



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CAMPUS ARAGÓN

TEMA- **DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA
SUBESTACION EN ALTA TENSION PARA
UNA PLANTA DE GENERACION**

MATERIA.- TESIS PARA TITULACIÓN

ALUMNO.- ERNESTO PRIEGO CASTRO

ASESOR.- RUBEN CISNEROS RODRIGUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



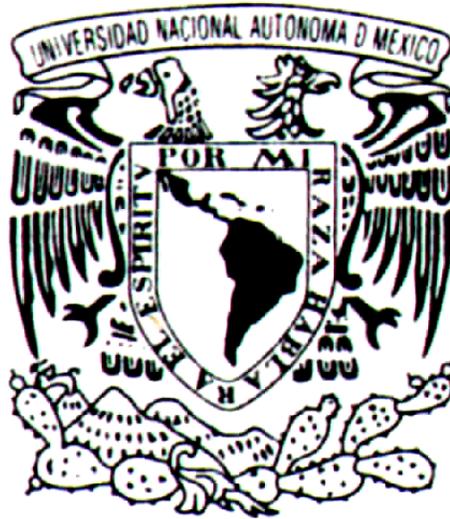
UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA SUBESTACION EN ALTA TENSION PARA UNA PLANTA DE GENERACION



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

POR:

ERNESTO PRIEGO CASTRO

INDICE

INTRODUCCIÓN	6
RESUMEN	7
ANTECEDENTES.....	8
CAPITULO 1	10
PROYECTOS LLAVE EN MANO	10
1.1 ¿QUE ES UN PROYECTO?	10
1.2 ELEMENTOS BÁSICOS DE UN PROYECTO.....	11
1.3 PROYECTOS IPC (INGENIERÍA, PROCURACIÓN Y CONSTRUCCIÓN).....	12
1.4 ALCANCE DE LOS PROYECTOS IPC.....	12
1.5 ¿PORQUÉ CADA VEZ SON MÁS FRECUENTES LOS PROYECTOS IPC? .	13
1.6 PANORAMA GENERAL DE UN I.P.C.....	14
1.7 CONCEPTUALIZACION DE LA TERMINOLOGÍA DE LOS COMPONENTES, CARACTERÍSTICAS, CRITERIOS Y NORMAS EMPLEADAS DENTRO DEL PROYECTO.....	16
1.8 ANTECEDENTES DE PLANTAS DE ENERGÍA	19
CAPITULO 2	21
INGENIERIA BASICA	21
2.1 BASE DE DISEÑO DEL PROYECTO	21
2.2 REQUERIMIENTOS DEL PROCESO	21
2.3 BASE DE DISEÑO DE SERVICIOS AUXILIARES	21
2.4 SERVICIOS.....	23
2.5 BASES DE DISEÑO DE LA DISCIPLINA DE PROCESO	23
2.6 CRITERIOS DE DISEÑO.....	26
2.7 DATOS Y CONDICIONES DE SITIO	27
2.8 CODIGOS Y ESTANDARES.....	27
2.9 FLEXIBILIDAD Y EXPANSIÓN.....	27
2.10 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD.....	28
2.11 AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO TERMICO	28
2.12 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	29
2.13 FACTORES ECONÓMICOS.....	29

CAPITULO 3	31
ALCANCES DE LAS DISCIPLINAS EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA Y CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE GENERACION	31

3.1 CIVIL	31
3.1.1 TOPOGRAFÍA Y PREPARACIÓN DEL SITIO	31
3.1.2 MECÁNICA DE SUELOS	32
3.1.3 DRENAJES.....	32
3.1.4 ESTRUCTURAS	32
3.1.5 CIMENTACIONES.....	33
3.1.6 SOPORTE DE TUBERÍAS.....	34
3.1.7 MAQUETA ELECTRÓNICA.....	34
3.1.8 ENTREGABLES.....	35
3.2 ARQUITECTURA.....	35
3.2.1 DISEÑO DE DETALLE	36
3.2.2 EDIFICIOS	36
3.2.3 ACABADOS.....	36
3.2.4 INSTALACIONES HIDRAÚLICAS Y SANITARIA	36
3.2.5 MAQUETA ELECTRÓNICA.....	36
3.2.6 ENTREGABLES.....	37
3.3 ELECTRICO.....	37
3.3.1 DIAGRAMAS UNIFILARES ELÉCTRICOS.....	37
3.3.2 PLANOS DE CLASIFICACIÓN DE ÁREAS	37
3.3.3 ESPECIFICACIONES DE EQUIPO.....	38
3.3.4 SISTEMA GENERAL DE FUERZA.....	38
3.3.5 DISTRIBUCIÓN DE FUERZA SUBTERRÁNEA.....	38
3.3.6 DETALLES DE INSTALACIÓN ELÉCTRICOS.....	38
3.3.7 SISTEMA GENERAL DE TIERRAS	38
3.3.8 ALUMBRADO GENERAL.....	39
3.3.9 CÉDULA DE CONDUCTORES.....	39
3.3.10 MAQUETA ELECTRÓNICA.....	39
3.3.11 ESPECIFICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN.....	41
3.3.12 ENTREGABLES.....	41

CAPÍTULO 4	42
DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN	42

4.1 REQUERIMIENTOS DE SELECCION	42
4.2 CONFIGURACIONES MÁS USUALES.....	50

4.3 SIMBOLOGIA.....	51
4.4 COMPONENTES PRINCIPALES.....	51
4.5 ESPACIO DE LA SUBESTACIÓN.....	52
4.6 DIMENSIONAMIENTO DE LA SUBESTACIÓN.....	54
4.6.1. DETERMINACION DE DISTANCIAS DIELECTRICAS EN SUBESTACIONES.....	55
4.6.2. DISTANCIAS DE SEGURIDAD.....	57
4.7 DISTANCIAS DE DISEÑO.....	58
4.7.1 ALTURA DE LOS EQUIPOS SOBRE EL NIVEL DEL SUELO.....	58
4.7.2. ALTURA DE LAS BARRAS COLECTORAS SOBRE EL NIVEL DEL SUELO	59
4.7.3. ALTURA DE REMATE DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	59
4.8 DISTANCIAS CRÍTICAS CONSIDERANDO EL BALANCEO DE LA CADENA DE AISLADORES.....	60
4.9 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE CAMPO DE LAS SUBESTACIONES.....	61
4.9.2. DETERMINACION DEL ANCHO DE CAMPO DE LAS SUBESTACIONES.....	63
4.9.3. DETERMINACION DE LA ALTURA DEL CAMPO.....	64
4.9.4. DETERMINACION DE LA LONGITUD DEL CAMPO.....	66
4.9.5. APANTALLAMIENTO O BLINDAJE DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.	67
4.10 CALCULOS Y ESTUDIOS REQUERIDOS.....	68
4.11. CALCULOS Y ESTUDIOS NO USUALES EN PLANTAS INDUSTRIALES.....	71
4.12 QUE ES UN DIAGRAMA UNIFILAR?.....	77
4.13 DIAGRAMA UNIFILAR Y ARREGLO DE EQUIPO.....	78
4.14 VOLUMETRIAS DE MATERIAL DE LA SUBESTACIÓN.....	84
CAPITULO 5.....	89
CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN SERVICIO.....	89
5.1 PROYECTO FISICO DE LA SUBESTACION.....	89
5.2 CONEXIONES.....	91
5.2.1 TRANSFORMADOR TRP-01 (CTG-1).....	91
5.2.2 TRANSFORMADOR TRP-02 (CTG-2).....	93
5.2.3 TRANSFORMADOR TRP-03 (STG-3).....	94
5.3 PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO.....	95
5.4 MEMORIA DEL PROYECTO.....	96
CONCLUSIONES.....	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

INTRODUCCIÓN

En nuestro país, el crecimiento industrial y poblacional resulta ser significativo, el cual conlleva a un incremento de servicios propios. Al igual que otros servicios como el agua, la electricidad se ha convertido si no en el mayor, uno de los mayores que se consumen a nivel nacional e internacional.

Por otro lado, los constantes cambios en el entorno económico globalizado que existen actualmente, conllevan a que algunas compañías de ingeniería en México desarrollen metodologías y tecnologías para la ejecución efectiva de proyectos sobre energía, esto, considerando no sólo los riesgos técnicos, sino también los económicos y financieros en que puede incurrirse y en definitiva, todo ello contribuirá a su permanencia y crecimiento.

En el presente trabajo se han desarrollado principios básicos para el inicio exitoso de una planta de energía y ésta se basa principalmente en la ingeniería básica, de detalle, la procuración y la construcción. Siendo todos estos los rubros que más impactan en los proyectos de energía.

Estos principios son una herramienta valiosa puesto que identifica los puntos clave en cada una de las etapas del proyecto, y hace énfasis en las interfaces interdisciplinarias.

Este documento describe conceptos y fundamentos básicos sobre cómo se deberán manejar los proyectos de energía.

Se pretende que la información, como conceptos, terminología y principios básicos necesarios, contenida en este trabajo sirva de ayuda a todas aquellas personas que participan de forma directa en las diferentes etapas de un proyecto de energía IPC; al mismo tiempo ser útil a todas aquellas personas sin experiencia en proyectos relacionados con el tema.

Cabe mencionar y es de vital importancia la retroalimentación que debe haber entre la comunidad egresada de las carreras de ingeniería, tanto estudiantes como profesores, cuyo propósito es mantenerse siempre actualizados, con vista a innovar y desarrollar tecnologías de punta que se nos exige de la sociedad.

Asimismo, es conveniente resaltar que los cambios tecnológicos en la actualidad son cada vez más dinámicos. Entre más grandes sean, mayor será el desarrollo, en términos sociales como económicos, por lo que la actualización permanente de los planes de estudio mantendrá siempre en niveles competitivos a las generaciones de ingenieros egresados.

Analizando en esta tesis los procedimientos, conceptos y atribuciones de un proyecto; como también los elementos básicos, la realización de proyectos de ingeniería, procuración y construcción obteniendo los alcances proporcionando un

amplio panorama apoyándose de los antecedentes de plantas de energía para el inicio del mismo.

RESUMEN

Se presenta la base del diseño cumpliendo con los requisitos y necesidades del cliente, contando con la participación de especialistas en la materia con la metodología de ingeniería, lista de datos, las capacidades de producción, propiedades químicas, físicas, servicios y auxiliares; buscando el proceso de transformación basándose en los criterios establecidos como datos, condiciones, códigos, estándares, flexibilidades y expansiones contemplando la seguridad, aislamientos, acondicionamiento térmico, materiales y finalmente los factores económicos. iniciando con la responsabilidad que debe desempeñar el ingeniero civil con respecto a la topografía, preparación de la ubicación, la mecánica del mismo como el: drenaje, estructuras, cimientos, soportes de tubería; sustentándose en la maqueta electrónica y la documentación técnica necesaria para este diseño; Con respecto al compromiso del arquitecto se refiere a la conceptualización de la construcción arquitectónica visualizando los cortes, fachadas, instalaciones especificando a detalle la instalación, aplicaciones de apariencia, materiales e instalaciones hidráulicas y sanitarias requeridas; finalizando con la participación fundamental del ingeniero eléctrico la cual permite la representación esquemática del sistema eléctrico de dicho proyecto presentándolo por clasificación de áreas, especificaciones del equipo, sistemas generales de fuerza, distribución de fuerza subterránea, detalles de instalación eléctrica, sistemas generales de tierra, alumbrado general; documentándose con la cédula de conductores, maquetas electrónicas, especificaciones de la subestación y los debidos planos, diagramas, modelos, sistemas, hojas de datos que sustentan la información especificada anteriormente. Para este proyecto es fundamental los requerimientos de selección esquematizando de las conexiones de una subestación, contemplando las configuraciones más usuales de los sistemas de energía eléctrica en plantas industriales utilizando la simbología normalizada respetando las tablas y fórmulas correspondientes al diseño para obtener un sistema eléctrico eficiente disponiendo de un sitio adecuado, sin omitir las dimensiones de una subestación como también sus actividades del mismo; sin olvidar las distancias eléctricas, el diseño y los límites permitidos, las dimensiones de campo de la subestación con sus respectivos arreglos y diagrama unifilar correspondientes. Culminado con el proyecto físico de la subestación que permite proyectar el diagrama unifilar apoyándose en el anteproyecto definitivo con las pruebas y la puesta en servicio de la misma para determinar el estado final de los circuitos, controles, mediciones, señalizaciones, alarmas y lo primordial el funcionamiento en conjunto permitiendo almacenar toda la información de la instalación por si en algún tiempo determinado presenta algún problema o mantenimiento presentándose así este proyecto funcional.

ANTECEDENTES

Hoy en día, en México y en el resto del mundo, son elevados los requerimientos con respecto al tiempo, calidad, costo y cantidad de recursos para los proyectos de Ingeniería, Procuración y Construcción, conocidos también como “Proyectos I.P.C.”

Además de estos requerimientos, los proyectos I.P.C. son desarrollados dentro de ambientes que en ocasiones son inciertos, pero que a su vez brindan oportunidades de éxito y crecimiento para la o las empresas involucradas. Una de las barreras más difíciles que se debe de sobreponer, es el período entre el desarrollo de los estudios de Planeación e Ingeniería y la Entrega o Puesta en Marcha del proyecto, ya que cada vez es menor. Esto debido a las condiciones actuales tan competitivas en las distintas economías mundiales, producto de la tendencia hacia la globalización.

Ante este tipo de exigencias, los proyectos I.P.C. se encuentran vulnerables a una gama de obstáculos y riesgos, entre los cuales tenemos a los técnicos, financieros y políticos por sólo mencionar algunos y como tales, cada uno debe de ser analizado y tomado en consideración de manera particular.

