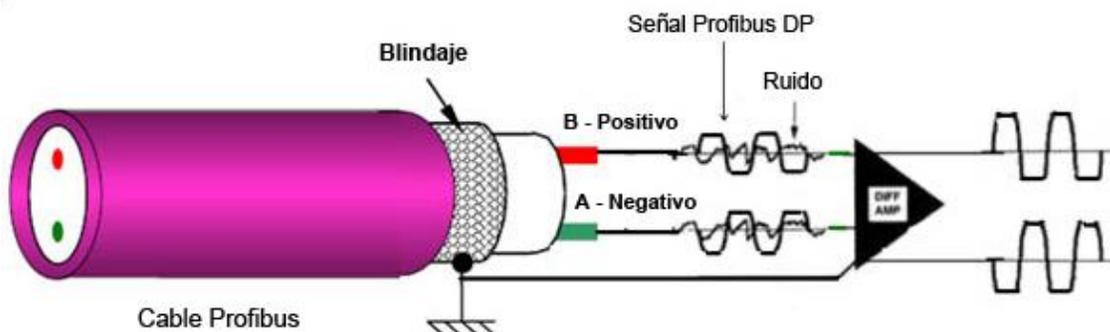


Figura 5.2: Cable Profibus con señal DP

El Profibus-PA (Process Automation), automatización de procesos. Permite que tanto sensores como actuadores sean conectados en una línea de bus. Su aplicación está definida en procesos situados en áreas de seguridad intrínseca, denominadas Ex, y está regido según el estándar internacional IEC 1158-2, especialmente indicado para las actividades petroleras y químicas.

Y el Profibus-FMS (Field Message Specification, especificación de los mensajes en el bus de campo), se trata de una serie de tareas de comunicación, de propósito general, en el nivel de comunicaciones de célula. Es el más alto nivel de comunicaciones que aborda este bus, y permite la coordinación de gran cantidad de aplicaciones de comunicación: buses de ordenadores industriales, robots, etc. En FMS se realiza la comunicación entre los dispositivos principales.

En la Figura 5.3 se describen de mejor manera los protocolos mencionados. En el caso de la comunicación de la planta, este basará su comunicación por el protocolo DP, dado que es el tipo de comunicación Profibus que permite una interacción mucho mayor entre el usuario y lo que está pasando en el proceso productivo. Cabe señalar que desde el panel de control existen una serie de variables que deben ser controlables de manera manual por el operador, tales como el despacho de los acumuladores de gas inerte, presente en las bombas de separación o bombas de nitrógeno; con lo cual se hace imprescindible el contar con un sistema de comunicación moderno pero a la vez robusto.

	PROFIBUS-FMS	PROFIBUS-DP	PROFIBUS-PA
Aplicación	Nivel de célula	Nivel de campo	Nivel de campo
Estándar	EN 50 170/IEC 61158	EN 50 170 /IEC 61158	IEC 1158-2
Dispositivos conectables	PLC, PG/PC, Dispositivos de campo	PLC, PG/PC, Dispositivos de campo binarios y analógicos, accionamientos, OPs	Dispositivos de campo para áreas con riesgo de explosión y 31.25 kbit/s
Tiemp. respuest.	< 60 ms	1 - 5 ms	< 60 ms
Tamaño red	<= 150 km	<= 150 km	Máx. 1.9 km
Velocidad	9.6 kbit/s - 12 Mbit/s	9.6 kbit/s - 12 Mbit/s	31.25 kbit/s

Figura 5.3: Características de las señales Profibus

5.5.- MEDIO FISICOS DE TRANSMISION DE DATOS

Los buses de campo especifican un medio de transmisión distinto para cada uno de los mismos. Coincidencias muchas. En todos se busca la simplificación. El par trenzado es el más extendido. Si las condiciones del medio exigen el cumplimiento en materia de compatibilidad electromagnética, con un par trenzado de categoría 5 STP, es suficiente. Cuando la velocidad se quiere llevar al extremo de las posibilidades de los dispositivos conectados, entonces entra la fibra óptica. También si el cable está instalado en un medio agresivo, o requiere ciertas condiciones de durabilidad, requerirá un recubrimiento más efectivo, cumpliendo con rigurosos criterios de selección. Además, existen cables distintos para la alimentación de los dispositivos. Todos los fabricantes disponen de catálogos con el cableado adecuado para cada función. El cableado estándar para este tipo de aplicaciones se puede distinguir entre cable tipo A y cable tipo B con las siguientes características, las cuales se describen en la tabla 5.1