Por todo lo anterior, se requiere de una metodología que encause hacia la correcta ejecución para proyectos I.P.C., que no necesariamente ofrezca soluciones particulares a los problemas de un proyecto, pero que verdaderamente brinde herramientas que sustenten encontrar soluciones para cualquier tipo y magnitud de proyecto y que sea sinónimo de una disciplina y un orden para la ejecución de proyectos. A esa metodología la llamaremos “Administración de Proyectos”. Esta Administración de Proyectos, nos brindará los parámetros para controlar cada uno de los requerimientos ya mencionados en un proyecto, en sus distintas áreas y etapas.

Por otro lado dentro de un ambiente teórico, perfecto e ideal, cualquier decisión debe de ser tomada bajo un ambiente de certeza, de tal forma que toda la información requerida para tomar dicha decisión sea correcta y se encuentre disponible para que así, el resultado pueda ser predecible con un alto grado de confianza. En la realidad, la mayoría de las decisiones son tomadas sin contar, ni evaluar la totalidad de los elementos necesarios, dando lugar a un grado de incertidumbre. En el caso extremo de la absoluta falta de información, nada se puede saber acerca del resultado final y prevalecerá una total incertidumbre.

La supervivencia de un número reducido de compañías mexicanas en la Industria de la Construcción, ha sido lograda en cierta medida, con la ejecución de proyectos con grados de incertidumbre, pero sabiendo cómo protegerse ante esos riesgos a un cierto nivel, encontrando, incrementando y tomando ventaja de las oportunidades que se presenten. De esta manera, parte de los propósitos de ejecutar proyectos es el de lograr o alcanzar algo nuevo, emprender proyectos

novedosos en cuanto su estilo de ejecución, tomar riesgos, etc. y por lo tanto todo esto hace que el riesgo siempre sea una parte intrínseca de los proyectos. Es importante tomar en consideración, que en los mercados nacionales e internacionales actuales, se tiene presente una alta competencia y con los avances tecnológicos y las condiciones económicas y financieras difíciles, la toma de riesgo se ha incrementado considerablemente.

El objetivo principal del Análisis de Riesgos, es identificar los riesgos asociados a un proyecto para que posteriormente, se desarrollen estrategias que los reduzcan significativamente, o simplemente los evadan. Esta identificación es lograda mediante procedimientos y análisis preestablecidos, ejecutándolos de manera ordenada.

También es importante que al mismo tiempo que se hacen estos análisis, se tomen acciones para maximizar las oportunidades. En esencia, se requiere de una buena planeación para minimizar la probabilidad de ocurrencia y los efectos de los riesgos en el comienzo de la vida del proyecto.

En el pasado se ha podido constatar dentro de distintos proyectos, que la falta de Análisis de Riesgos conlleva consecuencias no deseadas para el proyecto y que por tratar de obtener un ahorro durante la etapa de planeación, se tuvo que pagar lo ahorrado y hasta en ocasiones más de lo ahorrado, durante el período de ejecución.

El no realizar estudios de Análisis de Riesgos tiene que ver con una falta de Planeación en nuestra cultura, que también se puede apreciar en los crecimientos desordenados de las ciudades, en la escasez de los servicios básicos y en la falta de proyectos de infraestructura.

Está claro para futuros proyectos, el no integrar una correcta Administración de Proyectos y un extenso Análisis de Riesgos y que de ambos, se establezcan estrategias para la ejecución de proyectos I.P.C., se estarán cometiendo los mismos errores del pasado, pero esta vez serán más caros, ya que dichos proyectos demandarán una mayor cantidad de recursos y serán más complejos que los del pasado. Esto para sustentar el crecimiento y desarrollo que México requiere para este nuevo milenio.

CAPITULO 1

PROYECTOS LLAVE EN MANO

1.1 ¿QUE ES UN PROYECTO?

Cualquier empresa que se encuentre dentro de un sector productivo, requiere de operaciones y de proyectos para poder posicionarse dentro de su mercado. Las operaciones y los proyectos comparten muchas características entre sí, por ejemplo tenemos que ambos son realizados ya sea por una sola persona, o por verdaderos grupos integrados por distintas compañías. Ambos requieren de recursos, ya sean humanos o materiales, para poder realizar sus actividades; pero estos se encuentran limitados en función del presupuesto que se les tenga asignado y a la disponibilidad de los recursos solicitados. También tenemos, que tanto los proyectos como las operaciones, deben de plantearse, ejecutarse y controlarse para poder satisfacer las necesidades para las que fueron destinadas.

Pero las operaciones y los proyectos difieren principalmente en que las operaciones son repetitivas, mientras que los proyectos son únicos y temporales.

Por lo tanto podemos definir un proyecto a partir de sus características principales como:

“Un proyecto es una empresa temporal que se realiza para crear un producto o servicio único”

Algunas de sus características principales son las siguientes:

- Son eventos (temporales) que tienen un inicio y un fin específicos, ya que la totalidad de sus características, no se vuelven a repetir por completo.
- Tienen una fecha de inicio y terminación establecidas, por ende tienen un período determinado.
- Tienen un costo presupuestado, con aspectos como: tiempo de ejecución y nivel de calidad que se le pueden dar al proyecto.
- Cuenta con recursos, que al igual que el tiempo limitan el desempeño y la duración del proyecto.

- Existen áreas definidas, que tienen la función de organizar al proyecto por bloques o frentes. Esta característica se incrementa en proyectos de gran magnitud.
- Los objetivos son tangibles, es decir, que conforme va avanzando el proyecto sus resultados se pueden apreciar. Una planta de energía; sólo hasta el final se sabrá si está produciendo la cantidad de energía deseada.

En cuanto a los objetivos de un proyecto, se puede decir que son el resultado al que se quiere llegar, el cual está expresado en términos cualitativos y cuantitativos.

Para un objetivo en particular, se debe dividir en uno general (global) y varios intermedios (metas a corto plazo). Para el general, consiste en alcanzar la meta o resultado finales y para los intermedios, abarcan la verificación del cumplimiento de las normas y especificaciones, optimizar el uso de recursos y del tiempo, facilitar la comunicación, resolver conflictos, coordinar la implementación del proyecto y llevar un adecuado control. ¿Qué es lo que se quiere y qué es lo que se necesita hacer?

Que la ejecución de un proyecto sea temporal, no implica que sus resultados lo sean. Por ejemplo, parte de los resultados en un proyecto de construcción de una refinería de petróleo se harán notar desde que comienza sus operaciones y se mantendrán así durante toda su vida útil.

Cuando se dice que cada proyecto es único, se refiere a que la totalidad de sus características y objetivos no se han presentado en otro proyecto y por lo tanto es único. Como ejemplo, muchos edificios han sido construidos, pero cada edificio es único porque tiene un diferente dueño, terreno, forma, tamaño, etc. La presencia de elementos y circunstancias que sean repetitivos con otros proyectos, no cambia la exclusividad del proyecto. El desarrollo de una planta industrial implica el análisis de modelos anteriores y de prototipos existentes, pero eso no cambia que el resultado del proyecto sea único.

1.2 ELEMENTOS BÁSICOS DE UN PROYECTO

En cualquier proyecto, sin importar su clasificación ni quién lo ejecute, siempre existirán tres elementos que estarán interrelacionados el uno con el otro y de un correcto balance de los mismos saldrá un proyecto eficiente y exitoso. Estos elementos son:

Costo	Presupuesto
Tiempo	Programa
Desempeño y Calidad	Especificaciones

Al reflexionar sobre cada uno de estos elementos, se puede concluir que cada uno tiene influencia sobre el otro, por ejemplo el tiempo de ejecución de un proyecto se puede reducir, pero a costa de un incremento en los costos y en el desempeño y probablemente, un decremento en la calidad. Es importante notar, que estos factores no solo son influenciados por factores internos al proyecto. También pueden ser influenciados por factores externos como lo son causas de fuerza mayor, catástrofes, problemas laborales, fluctuaciones cambiarias, etc.

Para cualquier proyecto es importante el tener un buen balance de estos elementos porque influenciará de forma positiva sobre el proyecto, ya que con lo que se tiene disponible, se estará optimizando los recursos.

1.3 PROYECTOS IPC (INGENIERÍA, PROCURACIÓN Y CONSTRUCCIÓN)

La importancia o significado que tiene el comprender el tipo de industria a la que pertenece un proyecto que se ejecuta bajo el esquema I.P.C., es tal que si no se comprenden las necesidades particulares del proyecto, muy probablemente dicho proyecto esté destinado al fracaso. No es posible hacer una generalización de necesidades para proyectos pertenecientes a diferentes ramas.

Los proyectos se pueden clasificar basándose en la rama o tipo de industria en la que se desempeñen, pero cabe mencionar que es posible que se tengan proyectos que reúnan a varios tipos de industrias. Tal es el caso de proyectos de gran magnitud y duración, para nuestro caso veremos los proyectos de Generación de Energía.

1.4 ALCANCE DE LOS PROYECTOS IPC

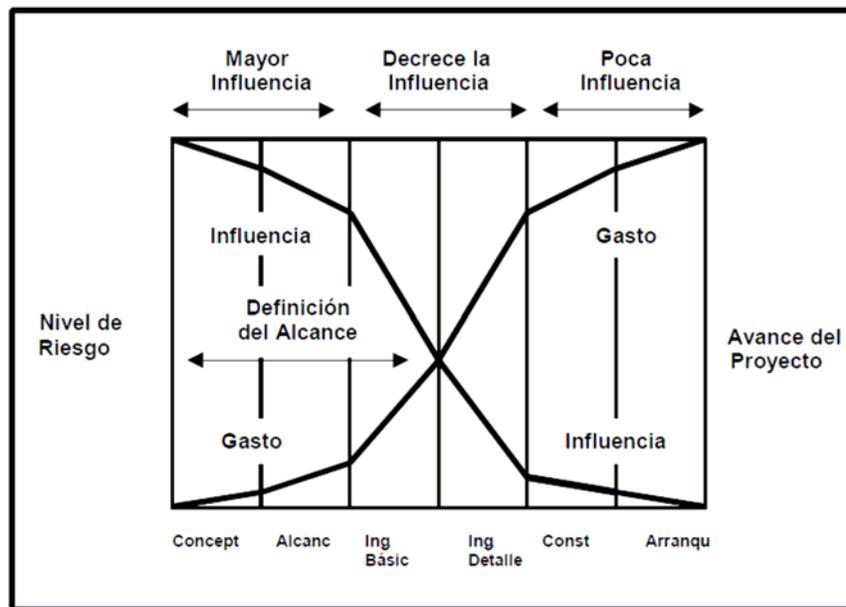
El alcance que tengan los proyectos I.P.C., se extiende a proyectos de cualquier tipo dentro del sector de la construcción, es decir, proyectos de infraestructura de transporte, comunicaciones, energía, vivienda, por sólo mencionar algunos. Es por eso que una de las tendencias que existen actualmente en proyectos I.P.C, es que se conformen compañías que estén enfocadas a ramos específicos del sector de la construcción. No es del todo recomendable que se tengan compañías que ejecuten toda la gama de proyectos del sector de la construcción, ya que estarán lejos de ser lo suficientemente competitivos para luchar en el mercado de la construcción. Tal fue el caso de compañías constructoras que tradicionalmente se encontraban en la rama de construcción de vías de comunicación, que posteriormente incursionaron en el sector industrial. El resultado ha sido que han traído consigo fuertes pérdidas económicas, así como también encontrarse atrasados en cuanto a programas y con índices de calidad muy por debajo de los señalados.

El alcance de los proyectos I.P.C, será incrementado y ampliado en función del nivel de especialización y capacidad de las empresas que conformen el denominado “entorno” o alianza estratégica. Lo demuestran los proyectos de telecomunicaciones en nuestro país, que al principio la capacidad de desarrollar dichos proyectos por compañías mexicanas era algo reducido. Gracias a la unión entre empresas mexicanas y extranjeras, ese alcance se fue incrementado a tal grado que ahora existe la posibilidad de continuar con ese patrón en proyectos fuera de nuestro país.

1.5 ¿PORQUÉ CADA VEZ SON MÁS FRECUENTES LOS PROYECTOS IPC?

La demanda por proyectos que sean ejecutados bajo un concepto de I.P.C. integrado va en aumento, sobre todo en los sectores industriales y de energía. Para el caso del sector energético esta demanda es mayor, debido a que actualmente en Latinoamérica existe un palpable rezago en cuanto a la capacidad instalada en muchos países. Como ejemplo se tiene a la República Dominicana, donde el gran déficit energético del país forzó a que su gobierno licitara la construcción de una central termoeléctrica y que su período de ejecución fuese reducido. Para lograr un período de ejecución reducido, se necesita que Ingeniería, Procuración y Construcción se encuentren trabajando “simultáneamente” para reducir el programa del proyecto. Este dependerá de las condiciones particulares de cada proyecto, como tipo de ingeniería, así como también el tipo elementos que Procuración cotice.

Otro aspecto que ha impulsado los proyectos integrales I.P.C., es la fuerte competencia en el mercado de la construcción que obliga a las empresas pertenecientes a dicho sector productivo del país a ofrecer más beneficios, al mismo precio y hasta en algunas ocasiones, en reducir los márgenes de utilidad.



1.6 PANORAMA GENERAL DE UN I.P.C.

El esquema de manejar proyectos en que la Ingeniería, Procuración y Construcción son coordinadas por una misma empresa o grupo de empresas, representa en numerosas ventajas en el beneficio de cualquier proyecto debido a lo siguiente:

1. Para cada una de estas tres etapas, se tiene un importante intercambio de información y tiempo requerido en el proceso de trabajo de cada actividad, existiendo una dependencia en cuanto a la secuencia de los trabajos I.P.C.; los cuales influyen en el costo total del proyecto.
2. Trabajar dentro de un mismo “entorno” hará que los diversos procesos de trabajo sean ejecutados de una manera más eficiente, que si estos estuvieran aislados.

Para ejemplificar los dos puntos anteriores, tomemos como ejemplo un equipo mecánico, “una bomba”, en una planta industrial. El flujo de trabajo I.P.C. comienza al momento en que se realiza la ingeniería de dicho equipo por un grupo de disciplinas, entre las que destaca evidentemente la Ingeniería Mecánica.

- a) La **Ingeniería** Mecánica desarrolla todos los aspectos fundamentales para dicha bomba (gasto, carga, normas de diseño) y presenta los requerimientos mecánicos de dicho equipo a:

- b) **Procuración**, la cual buscará entre una lista de proveedores certificados y aprobados, aquellos que brinden las mejores condiciones de compra, planes de pago, garantías, tiempos de entregas, logística, almacén, control de materiales y presentará una tabla comparativa de los proveedores que ofrecieron las mejores “ofertas económicas”.

Toda esta información, regresa a Ingeniería Mecánica, la cual de todos los proveedores que han sido recomendados por Procuración como los “económica y técnicamente viables”, seleccionará el que cumpla con las especificaciones y estándares de calidad y así se obtiene al proveedor ganador. Ahora bien, ese equipo tendrá que ser ubicado dentro de la planta industrial en cuestión. Se ubicará sobre una cimentación que deberá ser apropiada para dicho equipo. Aquí existe una interrelación entre el fabricante del equipo e Ingeniería Civil, la cual necesitará información como peso, medidas, condiciones dinámicas del equipo; para diseñar su cimentación. Toda esa información “civil”, es transmitida a:

- c) **Construcción**, la cual también se apoyará en Control de Proyectos y en especial, en programación para saber cuándo debe de construirla.

Tomando el ejemplo anterior, se puede visualizar que existe un gran intercambio de información y de procesos de trabajo y una dependencia en cuanto a la secuencia de los mismos. Entonces, si los encargados de realizar todos estos trabajos no se encontraran trabajando dentro de un mismo entorno y trabajarán aislados, el proyecto se vería seriamente afectado en el flujo de los procesos de trabajo. Serían más lentos, menos precisos y se incrementarían los costos. Es por eso que tienen que ser abordados por la misma compañía o grupo de compañías, en un período de tiempo que busque que cada una de estas tres fases del proyecto esté traslapada.

El nivel de complejidad de implementar un proyecto exitoso I.P.C., está asociado principalmente conforme el tipo, magnitud y tiempo de ejecución, así como también con el número de involucrados. Dicho nivel de complejidad, es controlado con todas las herramientas y técnicas que se exponen en esta Tesis.

Entre mayor sea el conocimiento, la habilidad y su manejo, se encontrarán mejores condiciones de operación.

1.7 CONCEPTUALIZACION DE LA TERMINOLOGÍA DE LOS COMPONENTES, CARACTERÍSTICAS, CRITERIOS Y NORMAS EMPLEADAS DENTRO DEL PROYECTO

COMPONETES

- Elementos de una subestación
 - Transformadores
 - Switchgears
 - Centros de control de motores
 - UPS
 - Sistemas de Control de Potencia
 - Relevadores

TRANSFORMADOR

- Un transformador es un dispositivo que se encarga de transformar el voltaje de corriente alterna que tiene a su entrada en otro diferente sin modificar su frecuencia.
- Clasificación de Transformadores:
 - Transformador de Potencia
 - Transformador de Distribución

TABLERO DE ALTA TENSIÓN (SWITCHGEAR)

- Las principales funciones de un Switchgear son:
 - Protección del Sistema Eléctrico
 - Aislamiento de las secciones y de la instalación
 - Conmutación local o remota.
 - Protección de los elementos mecánicos y térmicos del circuito contra corrientes de corto circuito.
 - Tiene como objetivo evitar o limitar las peligrosas consecuencias de las corrientes de corto circuito por los niveles de tensión que maneja.
 - Protección de las personas en caso de que falle el aislamiento.
- Los switchgear se puede clasificar de diferentes formas:
 - Por su rango de corriente:

- Por su capacidad interruptiva (la corriente de corto circuito que el dispositivo puede interrumpir).
- Por su medio de aislamiento.
- Por su construcción.
- Por su dispositivo de interrupción.
- Por su método de operación.
- Por su aplicación.

CENTRO DE CONTROL DE MOTORES (CCM)

- Un centro de control de motores (CCM) es un tablero donde se agrupa el conjunto de controles necesarios para el arranque y protección de motores de media y baja tensión.
- Características constructivas:
 - La separación es uno de los factores mas importantes para considerar en el diseño y especificación de un CCM.
 - Esto esta basado en un idea muy sencilla, la necesidad de tener separada una persona de las partes vivas del equipo y en otras circunstancias la necesidad de tener separados los elementos vivos de un equipo de otros elementos dentro del mismo equipo.

CRITERIOS DE DISEÑO

- Los transformadores de potencia inmersos en aceite pueden operar con mayores niveles de voltaje y de potencia que los transformadores tipo seco. Estos transformadores son usados para exteriores.
- Los transformadores tipo seco se utilizan para interiores y también los utilizan para alumbrado.
- Se requiere de un dique para poder contener derrames o fugas.
- Se debe considerar la distancia entre el transformador y edificios; esta distancia esta determinada por la capacidad del transformador.
- De la IEEE-979-94, la separación que debe haber es la siguiente:
 - 75 KVA o menos, debe existir 3m.
 - 76 a 333 KVA debe existir 6.1 m.
 - Más de 333 KVA debe existir 9.1 m.
- La NFPA considera la capacidad de aceite para determinar la separación.
 - 500-5000 galones, deben existir 7.6 m.

- > 5000 galones, deben existir 15 m.

- Se requiere sistema contra incendio.
- Se requiere barreras contra incendio.
- Debe de existir la altura suficiente para remover el transformador.
- Se debe de tener buena ventilación en el cuarto para evitar que se acumule la temperatura y evitar un sobrecalentamiento.
- El transformador debe protegerse del contacto directo en caso que no tenga envolvente.
- La distancia que debe de tener de un muro es importante especilamente si tienes envolvente.
- Se deben evitar todo tipo de goteos ejemplo Tuberías, Equipo de HVAC etc.
- En las bóvedas que contengan más de 100 kVA de capacidad de transformadores, se debe construir un drenaje u otro medio que evacue hacia un depósito especial de confinamiento cualquier acumulación de líquido aislante o agua, a menos que las condiciones del local lo impidan; en este caso, el piso debe tener una inclinación hacia dicho drenaje.
- Ningún sistema de tubería o conductos extraños a la instalación eléctrica debe entrar o atravesar una bóveda de transformadores. La tubería u otros medios previstos para la protección contra incendios de las bóvedas o para el enfriamiento de los transformadores, no se consideran extraños a la instalación eléctrica.
- Los CCM, deben estar localizados en el cuarto de control eléctrico y deben tener envoltentes en gabinete tipo interior.
- La distribución de equipo en cuarto de tableros debe realizarse permitiendo espacios de acceso y trabajo suficiente que permita funcionamiento y mantenimiento rápido y seguro alrededor del equipo eléctrico. Los espacios mínimos permitidos se indican en las secciones 110.16, 110.32 y 110.34 de la NOM-001-SEDE.
- Sobre el piso al frente de los tableros, se debe instalar un tapete aislante tipo antiderrapante, con la finalidad de tener condiciones de operación seguras. El tapete deber tener una resistencia dieléctrica de 25 kV como mínimo. El tapete debe ser de un metro de ancho y extenderse 60 cm adicional, en los extremos del tablero o CCM.
- Es importante garantizar una buena ventilación en el cuarto para evitar la acumulación de temperatura y asi poder tener un optimo funcionamiento.
- Se debe de dejar suficiente espacio por encima del switchgear para poder instalar otros módulos.
- Se debe de tener altura suficiente en el cuarto para permitir la operación de una grúa.
- Asegurar que no haya trabajo de tuberías dentro del cuarto.

NORMAS APLICABLES AL DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIALES

- NOM-001-SEDE-2005 (NORMA OFICIAL MEXICANA INSTALACIONES ELECTRICAS)
- NEC (NATIONAL ELECTRICAL CODE)
- IEEE (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS)
- IEC
- ANSI (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE)
- NEMA (NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION)
- API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE)
- NRF (Pemex)
- CFE

1.8 ANTECEDENTES DE PLANTAS DE ENERGÍA

Estos proyectos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de un país, ya que a partir de ellos surgen fuentes generadoras de empleo y el nivel de vida de la población mejora. Este tipo de proyectos, se caracteriza porque el tiempo de duración del mismo, está sujeto al tiempo de fabricación de los equipos, ya que por lo regular se tratan de equipos especiales que son fabricados a nivel mundial por un número reducido de empresas.

Debido a la gran complejidad que existe en los proyectos de Energía, en cuanto a número de tuberías, equipos, racks, se utilizan sistemas de diseño de plantas llamado P.D.S. (Plant Design System). El P.D.S. lejos de ser un restirador electrónico, es una herramienta que además de realizar el diseño, cuenta con varias utilidades como el de cuantificar los materiales, y almacenamiento de especificaciones; ésta es una herramienta tridimensional para el diseño y construcción de plantas industriales.

El P.D.S. crea y mantiene una base de datos exacta, la cual proporciona información valiosa y actualizada para ser empleada durante la etapa de diseño. Posee un ambiente integrado que permite al usuario de disciplinas múltiples trabajar en un mismo proyecto en forma simultánea, mejorando el diseño, reduciendo errores e incrementando la productividad.

Debido a que los proyectos I.P.C. son eventos únicos, porque son realizados o ejecutados en ubicaciones remotas y distintas, en diferentes épocas, por personal y por recursos variados con diferentes clientes, compañías, etc. Implica que siempre existirá un grado de incertidumbre que se tendrá que afrontar y manejar.

Aquellas compañías u organismos que ejecutan proyectos, generalmente dividen a cada proyecto en diferentes fases o etapas, para así poder proveer programas con un mayor detalle y poder tener un mejor control. Al conjunto de todas estas fases o etapas de un proyecto que van desde su inicio hasta su terminación, se le conoce como ciclo de vida de un proyecto. Dependiendo del tipo y sector productivo al que pertenezca un proyecto I.P.C. de la cantidad por ejecutar.

Primeramente definamos que existen dos tipos de alcances:

- Alcance de Instalaciones
- Alcance de Servicios.

El primero, consiste en la parte física del proyecto, los productos finales que serán entregados y el Alcance de Servicios, viene a ser la parte referente a como se va a construir, bajo que especificaciones, bajo que normas, incluye a su vez la información que se le suministrara al cliente al finalizar el proyecto, como memorias de calculo bitácoras de construcción o las garantías que se están ofreciendo.

Siempre que una empresa presupueste un proyecto, deberá de definir de antemano con precisión y claridad, las actividades, servicios, instalaciones, garantías, que serán ejecutadas para llevar a cabo las instalaciones o servicios del proyecto. Lo anterior es de vital importancia porque si no se definen eficazmente dichos parámetros, se estará en una posición vulnerable para la cual, no se tendrá la documentación legal en momentos que se tengan diferencias entre cada una de las partes.

La elaboración de dicho alcance, deberá ser en conjunto entre las partes que forman el equipo de proyecto. Cada uno tendrá que hacer sus comentarios y observaciones, para que el escenario bajo el cual se trabajará, sea del visto bueno de todos. Es aquí donde es importante que cada parte distinga claramente el alcance del resto.

Existen algunas circunstancias que hacen que la elaboración del alcance, sea en ocasiones subestimada. Situaciones como encontrarse bajo presión para introducir un producto en el mercado, falta de capacidad de la ingeniería, percepción en retrasos e incremento en los costos, una administración demasiado optimista puede llevar a una falta de atención para el alcance que erróneamente, lejos de ayudar al proyecto lo afecte.

CAPITULO 2

INGENIERIA BASICA

2.1 BASE DE DISEÑO DEL PROYECTO

Este documento establece los requerimientos del cliente, criterios e información para las instalaciones y servicios incluidos en el alcance del proyecto para todas las disciplinas. Incluye prácticas de diseño reconocidas, regulaciones gubernamentales, códigos, estándares, prácticas industriales, y/o estándares específicos del cliente. (20)

2.2 REQUERIMIENTOS DEL PROCESO

Este documento denominado base de diseño se detalla los requerimientos para el diseño de cada unidad del proceso establecidos en las bases de diseño del proyecto. Las bases del proceso listan los datos y metodología de ingeniería que serán utilizados como base del diseño del proceso. Contiene valores de diseño significativos tales como: capacidad de producción, propiedades químicas y físicas, velocidad de reacción, presiones y temperatura de diseño y operación de puntos de interconexión, regulaciones y códigos tales como, NFPA (Nacional Fire Protection Association) API (American Petroleum Institute), etc.

2.3 BASE DE DISEÑO DE SERVICIOS AUXILIARES

Este documento detalla todos los servicios requeridos, especificando; consumos, fuentes y requerimientos de almacenamiento, si es un servicio nuevo o bien una modificación y ampliación a un sistema existente. Los consumos de los servicios deberán ser tabulados, conteniendo un sumario de las propiedades físicas y químicas de cada servicio diferenciándose esas propiedades en la generación, distribución (suministros y retornos) y puntos de uso, poniendo especial atención en la presión y temperatura de operación en donde las distancias son apreciables, como en complejos; Incluyendo las bases de diseño de servicio que se presentan a continuación:

- a) Lista de todos los servicios auxiliares requeridos para el proceso. Esta incluye los distintos tipos de agua, combustible, vapor, refrigerantes, sistemas de desfogue, sistema eléctrico, sistemas de calentamiento con aceite térmico, sistemas de inertización, sistemas cerrados de drenaje, etc.