Tabla 5.1: Características según Tipo de Cable

	Cable Tipo A	Cable Tipo B
Impedancia Característica	135 a 165Ω para una frecuencia de 3 a 20MHz	135 a 165Ω para una frecuencia >100KHz
Capacidad (F) del Cable	< 30pF por metro	<60pF por metro
Diámetro Núcleo	0,34mm ² para cable de 22AWG	0,22 para cable de 24AWG
Tipo Cable	Enrollado, en pares de línea de 1x2, 2x2 o 1x4	Enrollado, en pares de línea de 1x2, 2x2 o 1x4
Resistencia	<110Ω por Km	- -
Características	Conductor de cobre, con cubierta de PVC, pantalla de aluminio trenzado y cubierta libre de halógenos	Conductor de cobre, con cubierta de PVC, pantalla de aluminio trenzado y cubierta libre de halógenos

Las velocidades de transmisión varían según el tipo de cable a utilizar y se explican en la Tabla 5.2:

Tabla 5.2: Velocidades de Transmisión según Tipo de Cable

Rango Transmisión (Kbit/sec)	9,6	19,2	93,75	187,5	500	1500
Cable Tipo A	1200m	1200m	1200m	1000m	400m	200m
Cable Tipo B	1200m	1200m	1200m	600m	200m	-

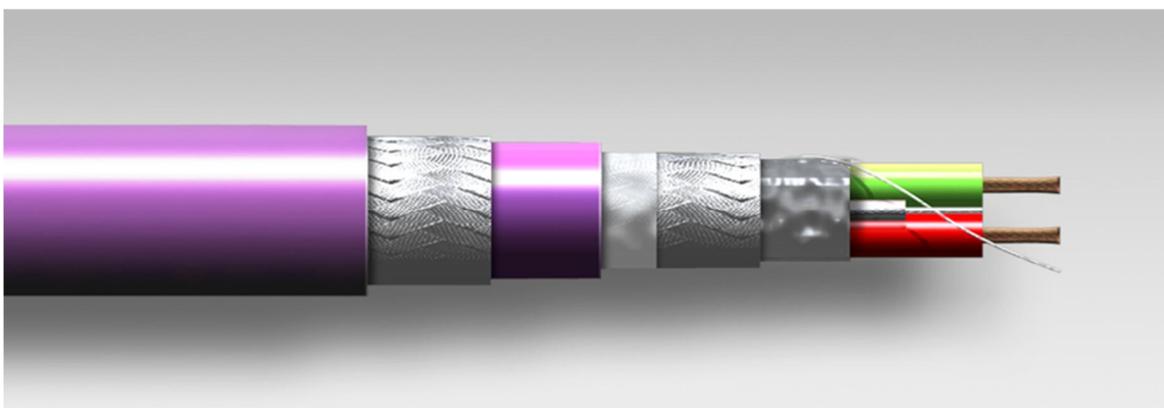
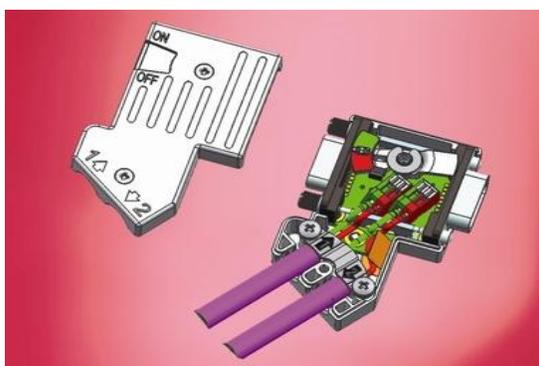