- b) Sumario de servicios, incluyendo el principal uso, propósito, y la fuente o método de generación. Indicando si la fuente de servicio existe o será una instalación nueva. Si es un servicio existente se debe incluir la capacidad actual y las cargas utilizadas.
- c) Operación y parámetros de diseño para cada sistema. Por ejemplo: temperatura, presión, calidad, valores de calor, composición y limitaciones de descarga. Temperatura y presiones de operación en la fuente, distribución, equipo usuario, y retorno.
- d) Capacidad o carga adicional para un sistema existente.
- e) Los criterios de diseño de sistema como pueden ser paros, factores de capacidad, caída de presión, contingencias de emergencia y procedimientos de operación especial.
- f) Identificar los requerimientos de capacidad futura. Esto incluirá reservar un espacio para el equipo de acuerdo al área que ocupe para el aumento de capacidad, también definir si los cabezales de distribución de servicios deberán incluir prevención para ampliaciones de capacidades futuras.

Para asegurar que las bases de diseño se encuentren completas y sean precisas, el Ingeniero de proceso identificará las áreas que se afectarían en la precisión de los cálculos de proceso y de diseño con la información preliminar, deberá revisar, por disciplina, las omisiones y/o incongruencias para asegurar así que la información requerida esta incluida en sus bases de diseño.

Las áreas típicas que se deberán revisar son las siguientes:

- a) Contenidos de las bases de diseño del proyecto y de proceso contra las bases de diseño de servicios.
- b) Filosofía de control.
- c) Requerimientos de instrumentación y sistemas de control.
- d) Requerimientos especiales de distribución.
- e) Clasificación eléctrica.

2.4 SERVICIOS

Fluido y/o fuente de energía que se interrelaciona con el proceso. No forma parte de la formulación de productos. Estos pueden ser: vapor, agua, combustible, aire, gases inertes, refrigeración, electricidad, drenajes, sistema de colección de gas, quemadores e incineradores, tratamiento de efluentes, y sistemas de protección contra incendio.

2.5 BASES DE DISEÑO DE LA DISCIPLINA DE PROCESO

La preparación de las bases de diseño de proceso sigue una cuidadosa evaluación de los requerimientos del cliente, tecnología e información técnica existentes. Cada cliente tiene sus propios requerimientos de diseño por lo que el ingeniero de proceso debe trabajar cercanamente a él y al personal involucrado en el proyecto para asegurar la concreta operación de las bases de diseño de proceso.

Información de diseño general:

- a) Capacidad de la planta.
 - Todos los productos y subproductos
 - Materia prima, condiciones normales y anormales
 - Capacidad de diseño
 - Modos de operación
 - Capacidad normal y capacidades de otros modos de operación

- b) Filosofía de operación.
 - Números de sistemas y líneas de operación
 - Modulación de los equipos mas importantes del proceso (por ejemplo 3 equipos al 40% capacidad de planta, 2 al 80%, etc.).
 - Horas de operación / anuales.
 - Periodos de paro programado
 - Flexibilidad de la planta
 - Diferentes modos de operación, ampliaciones

- c) Localización del sitio.
 - Identificación de la localización del sitio en un mapa del área y las condiciones climatológicas del lugar de ser posible.
 - Límite de baterías (indicando líneas que serán responsabilidad el Proyecto).

- d) Fuente de la tecnología de proceso.

- Cliente
- Tecnólogo o licenciador
- Consultor

e) Materias Primas.

- Identificación
- Calidad y pureza. (Base seca y/o base húmeda)
- Formas de recepción de paquetes (cajas, tambores, bolsas, costales, otros, tamaño y peso).
- Métodos de Recepción (Camión , trailer, tubería, ducto, ferrocarril, góndolas, tolvas, volteadores de camión, volteadores de FFCC, etc.)
- Requerimientos y filosofía de almacenamiento
- Consideraciones especiales (manejo especial y riesgos)
- Condiciones en el límite de baterías para vapores y líquidos.

f) Productos y subproductos.

- Identificación
- Calidad y grados de pureza
- Propiedades físicas
- Embarque (cajas, tambores, bolsas, costales, otros; tamaño y peso)
- Método de embarque (camión, trailer, tubería, ducto.)
- Filosofía y requerimientos de almacenamiento
- Consideraciones especiales (manejo especial y riesgo)
- Condiciones en el límite de baterías para vapores y líquidos.

g) Filosofía de control.

- Grado de automatización (definir donde y cuales serán las interfases operador-proceso).
- Controles eléctricos y/o neumáticos.
- Estaciones de arranque y paro de motores eléctricos
- Filosofía de operación de motores y/o interlocks.

h) Requerimientos e impactos ambientales.

- Especificar junto con la disciplina ambiental los límites permisibles de acuerdo con la normalidad ambiental (para todo tipo de corriente que interrelacione con el medio ambiente, ya sea líquida, sólida vapores y gases , así como ruido, radiación y cualquier forma de energía).
- Especificar forma de disposición final de los residuos.

i) Criterio de flexibilidad de operación.

- Paro por fallas de servicios (definir cual será la condición de planta en ausencia o falla de suministro de aire de instrumentos y planta, vapor de todas sus calidades, energía eléctrica, agua de enfriamiento).
- Variaciones de capacidad (definir los rangos aceptables de operación atendiendo a posibles variaciones en el flujo y calidad de suministro de materias primas, reactivos, etc.).
- Capacidad mínima de operación. Relación de paro. (lo anterior es especialmente importante en la operación de equipos rotatorios como bombas, compresores, para la capacidad mínima de hornos y calentadores a fuego directo y el rango de medición de todos los elementos primarios de medición, etc.).

j) Equipo de relevo.

- Definir cuantos equipos de relevo serán y cuantos de operación
- Estandarización de equipos para minimizar partes de repuesto.

k) Filosofía de Arranque y de Paro.

- Paro programado.
- Paro de emergencia. (definir la forma mas conveniente de parar la planta de manera segura, posiblemente minimizando la cantidad de desfuegos, etc.).
- Cambio de tipo de producto. Definir los modos de operación que deberán ser incluidos en el diseño atendiendo a cambio de materias primas, cambio en los reactivos y catalizadores, modificación de porcentajes de recuperación.

l) Criterios de expansión de las instalaciones.

- Aumento de capacidad secuencial (expansión por fases).
- Expansión por módulos.
- Áreas del proyecto a ser diseñadas por la capacidad futura.
- Previsiones en las instalaciones para aumento de capacidad.

m) Propiedades físicas y químicas.

- incluye datos de las propiedades físicas, químicas y termodinámicas de las materias primas, productos y subproductos.
- Una lista de las propiedades físicas, riesgos de seguridad y salud especificadas para cada compuesto la cual deberá ser el conocimiento de todos los ingenieros de proceso y de los que participan en el proyecto.

n) Reacciones.

- Cinética y rendimientos.
 - Velocidad de reacción. (velocidad de reacción normal y de reacción fuera de control, para especificar tamaños de discos de ruptura, válvulas de seguridad, etc.)
 - Orden de la reacción.
 - Requerimientos de catalizador. (especificaciones de catalizadores, soportes de catalizador, mallas moleculares, alumina activada, sílica, etc.)
 - Presión y temperatura de reacción.
- o) Rendimientos esperados a lo largo del proceso.
- p) Requerimientos de almacenamiento de productos intermedios.
- q) Riesgos a la salud.
- Hojas de datos de seguridad de los materiales
- r) Seguridad.
- Lo concerniente a las explosiones.
 - Alta temperatura y presión de operación.
 - Áreas de clasificación eléctrica.
 - Reacciones que liberan gran cantidad de energía.
 - Todo lo relacionado con la toxicidad, corrosión, reactividad, explosividad, inflamabilidad y características biológicas de materiales.

2.6 CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño forman parte de estas bases de diseño o pueden quedar establecidas como un Anexo.

Los siguientes puntos deben considerarse para el establecimiento de los criterios de diseño:

- I. Información del cliente, requerimientos específicos del proyecto y las necesidades de cada disciplina.
- II. El ingeniero de proceso elabora los criterios del diseño. El supervisor de proceso y el cliente deberán ser consultados para aclarar cualquier punto específico.

- III. El supervisor revisa los criterios del diseño con el responsable de la gerencia para obtener su aprobación.
- IV. Una vez aprobados es responsabilidad del Supervisor revisar periódicamente el documento para reflejar cambios o complementar información.

2.7 DATOS Y CONDICIONES DE SITIO

- a) Temperaturas de diseño máximo, promedio mínimo (en verano e invierno) y temperaturas extremas.
- b) Temperaturas de diseño de bulbo húmedo y seco de verano o invierno.
- c) Velocidad y dirección de vientos dominantes y vientos reinantes.
- d) Altura sobre nivel medio del mar.
- e) Presión barométrica promedio.
- f) Datos de precipitación como un total de lluvias por año y lluvias máximas por periodos de 30 minutos, 1 hora y 24 horas.
- g) Nevadas donde apliquen.
- h) Zona sísmica.
- i) Requerimientos específicos de sitio; como pueden ser ambiente de polvo y salinidad, roció, hierba, entre otros. O la localización de la planta en una instalación existente.

2.8 CODIGOS Y ESTANDARES

Se deberá seleccionar de referencia los códigos y estándares que pueden ser aplicables, tales como: NEMA, NMX, ASTM, ANSI, entre otras.

2.9 FLEXIBILIDAD Y EXPANSIÓN

- Relación de tiempos muertos.
- Factores de sobrediseño de equipo y tubería.
- Filosofías del diseño de equipo específico (por ejemplo, sobrediseño de bombas, reactores, calentadores y compresores, modulación de equipos).
- Lista secuencial de los incrementos de la capacidad de la planta.

- Áreas de proyecto que serán diseñadas con una capacidad futura.
- Filosofía de equipo repuesto.
- Requerimientos especiales para arranque y paro.

2.10 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

En algunos proyectos los requerimientos de seguridad y consideraciones particulares se pueden visualizar muy fácilmente, ya que se conocen las sustancias peligrosas y las áreas existentes. La identificación de estas áreas y como diseñarlas será incluida en el criterio de diseño de proceso. (B)

- a) identificar áreas donde existe un peligro de explosión potencial. Esto incluye presión alta/operaciones con alta temperatura, el uso de componentes inestables, mezclas de aire explosivo, y la mezcla de componentes incompatibles.
- b) Criterios para la selección de áreas peligrosas y clasificación eléctrica.
- c) Identificar reacciones de alta energía.
- d) Cuando una sustancia tóxica es utilizada se requieren procedimientos especiales para el diseño de equipo y tubería.
- e) Datos de contenido biológico para materiales peligrosos.

2.11 AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO TERMICO

Este criterio implica la protección del personal, conservación de la energía, estabilidad y seguridad del proceso, protección contra congelamiento y condensación y congelamiento exterior. Se debe tomar en cuenta la siguiente información:

- Temperatura de congelación invernal, porcentajes de humedad relativa y puntos de rocío del aire.
- Características de los fluidos que requieren conservación de calor o frío.
- Medio preferido para acondicionar (eléctrico, fluido térmico, agua caliente, glicol, agua o vapor).
- Requerimientos de enchaquetado.
- Establecer la temperatura mínima de operación de la cual se requiere el uso de aislamiento.
- Detalles de productos sensibles al calor.
- Coeficientes de diseño por convención de calor.

- La normatividad oficial editada la cual esta basada en el plan nacional de optimización del uso de la energía y es de carácter obligatorio como mínimo dentro del país.

2.12 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Se recomienda incluir la siguiente información:

- a) Indicar los códigos, estándares o referencias aplicables que se utilizaran en la selección de materiales de construcción y grados de corrosión.
- b) Colaborar con el especialista de materiales en la definición del material requerido para cada corriente.
- c) Definir con el cliente el tipo de vida de la planta.
- d) Establecer el grado de corrosión (corrosión permisible) resultado del tiempo de vida del equipo para cada servicio.
- e) Indicar problemas de corrosión que ocurrirán como resultado de las funciones de proceso que incluyen químicos letales, cloruros, sosa cáustica, hidrógeno presencia de ácido sulfhídrico con agua y otros.

2.13 FACTORES ECONÓMICOS

Sensibilidad al costo:

Es importante definir en este tipo de proyectos aspectos relacionados con el costo del capital, tales como:

- Definición del costo del capital. El costo del capital, es la tasa de rendimiento que debe obtener la empresa sobre sus inversiones para que su valor en el mercado permanezca inalterado.
- Costo promedio ponderado. Las corporaciones crean valor para los accionistas ganando una rentabilidad sobre el capital invertido que está por encima del costo de ese capital. El costo promedio ponderado es una expresión de este costo. Se utiliza para ver si se agrega valor cuando se emprenden ciertas inversiones, estrategias, proyectos o compras previstas.

El costo promedio ponderado se expresa como un porcentaje, como un interés. Por ejemplo, si una compañía trabaja con un costo promedio ponderado del 12%, esto significa que cualquier inversión solo debe

realizarse si proyecta un rendimiento mayor al costo promedio ponderado de 12%.

- Técnicas para estimación de costo del capital
 - Valuación de activos de capital.
 - CAPM (Modelo de valuación de activos de capital); es el modelo más comúnmente utilizado.
 - Los modelos difieren primordialmente en como definen el riesgo.
 - El CAPM define el riesgo de una acción como su sensibilidad al mercado de valores.
 - Arbitraje. En economía y finanzas, arbitraje es la práctica de tomar ventaja de una diferencia de precio entre dos o más mercados.
 - Adaptación para mercados emergentes.
 - Tendencia de los mercados emergentes
 - Tendencia a reducir las restricciones de inversión internacional
 - Mayor inversión internacional con precios locales basados en costo de capital internacional.
- Costo de capital y estrategias financieras.
 - Maximizar valor de la empresa
 - Optimización de los recursos
 - Costo de capital óptimo
 - Decisión de inversiones
 - Tasa mínima exigida
 - Rendimiento
 - Incertidumbres, riesgos económicos, políticos, globalización, obstáculos.
 - Decisión de dividendos

CAPITULO 3

ALCANCES DE LAS DISCIPLINAS EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA Y CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE GENERACION

3.1 CIVIL

3.1.1 TOPOGRAFÍA Y PREPARACIÓN DEL SITIO

La topografía es el estudio de nivelación en cada uno de los linderos establecidos.

La urbanización, son todas las áreas libres que se mantienen limpias y despejadas de objetos extraños a la planta, exclusivas para la circulación de vehículos y almacenamiento.

Preparación de sitio, esta se puede lograr con una terminación de:

- Tierra.
- Grava Compactada.
- Asfalto.
- Concreto Hidráulico.

Se verificará que los accesos tengan la orientación adecuada de acuerdo a las vialidades de mayor importancia.

Las zonas de protección, se ponen todos los aditamentos que corresponden a la protección como son:

- Muros.
- Pisos de Concreto.
- Salidas de Agua Pluviales.

3.1.2 MECÁNICA DE SUELOS

La mecánica de suelos se hace por lo regular tomando en consideración el sistema unificado de clasificación de suelos, la cual toma como referencia los siguientes parámetros:

- Profundidad.
- Capacidad de Carga.
- Cohesión.
- Peso en volumen húmedo.
- Humedad Natural.
- Peso en volumen seco.
- Contracción Lineal.

3.1.3 DRENAJES

Se refiere a los sistemas de desalojo de agua de lluvia o aguas negras. Dichos sistemas pueden estar compuestos de registros, tuberías, canales, cunetas, trincheras.

Cuyas dimensiones son calculadas en base a la información hidrológica del sitio cuando es drenaje pluvial o del flujo del agua usada en baños, cocinas, laboratorios.

3.1.4 ESTRUCTURAS

Existen estructuras de concreto, estructuras de acero y mixtas que son combinación de éstas dos.

En estos planos se especifican en función a un cálculo realizado por un ingeniero civil en el área el tipo de estructura que se realizará complementando todo tipo de detalle.

En costo son más económicas las de concreto, se utilizan las de acero por su rapidez de colocación.

- Localización de todos los elementos estructurales respecto a los ejes de columnas del edificio o respecto a los ejes de equipo.
- Indicación de los niveles superiores de la estructura y el nivel del piso terminado en cada una de las plantas estructurales.
- Indicación de los tipos de soldadura, sus dimensiones, tipo y dimensión del electrodo.
- Detalles de armado de todos los elementos estructurales.

ESTRUCTURA DE CONCRETO:

Es la combinación de cuerpos resistentes capaces de transmitir fuerzas o de soportar cargas, sin que haya movimiento relativo entre sus partes. Es una armadura que sostiene un conjunto, el peligro de derrumbamiento total o parcial debe ser nulo.

TIPOS DE ESTRUCTURAS:

- a) Las construidas con la estructura totalmente cubierta.
- b) Las construidas con la estructura parcialmente cubierta que son del tipo cobertizo simplemente techado.
- c) Las de estructura descubierta constituida por un soporte estructural del aire libre.

3.1.5 CIMENTACIONES

En los planos de Cimentaciones se utilizan los términos de secciones y detalles para definir un punto de la cimentación que no se puede apreciar en forma general:

- a) Bajo equipo estático.
- b) Bajo equipo dinámico.
 - Niveles de desplante de cimentaciones.
 - Localización por medio de dimensiones respecto a los ejes del edificio, zapatas, trabes.
 - Detalles de armados de todos los elementos.

CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURA:

Se encarga del análisis y diseño, incluyendo el dimensionamiento y detalle de la cimentación de todas las estructuras. Hay 3 tipos:

- a) Pilotes.
- b) Zapatas.
- c) Losas continuas.

3.1.6 SOPORTE DE TUBERÍAS

- a) Enterrados.
- b) A nivel de piso.
- c) Elevados.
 - Localización por medio de coordenadas de las cimentaciones y los soportes.
 - Indicación de materiales, dimensiones y elevación de soportes.

3.1.7 MAQUETA ELECTRÓNICA

Es un modelo o reproducción a escala reducida en la que se presenta la localización y dimensiones de estructuras, cimentaciones, permite identificar las posibles interferencias de estructuras, cimentaciones, ver figura (1).

Es la representación electrónica del arreglo civil se tiene:

- Elementos principales: columnas, vigas, contraventeos horizontales y verticales incluyendo placas base y de conexión.
- Monorrieles.
- Soportes misceláneos (secundarios).
- Plataformas y vigas secundarias.
- Escaleras de rampa, marinas (incluyendo la jaula).
- Barandales, incluyendo envolventes de paso.
- Racks de tuberías.
- Soportes misceláneos (Eléctrico).
- Cimentaciones de equipo.
- Cimentaciones de edificios.
- Pisos de rejilla y placa antiderrapante incluyendo huecos mayores de 20 cm.
- Recubrimiento contra incendio de acero estructural.
- Losas de piso.
- Losas de entrepiso.
- Plataformas de terracería, calles y caminos.
- Sistema de drenaje pluvial y sanitario incluyendo tuberías.
- trincheras y registros.

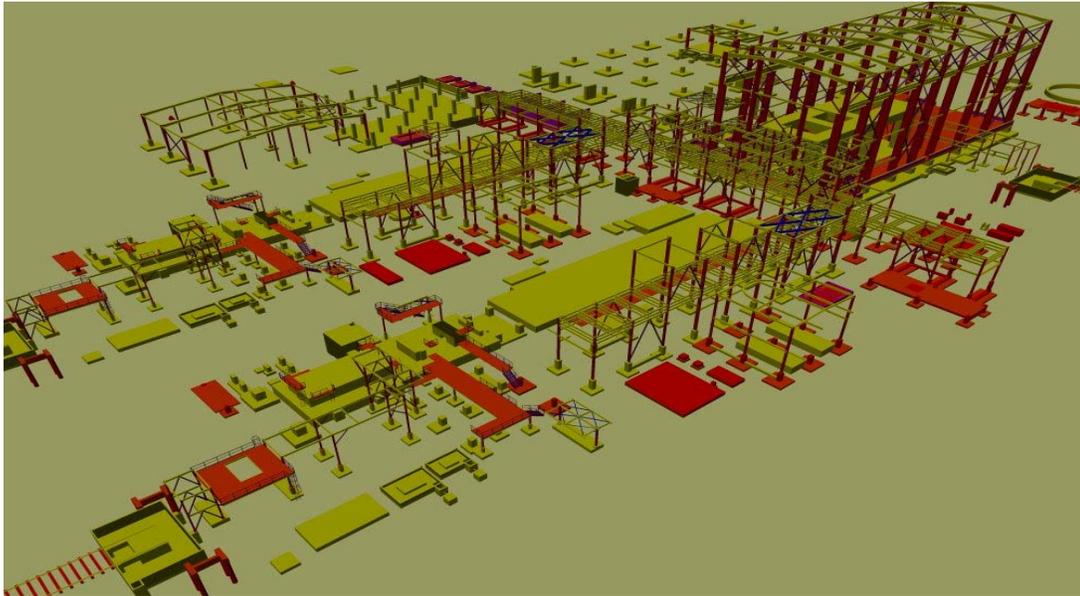


Figura (1).- Modelo electrónico civil estructural

3.1.8 ENTREGABLES

- Planos topográficos y de movimiento de tierras.
- Planos de plataforma de operación y soportes.
- Demoliciones.
- Terracerías.
- Planos de drenaje.
- Planos de pavimentos.
- Planos de cimentaciones.
- Planos de estructuras de concreto.
- Planos estructurales de acero.
- Planos de edificios.
- Planos de racks y puentes.

3.2 ARQUITECTURA

Contempla el diseño conceptual de todas las áreas de la planta de la construcción arquitectónica:

- Estudio de vialidad vehicular y peatonal.
- Estudio de áreas libres (jardines, campos deportivos, zonas de estacionamiento).

3.2.1 DISEÑO DE DETALLE

La ubicación y dimensiones del área de la planta, almacenes, subestaciones, edificios, laboratorios, cuartos de control, talleres, bodegas, áreas verdes, fachadas accesos y el aspecto general.

3.2.2 EDIFICIOS

- Fachadas y cortes.
- Instalaciones sanitarias.
- Especificación y detalle de instalación de puertas, ventanas y mamparas.

3.2.3 ACABADOS

Refiere a todas las aplicaciones que permiten darle a los edificios su apariencia final, la mayoría de los materiales son definidos por el cliente y están relacionados con muros, ventanas, puertas y mobiliarios.

3.2.4 INSTALACIONES HIDRAÚLICAS Y SANITARIA

Refiere a todas y cada una de las instalaciones dentro de los edificios que permiten suministrar y desalojar, agua de servicio o agua negra respectivamente. (21)

Los materiales comunes son tubería galvanizada o de cobre o PVC cuyos diámetros dependerán del flujo que pasen por ellas.

3.2.5 MAQUETA ELECTRÓNICA

Es un modelo o reproducción a escala reducida en la que se presenta la localización y dimensiones de cuartos almacenes, fachadas.

En la representación electrónica del arreglo arquitectónico:

- Muros interiores (espesor total con acabados).
- Techos de lámina.
- Puertas y ventanas (sin detalle).

- Piso falso con soportes.
- Mobiliario fijo en baños y tarjas.
- Falsos plafones (se indicarán los cambios de nivel).
- Escaleras interiores.
- Tubería hidráulica, desde la acometida hasta los muebles sanitarios (sin detalle).
- Tubería sanitaria, desde los muebles sanitarios hasta el primer registro (sin detalle).
- Bajadas de agua pluvial y canalones (sin detalle).
- Cuartos eléctricos y de control.

3.2.6 ENTREGABLES

- Planos arquitectónicos y de acabados de los edificios incluidos en el alcance.
- Planos de instalaciones.
- Actividades de requisición de materiales.

3.3 ELECTRICO

3.3.1 DIAGRAMAS UNIFILARES ELÉCTRICOS

Es la representación esquemática de un sistema eléctrico mostrado en forma de una sola línea (una fase).

Para mostrar los dispositivos mayores de potencia, protección y medición de un sistema eléctrico.

3.3.2 PLANOS DE CLASIFICACIÓN DE ÁREAS

La clasificación de áreas se define como la determinación de las zonas peligrosas donde se puede producir una explosión debido a las temperaturas de ignición de los materiales que se manejan en ellas.

El objeto de determinar estas zonas es el colocar dispositivos que puedan soportar una explosión interior sin permitir que se transmita hacia el exterior produciendo un desastre mayor.

3.3.3 ESPECIFICACIONES DE EQUIPO

Es la forma física la disposición de los equipos mayores tanto en el interior como en el exterior de las subestaciones y cuartos de control.

Con esto se dimensionan subestaciones y cuartos de control para coordinar con las demás disciplinas el diseño y la construcción de acuerdo con los requerimientos y servicios que cada uno de los equipos.

3.3.4 SISTEMA GENERAL DE FUERZA

Indica las rutas principales de la distribución de fuerza indicando los grandes bloques donde se concentran las cargas de las áreas de la planta, sobre el arreglo general de la planta.

Para definir espacios y trayectorias de las canalizaciones eléctricas ya sean charolas o camas de tubería conduit.

3.3.5 DISTRIBUCIÓN DE FUERZA SUBTERRÁNEA

Indica las trayectorias principales de los bancos de ductos hacia las cargas de cada área de la planta, sobre el arreglo general de la planta para identificar las trayectorias e informar a las demás disciplinas de las rutas con el objeto de evitar interferencias entre los diferentes sistemas enterrados.

3.3.6 DETALLES DE INSTALACIÓN ELÉCTRICOS

En estos documentos se muestra la información de cómo se realizara la instalación eléctrica del equipo o accesorio eléctrico, este contiene una lista de materiales requerida para dicha instalación, basada en la especificación del equipo.

3.3.7 SISTEMA GENERAL DE TIERRAS

Presenta los anillos principales de las áreas en que esta dividida la planta indicando los cables varillas y conectores de toda la planta, sobre los planos de arreglo general de la planta para mostrar la interconexión entre los diferentes anillo y sistemas de tierras de la planta. (11)

3.3.8 ALUMBRADO GENERAL

De vialidades y de seguridad así como la distribución general de ductos subterráneos para el alumbrado exterior, sobre los planos de arreglo general de la planta.

Se indica la distribución de los postes de alumbrado en las vialidades y se puede verificar que existe un alumbrado adecuado en áreas generales de vialidades, estacionamientos, vigilancia, etc.

3.3.9 CÉDULA DE CONDUCTORES

Indican las características de los cables y canalizaciones de la instalación.

Registrar e informar al personal de diseño y construcción las características de los cables y canalizaciones utilizadas en la instalación eléctrica de la planta.

Las características de los cables y canalizaciones así como su origen y destino.

3.3.10 MAQUETA ELECTRÓNICA

Es un modelo o reproducción a escala reducida en la que se presenta la localización y dimensiones de equipos, canalizaciones, áreas de mantenimiento, permite identificar las posibles interferencias de canalizaciones con tuberías, cimentaciones y estructuras, ver figura (2).



Figura (2). Modelo electrónico de equipo eléctrico

En la representación electrónica del arreglo eléctrico se tiene lo siguiente:

- Todas las charolas en exteriores y cuartos eléctricos.
- Soporte para canalizaciones eléctricas aéreas (modelada por civil con información del eléctrico).

- Soporte compartido con tuberías (modelado por tuberías con información del eléctrico).
- Soportes diseñados por eléctrico para bancos de conduit y charolas.
- Soportes para charolas y conduit diseñados y comprados por el electricista
- Conduit de 2" de diámetro y mayores.
- Equipo eléctrico (CCM's, transformadores, tableros, etc.), en cuartos eléctricos. Incluyendo áreas de mantenimiento, accesos y operación.
- Equipo eléctrico en exteriores como transformadores, busductos, subestaciones exteriores tipo abiertas (switchyard), tableros de interruptores (switchracks) y tableros para alumbrado y contactos. Incluyendo áreas de mantenimiento, accesos y operación.
- Luminarias exteriores.
- Tableros y Cajas de conexión, con soporte, incluyendo área de mantenimiento y operación.
- Interruptores de seguridad, incluyendo área para mantenimiento y operación.
- Receptáculos.
- Estaciones de control para motores, etc., con soporte, incluyendo área para mantenimiento y operación.
- Envoltentes de bancos de ductos eléctricos subterráneos, derivaciones a equipos y registros. (Tomar en cuenta la envoltente total del banco de ductos que incluye el espesor).