Figura 5.4: Ilustración de las partes de un cable Profibus

Los cables para Profibus ofrecidos por varias empresas tienen como particular característica el rápido sistema de conexión gracias al extremadamente simple cableado del bus. Al conectar una estación al bus se debe asegurar no conectar el cableado de datos al revés. El uso de una línea de datos apantallada es de absoluta necesidad para lograr un sistema inmune al ruido electromagnético. La pantalla debe estar conectada a la masa en ambos lados del cable, incluso se debe proteger las líneas de datos de los cables de alta tensión. El 90 % de los problemas ocurridos en una red Profibus son atribuidos a un incorrecto cableado e instalación; estos problemas pueden ser solventados usando tester de buses que pueden detectar la mayoría de estos problemas.



(a)



(b)

Figura 5.5: a) Ilustración de un conector Profibus b) Ilustración de un cable Profibus con sus respectivos conectores

En nuestro caso, la migración entre los sistemas de comunicación se hará a través del sistema Profibus DP, dado que es el más utilizado para solucionar las necesidades de interconexión de los posibles perfiles Profibus y para el conexionado de todos los sistemas de control de los motores de la planta.

Por su robustez en la transmisión de datos, se optimiza en tiempo real velocidad, eficiencia y bajo costo de conexión, orientado especialmente para la comunicación entre sistemas automáticos y los periféricos distribuidos en el nivel de campo, vale decir, optimizara los tiempos de respuesta desde el Panel de Control y el motor o accionamiento ante cualquier eventualidad o simplificando los procesos propios de la planta.

Cuando se selecciona un medio de transmisión se deben considerar las largas distancias, la velocidad de transmisión y los requerimientos del sistema a automatizar, tales como la operatividad en áreas peligrosas y la transmisión en un único cable de los datos y la energía. En este caso, se debe considerar que el panel de control de la planta se encuentra inserto dentro de la misma planta, por lo que las distancias son despreciables debido a lo corto de las distancias, teniendo una máxima distancia de 67 metros, por ejemplo:

Panel de Control – CCM - Bomba Oxigeno 3

Esto favorecerá enormemente el proceso de intercambio de información al panel y al CCM, dado que con la antigua comunicación analógica, se debía seguir el cable de comunicación desde terreno hasta la Sala Eléctrica 11N, dado que ante cualquier eventualidad de no funcionamiento y por lo agreste de la zona, las señales de comando y comunicación se perdían con facilidad, o por ejemplo, dejaba de accionar la botonera de emergencia o dejaba de enviar señal un sensor.

Cabe señalar que el intercambio de datos es principalmente cíclico, utilizándose determinadas funciones de comunicación eventualmente regladas según la norma EN-50170 a parte de las habituales básicas funciones exclusivas para dicho intercambio. Aunque DP también ofrece servicio en comunicaciones acíclicas más complejas para la parametrización, la monitorización y el manejo de alarmas en los dispositivos de campos inteligentes.

5.6.- OPERACION

El controlador central o maestro, lee cíclicamente la información de las entradas provenientes del terreno, tales como sensores o botoneras y acíclicamente actualiza la información de salida de estos sensores hacia el panel. Es importante destacar que el tiempo de ciclo del bus debe ser menor que el tiempo de ciclo de programa del sistema central de automatización, en caso de ser un PLC el ciclo de scan, que normalmente suele ser 10 ms aproximadamente. A parte de la transmisión cíclica desde los sensores y hacia el panel, el DP proporciona otras poderosas funciones para el diagnóstico y para poner en servicio activo los dispositivos. La siguiente imagen muestra el procesamiento enclavado y programado para el funcionamiento de la planta (Información confidencial y bajo “*control document*” de AngloAmerican Sur entregada por software)