Modelo electrónico de equipo eléctrico

3.3.11 ESPECIFICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN

Se indican todos los componentes eléctricos y mecánicos de la subestación, ya sea interior como intemperie, así como las normas de fabricación para cada uno sus equipos y los valores requeridos por el cliente en cada uno de los casos.

El objeto de elaborarlas es definir el fabricante que queremos.

Debe de contener la descripción de todos los elementos tanto mecánicos como eléctricos de la subestación y las normas que rigen la construcción de dichos elementos.

3.3.12 ENTREGABLES

- Planos de clasificación de áreas.
- Diagramas unifilares, elementales y de interconexión.
- Planos de fuerza y control.
- Planos de alumbrado y contactos.
- Modelo de instalaciones.
- Sistemas de tierras y pararrayos.
- Hojas de datos de equipo eléctrico.
- Información de proveedores.
- Actividades de requisición de equipo y materiales.
- Coordinación con subcontratos que involucren diseño

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN

4.1 REQUERIMIENTOS DE SELECCION

El diagrama de conexiones (arreglo) de una subestación tiene como finalidad representar mediante símbolos, en forma ordenada y en una sola línea las conexiones, las características principales y la nomenclatura del equipo que forma parte de ella.

Para el diseño de una subestación, se inicia con el diagrama de conexiones y para su selección se requiere de un estudio de las características específicas del sistema eléctrico al que se va a conectar y de la función que desempeñará la propia subestación en la red.

Uno de los aspectos más importantes que deben tomarse en consideración, para la realización de la ingeniería de cualquier subestación, lo constituye la determinación del diagrama de conexiones, ya que del arreglo seleccionado dependerán los demás factores que deben tomarse en cuenta para la realización del proyecto.

Cuando se pretende realizar ampliaciones a las subestaciones existentes, regularmente se respeta el arreglo original, sin embargo cuando se trata de nuevas subestaciones, para el tipo de subestación y su arreglo se consideran independientemente de su ubicación (urbana, suburbana o rural) y de su nivel de tensión (transmisión, subtransmisión, distribución), los siguientes requerimientos principales que permiten optimizar el diagrama de conexiones:

- a. Continuidad de servicio.
- b. Flexibilidad de operación.
- c. Facilidad de mantenimiento al equipo.
- d. Habilidad para limitar los niveles de corto circuito.
- e. Simplicidad en los esquemas de control y protección.
- f. Economía de equipo y su instalación.
- g. Área disponible para su construcción.
- h. Posibilidad de ampliación.

A continuación se describen cada uno de estos aspectos esenciales que contribuyen el lograr un servicio eléctrico seguro, confiable y de calidad:

a. Continuidad de servicio

Es uno de los requisitos más importantes para la selección del arreglo de la subestación, debido a que con esto se busca reducir los tiempos de interrupción, por lo que se deben considerar los siguientes aspectos:

1) Capacidad de reserva.

El arreglo debe contar con la flexibilidad suficiente para permitir utilizar la capacidad de reserva de transformación de la subestación, con el propósito de seguir proporcionando el suministro de energía eléctrica demandada sin ningún problema, cuando se presente una contingencia o por requerimientos de mantenimiento.

2) Confiabilidad del arreglo.

Se cuantifica en base a los índices de probabilidad de frecuencia y duración de fallas de operación, obtenidos estadísticamente, de los elementos (líneas de transmisión, barras colectoras, transformadores de potencia y alimentadores), y de los equipos (interruptores, cuchillas desconectadoras, transformadores de instrumento, entre otros) que forman parte del arreglo de la subestación.

3) Seguridad del sistema.

Un arreglo debe permitir con facilidad utilizar la capacidad de reserva de la subestación, tanto de transmisión como de transformación, para que la desconexión de un elemento no provoque la desconexión de otros elementos en cascada por sobrecarga y así evitar un colapso del sistema.

b. Flexibilidad de operación

Es la versatilidad del diagrama de conexiones para permitir realizar maniobras de cualquiera de los elementos de la subestación (líneas, bancos o barras colectoras), con un número reducido de operaciones y con la mínima cantidad de equipo involucrado, afectando lo menos posible la continuidad de servicio.

c. Facilidad de mantenimiento al equipo

Un diagrama de conexiones ofrece facilidad para proporcionar mantenimiento al equipo cuando cumple por lo menos con las siguientes características:

- Simplicidad para facilitar su limpieza.

- Un número reducido de maniobras para aislar al elemento que se le va a realizar el mantenimiento.
- La independencia entre los elementos.
- La normalización en una forma general que permita salidas planeadas del equipo para su mantenimiento.
- Debe proporcionar seguridad al personal de mantenimiento.

d. Habilidad para limitar los niveles de corto circuito

Un diagrama de conexiones debe permitir seccionarse en tal forma que se limite la elevación de la corriente de cortocircuito, a niveles que no puedan dañar al equipo de la subestación.

e. Simplicidad en los esquemas de control y protección

Un sistema de protección y control es más simple cuando es menor la cantidad de equipo involucrado en el arreglo (interruptores, cuchillas y transformadores de instrumento); es decir que cuanto menor es el número de equipos, se tienen menos fuentes probables de fallas.

Por ejemplo la simplicidad para determinar las zonas de protección basándose en la cantidad de transformadores de corriente que se deben conectar en una protección dada, o el número de interruptores que debe disparar la protección.

Este concepto también involucra la facilidad que los operadores deben tener para comprender las instrucciones específicas, particularmente cuando se exigen decisiones rápidas al presentarse una condición de emergencia.

f. Economía del equipo y su instalación

El arreglo de conexiones seleccionado determinará la cantidad de equipo requerido y el área de terreno que va ocupar la subestación. Por lo que el arreglo utilizado determina en gran parte el costo de la subestación.

Con la adquisición de equipo normalizado se tiene la ventaja de que se cuenta con reserva de equipo que permite reemplazar el faltante en un tiempo corto.

g. Área disponible

Una evaluación preliminar del área requerida por una subestación se puede realizar en base al diagrama de conexiones seleccionado y disposiciones físicas normalizadas por Luz y Fuerza del Centro (LFC).

Esta estimación debe ser revisada y adaptada a las condiciones particulares del sitio como las posibles limitaciones de los derechos de vía de las líneas de transmisión y sus acometidas a la subestación, o también si el área del sitio ideal para la ubicación de la subestación es restringida, puede ser necesario construir una subestación con un arreglo menos flexible de lo requerido o instalar equipo blindado que obviamente es más costoso pero optimiza el espacio.

h. Posibilidad de ampliación

Para la ampliación de una subestación, como la construcción de una nueva bahía y la extensión de los juegos de barras colectoras para la instalación de un nuevo banco o línea de transmisión, puede resultar difícil y costoso o bien imposible si no se consideró el crecimiento de la subestación previamente en la selección del arreglo. Las ampliaciones pueden ser modulares, con un mínimo posible de desconexiones.

Diagramas de conexiones típicos y sus características

En el sector eléctrico se han empleado una diversidad de diagramas de conexiones, basándose en los requerimientos que se deben satisfacer para cubrir las expectativas y condiciones propias de las subestaciones de transmisión, subtransmisión y distribución.

Algunos arreglos típicos en general, utilizados en las subestaciones del sector son los siguientes:

- Barra sencilla
- Doble barra con interruptor comodín
- Doble barra con interruptor de amarre
- Triple barra con interruptor de amarre
- Triple barra con interruptor comodín
- Anillo
- Interruptor y medio
- Doble barra doble interruptor

Desde luego, existen otros arreglos que se aplican cuando se tienen restricciones económicas, limitaciones de espacio o condiciones especiales en la operación o

en la distribución del equipo eléctrico. Los arreglos utilizados a través de los años en LFC se indican en los diagramas unificares.

A continuación se evalúan cada uno de los ocho arreglos indicados, en base a sus ventajas y desventajas con respecto a los requerimientos de selección.

Aplicación de los arreglos en Luz y Fuerza del Centro

Luz y Fuerza del Centro, con base a los requerimientos para la selección de los diagramas de conexión y a los cambios de topología que ha tenido su sistema, se han aplicado diferentes arreglos en las subestaciones de transmisión, subtransmisión y distribución, adaptándose a las necesidades propias de crecimiento y a las exigencias de calidad y confiabilidad del servicio. A continuación se describen las diversas aplicaciones de los arreglos utilizados en LFC, considerando las ventajas de los arreglos seleccionados en las tensiones de 400, 230, 85 y 23 kV.

Subestaciones de transmisión.

Las subestaciones de transmisión (400/230kV) de LFC forman parte del anillo de 400 kV del Área de Control Central, que está interconectado con líneas de transmisión formadas por dos circuitos trifásicos que operan normalmente en paralelo, la capacidad firme de cada línea equivale a la capacidad de transmisión de uno de los dos circuitos para que en caso de que se desconecte uno de ellos por alguna contingencia o por mantenimiento, el otro continúe suministrando la energía eléctrica y no exista interrupción del servicio.

Estas subestaciones (Tabla 1.2 Capítulo 1), se proyectan para que en su etapa final estén formadas por cuatro bancos de potencia de 330 MVA cada uno, con lo que se obtiene una capacidad de transformación firme en la subestación (empleando autotransformadores monofásicos) de 1320 MVA y para recibir dos líneas 400 kV con dos circuitos cada una, cada fase de los circuitos está constituida por dos conductores de 567.63 mm² (1113 kcmil), lo que da una capacidad de transmisión por circuito de 1500 MVA, suponiendo que los conductores llegan a trabajar a su límite térmico (se considera que no hay restricciones de carga por razones de regulación de voltaje o límite de estabilidad, ya que se trata de líneas cortas).

Las subestaciones de transmisión alimentan a la red de 230 kV que está diseñada con líneas de transmisión de doble circuito trifásico que operan normalmente en paralelo y cada circuito tiene la capacidad para transmitir la carga de los dos circuitos para que la desconexión de uno de ellos no provoque la desconexión de otros elementos por sobrecarga y en esta forma por un proceso cascada, la interrupción total del sistema.

Dada la importancia que tienen las subestaciones de transmisión en la seguridad del sistema, LFC ha normalizado la aplicación del arreglo de interruptor y medio para las secciones de 400 y 230 kV, tanto en subestaciones convencionales como las aisladas en hexafluoruro de azufre (SF6), pero para las primeras se emplean autotransformadores monofásicos de 110 MVA que forman bancos trifásicos y para las aisladas en SF6 se utilizan autotransformadores trifásicos de 330 MVA.

Subestaciones de subtransmisión.

Las subestaciones de subtransmisión (230/85 kV) tienen la función de transformar la energía para suministrarla a la red de 85 kV de LFC. En forma similar que la red de transmisión, la red de subtransmisión (85 kV) está formada con líneas de dos circuitos trifásicos que también operan normalmente en paralelo y cada circuito tiene la capacidad para transmitir, en caso necesario, la carga de los dos.

En las subestaciones de subtransmisión la capacidad instalada de los bancos de potencia permite la desconexión de un transformador trifásico o la sustitución de un transformador monofásico por el de reserva sin que se carguen los otros transformadores de la subestación mas allá de los límites permitidos. Por lo que la desconexión de uno de los circuitos de una línea de subtransmisión o un transformador de potencia no causa trastornos de importancia en el sistema.

En las primeras subestaciones de 230/85 kV LFC se aplicó el diagrama de conexiones de doble barra con interruptor comodín tanto en 230 kV como en 85 kV. Con este tipo de arreglo se le puede dar mantenimiento a cualquier interruptor sin necesidad de sacar fuera de servicio a su elemento asociado, sustituyendo al interruptor por el comodín a través de las barras de transferencia.

En este tipo de arreglos se tiene la desventaja de que como todas las líneas y bancos de potencia se encuentran conectadas a las barras principales, al operar la protección diferencial de barras queda totalmente fuera de servicio la subestación, lo que puede traer repercusiones de tal magnitud que se puede causar un colapso del sistema.

Posteriormente se utilizó en las subestaciones de subtransmisión, tanto en la tensión de 230 kV como en 85 kV, el arreglo de doble barra con interruptor de amarre, conocido también como barra partida. Con este arreglo en condiciones normales de operación el interruptor de amarre se encuentra cerrado y la mitad de las líneas transmisión y la mitad de los bancos de transformación se conectan a uno de los juegos de barras colectoras y la otra mitad al otro juego, por lo que al operar la protección diferencial de uno de los juegos de barras colectoras, solo se queda fuera de servicio la mitad de los elementos de la subestación, sin causar trastornos graves en el sistema de potencia.

El arreglo con doble barra tiene la desventaja de que cuando se requiere dar mantenimiento a uno de los interruptores tiene que quedar fuera de servicio la línea o el transformador correspondiente, pero si se considera la capacidad de reserva tanto de transmisión como de transformación que se tiene en las subestaciones de subtransmisión se puede deducir que esta desventaja no trae graves consecuencias de operación del sistema.

Conforme fue creciendo la capacidad del anillo de 230 kV se empezó a utilizar, en las subestaciones de subtransmisión e interconexión, el arreglo con interruptor y medio, que por las ventajas que tiene sobre los arreglos que se habían utilizado anteriormente, se cuenta con mayor continuidad en el suministro de energía eléctrica y proporciona más seguridad al sistema.