<p>Acceso al bus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procedimiento de pase de token, testigo, entre dispositivos maestros y comunicación maestro-esclavo entre maestros y esclavos. • Sistemas mono-maestro y multi-maestro. • 126 dispositivos maestros y esclavos como máximo.
<p>Comunicación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comunicación para obtención de información uno a uno (peer to peer) o multicast con comandos de control. • Comunicación maestro-esclavo cíclica.
<p>Estados de operación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento (Operate). Cíclica transmisión de datos de entrada y salida. • Borrado (Clear). Las entradas son leídas y las salidas se pasan al estado de seguridad. • Parado (stop). Diagnóstico y parametrización, no se transmiten datos de E/S.
<p>Sincronización:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los comandos de control permiten la sincronización de entradas y salidas. • Modo de sincronización (sync), las salidas son sincronizadas. • Modo de congelación (freeze), las entradas son sincronizadas.

Figura 5.6: Imagen Software sistema motor Planta Oxigeno

<p>Funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transferencia de datos cíclica entre el maestro y esclavos. • Activación y desactivación dinámica de los esclavos de forma individual. • Chequeo de la configuración del esclavo. • Funciones de diagnóstico, 3 niveles jerárquicos de mensajes de diagnóstico. • Sincronismo de entradas y salidas. • Posibilidad de asignación de dirección remota a través del bus para los esclavos que lo soporten. • Zona de entrada y salida de 244 bytes máximo por cada esclavo.
<p>Funciones de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Todos los mensajes son transmitidos con distancia hamming, HD=4. • Detección de errores en la comunicación con maestro desde esclavo mediante Watchdog. • Protección del acceso a las entradas y salidas de los esclavos. • Detección de errores en la comunicación con esclavo desde maestro mediante el control del tiempo de respuesta.
<p>Tipos de dispositivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DP maestro clase 2 (DPM2), monitor del correcto funcionamiento del protocolo del bus. Ej.: controlador específico. • DP maestro clase 1 (DPM1), controlador central que intercambia datos con los esclavos. Ej.: PLC. • DP esclavo. Ej.: dispositivos con E/S digitales y analógicas, convertidores de frecuencia, ...

Figura 5.7: Imagen Software sistema bombeo Planta Oxigeno

5.7.- FUNCIONALIDAD

El uso de Profibus en el proceso industrial de la planta de oxígeno, permitirá ahorrar hasta un 40 % de los costos en planificación, cableado y mantenimiento ofreciendo un incremento de la funcionalidad y de la seguridad de las comunicaciones desde terreno hasta el panel de control. La figura 5.8 muestra la comparación entre el tradicional cableado 4-20mA y un sistema basado en Profibus:

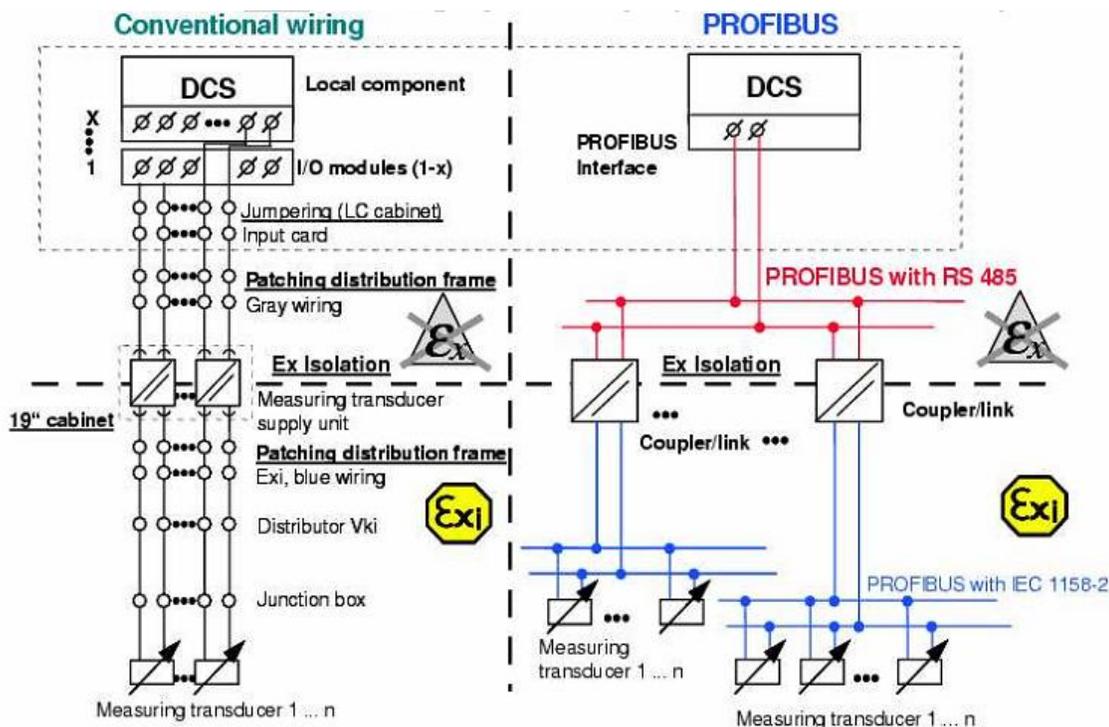


Figura 5.8: Comparación entre sistema análogo y el sistema digital (Profibus)

Los dispositivos de campo en áreas peligrosas son conectados a través de Profibus usando el estándar IEC 1158-2. Esta tecnología permite la transmisión de datos y energía a través del mismo cable. Normalmente las redes que se implantan en este tipo de áreas son mixtas, teniendo zonas en que la transmisión tiene lugar en zonas seguras, y otras en las que es necesario utilizar la tecnología antes mencionada debido a su carácter explosivo, la interconexión de estos distintos segmentos se efectúa a través de pasarelas o enlazadores. La planta de oxígeno es considerada como una zona de explosión, debido al alto potencial de explosión que representan tanto los ductos de oxígeno, de nitrógeno, acumuladores de presión, estanque de oxígeno, etc.

El tipo de cableado necesario en las zonas peligrosas depende de los requisitos de seguridad que imponga esta y el consumo de los dispositivos que se alimentan. Cabe señalar que el estudio de impacto del cambio de comunicación hecho a la planta, arrojó un ahorro en el cableado y módulos de E/S de los DCS al cambiar la comunicación enviada desde terreno hasta el panel.

CONCLUSIONES

En este proyecto se graficó con la mayor precisión y rigurosidad posible el cambio de un CCM análogo por un CCM con comunicación Profibus. Se mostraron todos los procesos involucrados para la realización de cada una de las partes de este proyecto, desde la gestación del proyecto, que fue el levantamiento y modelamiento del nuevo CCM, por parte de General Electric Chile hasta la configuración de la red Profibus.

Cada parte de este cambio de CCM fue hecha con el fin de lograr la maximización del proceso productivo de generación de oxígeno, intentando lograr la máxima seguridad y control en su operación, para así no provocar pérdidas productivas en el proceso de fundición de cobre.

Hasta el momento de la realización de esta memoria, el nuevo CCM de la planta de oxígeno de la Fundición Chagres no había presentado problemas; además demostró que el cambio de tecnología, de un CCM análogo a un CCM con sistema Profibus mejoró la seguridad del sistema, enviando todos los puntos de recolección de datos de manera constante y continua, asegurando así la correcta operación de la planta de oxígeno.

Se recalca la idea de que el cambio del CCM, tiene una mirada hacia el futuro, ya que como es sabido, fundición Chagres en su proceso de mantener ciertos estándares productivos, no descuida los elementos centrales del proceso de fundición, ya que el CCM controla la generación de oxígeno, elemento que es vital en el proceso de fundición de cobre, que además hace que fundición Chagres sea pionera en materia medioambiental, ya que al no ocupar combustibles fósiles en el proceso de fundición del material, su impacto medioambiental es considerablemente bajo.

Bajo estas premisas, se da a entender que el proceso de cambio de CCM análogo a un CCM digital fue un proceso totalmente exitoso.