Debido a que la capacidad de la red de subtransmisión ha tenido un crecimiento constante en los últimos años, la filosofía actual de aplicación de los diversos diagramas de conexión, es utilizar también el arreglo de interruptor y medio en las subestaciones de subtransmisión para la tensión de 85 kV, para obtener mayor flexibilidad de operación, facilidad en mantenimiento y continuidad en el suministro de energía.

En las subestaciones en SF6 se aplica el arreglo de doble barra con amarre considerando que las contingencias en este tipo de subestaciones son menores, debido a no estar expuestas a las condiciones de la intemperie.

Subestaciones de distribución

Las subestaciones de transformación que alimentan a la red de distribución de 23 kV pueden ser alimentadas por la red de subtransmisión de 85 kV o directamente del sistema de transmisión de 230 kV.

Subestaciones de 230/23 kV

En las primeras subestaciones de transformación de 230/23 kV que alimentan al sistema de distribución y donde la desconexión de toda la subestación no afectaba al resto de la red de alta tensión, sino únicamente a una porción del sistema de 23 kV, para la sección de 230 kV se adoptó el arreglo de un juego de barra sencilla.

Posteriormente, conforme el sistema de 230 kV fue creciendo, hubo la necesidad de que este tipo de subestaciones realizaran no solo la función de subestación de distribución sino también la de interconexión, por lo que se utilizó en 230 kV, el arreglo de interruptor y medio. Como las subestaciones aisladas en SF6 son más confiables que las aisladas en aire, actualmente se emplea el arreglo de doble barra con interruptor de amarre, para las subestaciones de 230/23 kV en la sección de alta tensión con aislamiento en SF6.

Para la tensión de 23 kV, en este tipo de subestaciones se ha utilizado el arreglo de doble anillo.

En condiciones normales de operación los interruptores de enlace están abiertos y los demás interruptores están cerrados. En caso de que un transformador quede fuera de servicio, por mantenimiento o por alguna contingencia.

Subestaciones de 85/23 kV

Las subestaciones de distribución más antiguas se realizaron con bancos de transformadores monofásicos y con un diagrama de conexiones en la sección de 85 kV de doble barra con interruptor comodín que se fue transformando en un arreglo de doble barra con interruptor de amarre. La sección de 23 kV tenía un arreglo de doble barra con interruptor comodín.

Posteriormente en las subestaciones de 85/23 kV se empezaron a utilizar transformadores trifásicos, con arreglo en 85 kV de doble barra con interruptor de amarre y para la sección de 23 kV con arreglo en anillo sencillo.

La operación del arreglo en anillo sencillo es similar a al del doble anillo descrito para las subestaciones de 230/23 kV. Si se compara con el arreglo de doble barra con interruptor comodín utilizado en las subestaciones más antiguas, se puede observar que con el arreglo en anillo se mejora considerablemente la continuidad de servicio, ya que con este arreglo la falla de un transformador no produce interrupción del suministro, lo que si sucede con el otro tipo de arreglo.

Como el sistema de subtransmisión creció y continúa hasta la fecha en expansión, se determinó que las subestaciones de distribución 85/23 kV se utilicen también como subestaciones de interconexión, por lo cual en las últimas subestaciones se ha adoptado el arreglo de interruptor y medio también para la tensión de 85 kV, con excepción de las subestaciones aisladas en SF6 en las cuales se continúa empleando el arreglo de doble barra con interruptor de amarre, debido a la alta confiabilidad que se tiene en las subestaciones con este tipo de aislamiento.

Por otra parte, en las subestaciones de distribución tanto de 230/23 kV como de 85/23 kV se ha utilizado también el arreglo de doble barra doble interruptor en la sección de 23kV. Este tipo de arreglo cuando se utiliza en subestaciones de distribución presenta además las siguientes características de operación:

1. Este arreglo cuenta normalmente con tres transformadores de los cuales el tercer transformador se utiliza como de reserva y cada una de los dos restantes suministra carga a seis alimentadores.

2. En condiciones normales se opera con todos los interruptores cerrados, excepto los interruptores del banco de reserva.
3. Cuando sale de servicio un banco, por ejemplo al operar su protección, se transfiere automáticamente su carga al banco de reserva.
4. Se puede obtener mayor número de alimentadores que en el caso del arreglo de doble anillo.

Este tipo de arreglo se utiliza en las subestaciones de distribución para servicios en donde se requiere que se proporcione mayor confiabilidad, como es en los siguientes casos:

1. Las redes automáticas que además de los grandes requerimientos de continuidad de servicio, requieren seis alimentadores operando en paralelo para formar la red, por lo que estos alimentadores no pueden ser tomados de diferentes transformadores para evitar aumentar considerablemente los valores de cortocircuito.
2. El sistema de Transporte Colectivo Metropolitano (METRO).
3. También en las subestaciones de distribución se utilizan gabinetes blindados en SF6 para la sección de 23 kV, debido al alto grado de confiabilidad que tienen, empleando el arreglo de doble barra con interruptor de amarre. Este tipo de arreglo aplicado en 23 kV presenta ciertas características de operación diferentes a las que tienen las subestaciones 85 o 230 kV, tales como:
 - Este arreglo igual que el de doble interruptor, normalmente cuenta con tres bancos de potencia que operan en forma similar.
 - Normalmente un transformador con sus alimentadores asociados están conectados a un juego de barras y el otro transformador en servicio al otro juego.
 - En condiciones normales de operación el interruptor de amarre está abierto para que no queden conectados los transformadores en servicio en paralelo, evitando así que aumente considerablemente el valor del cortocircuito.

4.2 CONFIGURACIONES MÁS USUALES

Las configuraciones más usuales de los sistemas de distribución de energía eléctrica en plantas industriales son:

A. Sistema Radial Simple.

Este sistema tiene una sola acometida en alta, media o baja tensión y uno o varios transformadores en cascada con uno o varios tableros de distribución en diversos niveles de tensión. Este sistema es el de menor inversión inicial pero ofrece la menor continuidad de servicio. Es usado principalmente en industrias o edificios en las cuales la continuidad de servicio no es un factor importante o se tienen limitaciones de presupuesto.

B. Sistema Radial con una acometida y secundario selectivo.

Este sistema tiene una sola acometida en alta, media o baja tensión, pero con dos transformadores cuyos tableros secundarios se encuentran enlazados por interruptores de enlace normalmente abiertos. Este sistema mejora la continuidad de servicio, sin embargo adolece del problema de depender de una sola acometida. Es usado en pequeñas plantas industriales o edificios en los cuales se desea mejorar la continuidad de servicio, pero no se dispone de dos acometidas primarias

C. Sistema Radial con primario y secundario selectivo.

Este sistema tiene dos acometidas en alta, media o baja tensión, con dos transformadores cuyos tableros secundarios se encuentran enlazados por interruptores de enlace normalmente abiertos. (Figura 10a, 11b, 11c). Es usado en plantas industriales o edificios en los cuales la continuidad de servicio es un factor esencial, es alta la inversión inicial.

D. Sistema en anillo primario.

Este sistema tiene dos alimentadores primarios en media o alta tensión, con dos o más transformadores alimentados en forma de anillo. (Figura 22a, 22b). Este sistema ofrece una continuidad de servicio muy buena y su costo no es tan elevado como en el arreglo descrito en el punto C.

4.3 SIMBOLOGIA.

La simbología mas ampliamente usada es la indicada en la norma IEEE Std 315-1971 (Graphic Symbols for Electrical and Electronics Diagrams).

4.4 COMPONENTES PRINCIPALES.

- a) Equipos de medición de la compañía suministradora.
- b) Cuchillas desconectadoras de alta tensión de operación sin carga.

- c) Transformadores de corriente.
- d) Transformadores de potencial inductivo.
- e) Interruptores de potencia tipo tanque vivo.
- f) Interruptores de potencia tipo tanque muerto.
- g) Transformadores de potencia.
- h) Resistencia de puesta a tierra.
- i) Tableros de distribución Metal-Clad.
- j) Tableros de distribución Metal- Enclosed Interrupter.
- k) Tableros de distribución Station Type cubicle.
- l) Tableros Metal Enclosed Motor Control Center.
- m) Bancos de baterías.
- n) Cargadores de baterías.
- o) Sistemas de energía ininterrumpible.
- p) Inversores.
- q) Transformadores de distribución.
- r) Tableros Metal Enclosed Low Voltage Power Circuit Breaker Switchgear.
- s) Centros de control de motores en baja tensión.
- t) Bancos automáticos de capacitores.
- u) Variadores de frecuencia.
- v) Tableros de distribución Switch board.
- w) Tableros de distribución Panel board.
- x) Generadores de emergencia.
- y) Turbogeneradores de gas y de vapor.
- z) Bus de fase aislada
- aa) Interruptor de generador.
- bb) Transformador elevador.
- cc) Transformador de excitación.
- dd) Reactores limitadores de corriente.
- ee) Filtros de armónicas.

4.5 ESPACIO DE LA SUBESTACIÓN

La disponibilidad de un sitio puede ser el aspecto mas importante en el planeamiento de una nueva subestación. Cuando el espacio es limitado es necesario imponer restricciones en el diseño, lo cual puede dar como resultado una subestación con características inferiores requeridas por el sistema. Usualmente aquellas subestaciones que son simples en un diagrama y utilizan menor cantidad de interruptores ocupan la menor área. Cuando las restricciones del área son grandes, por ejemplo en zonas urbanas o en terrenos montañosos, o su costo de adecuación es excesivo, se deberá seguir un diseño de tipo encapsulado en SF₆ (hexafloruro de azufre).

Es difícil efectuar una comparación general del espacio requerido, para las diferentes configuraciones ya que para cada una de ellas se presentan diversas situaciones. Se pueden comparar, en primer lugar, los espacios requeridos por los

diferentes arreglos físicos de una misma configuración y, en segundo lugar, las áreas necesarias para las diferentes configuraciones utilizando determinada disposición física.

A manera de ejemplo en la figura 3 se muestran los índices de áreas para diferentes configuraciones con alternativas para subestaciones con seis (6) campos de conexión.

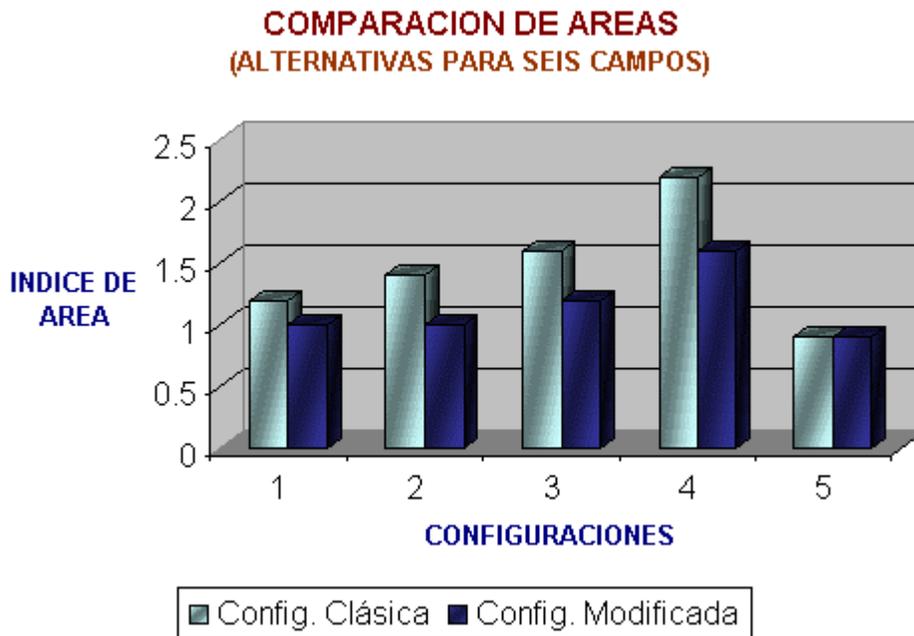


Figura (3). Comparación de Áreas

Donde:

1. Barraje simple con transferencia.
 2. Barra partida.
 3. Doble barra mas by pass.
 4. Doble barra mas barra de transferencia.
 5. Interruptor y medio.
- INDICE: 1.00 = 6.7 m².

En la figura 3 se consideran dos tipos de disposición física. La primera es la clásica con dos filas de interruptores y una salida por campo para las configuraciones de conexión de barras; para las configuraciones de conexión de interruptores también se utiliza la disposición clásica y solo se compara el interruptor y medio, ya que el anillo es técnicamente aceptable hasta (6) campos y

su área es idéntica a la del interruptor y medio. La segunda disposición física es la clásica modificada con una fila de interruptores y una salida por campo para las configuraciones de conexión de barras; para el interruptor y medio se mantuvo la disposición clásica.

Para determinar el espacio requerido para la implementación de la subestación con la configuración seleccionada (interruptor y medio), se tendrá en cuenta básicamente el número de campos que presenta la configuración. La disposición física de dos filas de interruptores y una salida por campo y la disposición física de una fila de interruptor y una salida por campo, son iguales para la configuración dada, es decir, que la subestación ocupará el mismo espacio sin importar cual sea la disposición física contemplada.

Según la figura 3 (comparación de áreas), la configuración seleccionada presentará un área aproximada de 6.1 m^2 por campo, lo cual nos da un área de 36.6 m^2 por los seis campos, si los equipos son encapsulados en SF_6 .

Por otra parte, se deben tener en cuenta el área que ocuparán los transformadores de potencia, la sala de control, vías de acceso, etc. Pero si la subestación es de tipo convencional, se tiene que el espacio requerido será por lo menos 15 veces mayor que la dada por una en SF_6 , es decir, que el área aproximada de una subestación tipo convencional será de 549 m^2 .

De lo anterior se puede concluir que el área requerida para el total de la subestación será aproximadamente de 1.100 m^2 .

4.6 DIMENSIONAMIENTO DE LA SUBESTACIÓN

El dimensionamiento de una subestación es una de las actividades principales dentro de la etapa de diseño, puesto que incide prácticamente en todas las demás actividades y por lo tanto afecta el costo global.

Los niveles de tensión determinan las necesidades de aislamiento que garantizan la operación confiable y segura para el personal y el equipo instalado en una subestación. Dicho aislamiento impone la especificación de materiales aislantes y de distancias entre los diferentes elementos de patio, de tal forma que los gradientes de tensión a los cuales están sometidos no rompan la rigidez dieléctrica del material aislante. Dicho de otro modo, los niveles de tensión y el material aislante determinan las distancias entre los diferentes elementos de patio de una subestación. A su vez, dichas distancias en conjunto con la potencia de trabajo determinan el tamaño de los equipos a utilizar.

En tal sentido, los principales factores a considerar en el dimensionamiento de una subestación son las distancias críticas fase - fase y fase - tierra que deben existir en la subestación para garantizar un nivel de aislamiento adecuado y las distancias de seguridad requeridas para las labores de revisión y mantenimiento sin peligro alguno para el personal.

4.6.1. DETERMINACION DE DISTANCIAS DIELECTRICAS EN SUBESTACIONES

Para obtener la adecuada coordinación de aislamiento en una subestación es necesario fijar las distancias a través del aire entre partes vivas de fases diferentes y entre partes vivas de fase y tierra. Para ello vamos a definir ciertos conceptos que se utilizan para comprender el problema.

- *Tensión crítica de flameo (TCF)* : Es la tensión obtenida en forma experimental que presenta una probabilidad de flameo del 50%.

En las normas se calcula el valor de TCF a partir del nivel básico de impulso, BIL, a nivel del mar ósea:

$$TCF_{normal} = \frac{BIL}{0.961} = \frac{1050kV}{0.961} = 1092.6kV$$

Como no se requieren factores de corrección, el TCF de diseño será de 1092.6kV.

- *Distancia de fase – tierra (m)* :

$$d_{minF-T} = 1.04(K_{atm})^{-x} \frac{BIL}{E_s} = 1.04(0.893)^{-0.9} \frac{1050kV}{550kV/m} = 2.2m$$

TABLA 1

Tensión nominal del sistema	Tensión máxima entre fases	Nivel de aislam. AI impulso	K . A 2.000 m s.n.m	TCF	TCF	Distancia mínima fase tierra		Distancia mínima fase tierra DIN	
				NORMA L BIL 0.961	DISEÑO TCF NORM	(cm)		VDE 0101 IEC 71	
U_N [Kv]	U_m [Kv]	BIL o BLS [Kv]	&	[Kv]	[Kv]	$K_a = 1$	$K_a = 0.893$	FF > 1.4 N[cm]	FF < 1.4 S[cm]
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
3	3.6	45	0.893	46.8	52.4	8.51	9.53	15	15
6	7.2	60	0.893	62.4	69.9	11.35	12.71	15	15
10	12	75	0.893	78	87.4	14.19	15.89	15	15
15	17.5	95	0.893	98.8	110.6	17.97	20.12	16	15
20	24	125	0.893	130	145.6	23.65	26.48	21.5	16
30	36	170	0.893	176.8	198	32.16	36.02	32.5	27
45	52	250	0.893	260	291.2	47.3	52.97	52	43
60	72.5	325	0.893	338	378.5	61.49	68.86	70	58
88	100	380	0.893	395	442.3	71.89	80.51	87	73
88-110	100-123	450	0.893	468	524.1	85.14	95.34	95	80
110-132	123-145	550	0.893	572	640.5	104.1	116.53	110	95
132-150	145-170	650	0.893	676	757	123	137.71	135	110
150	170	750	0.893	780	873.5	141.9	158.9	155	135
220	245	825	0.893	858	961	156.1	174.79	175	155
220	245	900	0.893	936	1048.2	170.3	190.68	190	170
220-275	245-300	1050	0.893	1092	1222.8	198.6	222.46	220	185
275-330	300-362	850	0.893	884	990	*223	250	245	205
330-380	362-420	950	0.893	988	1106.4	*269	301	270	240
380	420	1050	0.893	1093	1222.8	*317	355	310	290
500	525	1175	0.893	1223	1368.4	*383	429	430	410
700	765	1550	0.893	1613	1806.3	*608	681	625	

- *Distancia de fase – fase (m)* : Para los barrajes flexibles hay que tomar los desplazamientos debidos al viento o a los sismos. Para ello las distancias mínimas de diseño se pueden expresar como el producto de un factor que varia de 1.8 a 2 por la distancia mínima de fase a tierra dada de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar del lugar de la instalación, para los niveles de tensión nominal $U_N \leq 230kV$.

Para el diseño de la subestación Paez, la distancia mínima fase – fase será

$$d_{\min F-F} = d_{\min F-T} * 2 = 2.2 * 2 = 4.4m$$

- *Distancias críticas para conductores flexibles (m)*: En la determinación de la distancia dieléctrica para conductores flexibles se debe tener en cuenta, además del BIL de la subestación, la flecha máxima del conductor. La siguiente formula empírica se aplica para obtener la separación mínima que debe existir entre dichos conductores:

$$D = d + K * \sqrt{f}$$

donde:

K = 7.5 para conductores de cobre y 10 para conductores de acero-aluminio

d, es la distancia horizontal entre fase para conductores rígidos.

f, es la flecha máxima del conductor en centímetros.

Para el caso de conductores en acero – aluminio:

$$D = 244.4 + 10\sqrt{150} = 367cms = 3.67m$$

Para el caso de conductores de cobre:

$$D = 244.4 + 7.5\sqrt{150} = 336cms = 3.36m$$

4.6.2. DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Se entiende como distancia mínima de seguridad aquellos espacios que se deben conservar en las subestaciones para que el personal pueda circular y efectuar maniobras sin que exista riesgo para sus vidas. Las distancias de seguridad a través de aire están compuestas por dos términos: el primero es la distancia mínima de fase a tierra, correspondiente al nivel de aislamiento al impulso de la zona. El segundo término se suma al anterior y dependen de la talla media de los operadores.

Las distancias mínimas de seguridad se pueden expresar con las siguientes relaciones:

$$D = d + 0.9$$

$$H = d + 2.25$$

D, es la distancia horizontal en metros que se debe respetar en todas las zonas de circulación.

H, es la distancia vertical en metros que debe respetarse en todas las zonas de circulación. Nunca debe ser menor de 3 metros.

d, es la distancia mínima de fase a tierra correspondiente al BIL de la zona.

Para nuestro diseño:

$$D = 2.2 \text{ m} + 0.9 = 3.1 \text{ m}$$
$$H = 2.2 \text{ m} + 2.25 = 4.45 \text{ m}$$

La distancia mínima para vehículos será:

$$D = (d+0.7) + 0.9 = (2.2+0.7) + 0.9 = 3.8 \text{ m}$$
$$H = (d+0.7) + 2.25 = (2.2+0.7) + 2.25 = 5.15 \text{ m}$$

La distancia mínima para áreas de trabajo será:

$$D = (d+1.75) + 0.9 = (2.2+1.75) + 0.9 = 4.85 \text{ m}$$
$$H = (d+1.25) + 2.25 = (2.2 + 1.25) + 2.25 = 5.70 \text{ m}$$

4.7 DISTANCIAS DE DISEÑO

Este punto se refiere al dimensionamiento de las distancias entre partes vivas que se requieren en instalaciones convencionales (ya sea interiores e intemperie). No se tiene en cuenta las instalaciones encapsuladas o aisladas en gas. La determinación de estas dimensiones se efectúa mediante el cálculo de las distancias dieléctricas entre las partes vivas del equipo y entre estas y las estructuras, muros, rejas y el suelo, de acuerdo con el siguiente orden.

1. Distancia entre fases.
2. Distancia entre fase y tierra.
3. Distancia de seguridad.
4. Altura de los equipos sobre el nivel del suelo.
5. Altura de las barras colectoras sobre el suelo.
6. Altura de remate de las líneas de transmisión que llegan a la subestación.

Los tres primeros numerales ya han sido tratados y veremos los tres restantes.

4.7.1 ALTURA DE LOS EQUIPOS SOBRE EL NIVEL DEL SUELO

Esta altura se considera también como el primer nivel de barras (h_s).

La altura mínima h_s , de las partes vivas sobre el nivel del suelo en ningún caso debe ser inferior a 3 metros, si no se encuentran aisladas por barreras de

protección. La altura mínima de la base de los aisladores que soportan partes vivas no debe ser menor de 2.25 metros.

Prescindiendo de las tablas, la altura mínima de las partes vivas de cualquier equipo se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$h_s = 2.30 + 0.0105 \cdot U_m$$

donde U_m es la máxima tensión de diseño del equipo en cuestión.

$$h_s = 2.30 + 0.0105 \cdot 245 \text{ kV} = 4.87 \text{ m}$$

4.7.2. ALTURA DE LAS BARRAS COLECTORAS SOBRE EL NIVEL DEL SUELO

La altura de las barras sobre el nivel del suelo debe considerar la posibilidad de que al pasar una persona por debajo de las barras, esta reciba la sensación del campo eléctrico. La expresión que proporciona la altura de las barras colectoras (h_e), considerando la sensación de campo eléctrico es la siguiente:

$$h_e = 5.0 + 0.0125 \cdot U_m$$

$$h_e = 5.0 + 0.0125 \cdot 245 \text{ kV} = 8.1 \text{ m}$$

4.7.3. ALTURA DE REMATE DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Los conductores de las líneas de transmisión que llegan o salen de una subestación no deben rematar a una altura h_l inferior a 6m. Dicha altura se puede obtener de la relación:

$$h_l = 5.0 + 0.006 \cdot U_m$$

$$h_l = 5.0 + 0.006 \cdot 245 \text{ kV} = 6.5 \text{ m}$$

4.8 DISTANCIAS CRÍTICAS CONSIDERANDO EL BALANCEO DE LA CADENA DE AISLADORES

Debido a que la cadena de aisladores suspendidas verticalmente son susceptibles de movimiento, se debe considerar una separación adicional en las distancias críticas eléctricas de tal forma que se tenga en cuenta el acercamiento producido por este efecto. El cálculo de esta separación se hace de acuerdo a la siguiente expresión:

$$S = L_k * \text{sen } \varnothing$$

Donde:

S, es la separación producida por el balanceo de la cadena de aisladores, expresada en metros.

L_k , es igual a la longitud de la cadena de aisladores, expresada en metros.
 \varnothing , es el ángulo de balanceo máximo que puede llegar a ser de 10°

$$L_k = 14.6 (N-1) + K_f$$

Donde:

$$N = 1.15(D_f/d_f)$$

$$D_f = K_f (U_m * K_d)$$

$$D_f = 20\text{mm/kV} * (230\text{kV} * 1.0) = 4600\text{mm} = 4.6\text{m}$$

$$N = 1.15 * (4600\text{mm}/292\text{mm}) = 18.2 \square 18 \text{ aisladores por cadena}$$

$$L_k = 14.6 (18-1) + 20 = 2682\text{mm} = 2.682\text{m}$$

$$S = L_k * \text{sen } \varnothing = 2.682 * \text{sen } 10^\circ = 0.466\text{m}$$

4.9 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE CAMPO DE LAS SUBESTACIONES

4.9.1. INTERRUPTORES Y SECCIONADORES

En las tablas 2 y 3 se presentan las dimensiones más importantes de interruptores y seccionadores tipo exterior, tomadas de catálogos de fabricantes. Dichas dimensiones son susceptibles de variación en la medida en que se presentan los avances tecnológicos, tanto de los principios de operación como de los materiales aislantes.

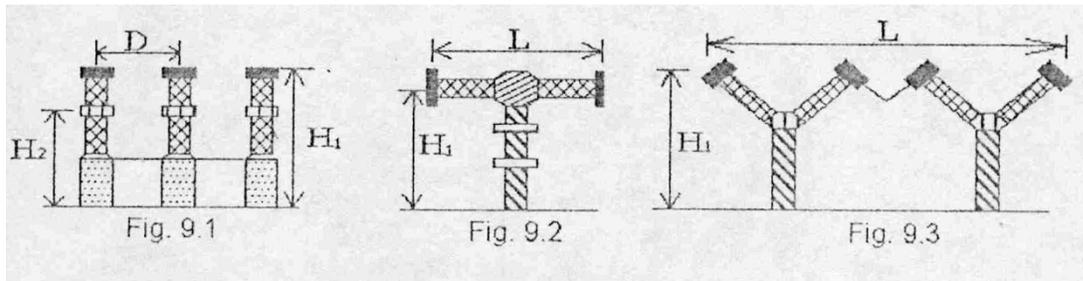


TABLA 2 DIMENSIONES CRÍTICAS DE INTERRUPTORES 220-115 KV

TENSION NOMINAL [KV]	CORRIENTE NOMINAL [AMP]	DIMENSIONES [mm]				MARCA	TIPO	DIELEC/FIGURA
		H1	H2	D	L			
245	3150	7090	-	-	3120	NISSIN	FA2-N	SF6/9.2
245	1600	6300	-	-	1903	WESTINHOUSE	LWE	SF6/9.2
245	2000	5300	-	-	3030	SIEMENS	3AS2	SF6/9.2
245	4000	4000	-	-	3200	GEC	FE2	SF6/9.2
245	1250-3150	4200	-	-	3500	SPRECHER	HGF114/2C	SF6/9.2
245	1250-2500	4615	-	-	3680	SPRECHER	HPF514/4F	OIL/9.3
145	1200	5190	3755	-	-	NISSIN	FA1-NS	SF6/9.1
121	1200	4740	3410	1800	-	WESTINHOUSE	LWE	SF6/9.1
145	2500	5475	3904	1900	-	GEC	FG1	SF6/9.1
123	1250-3150	3840	-	1600	-	SPRECHER	HGF111/1C	SF6/9.1
123	2500	5740	4595	2500	-	ASEA	HLR/2501E	OIL/9.1

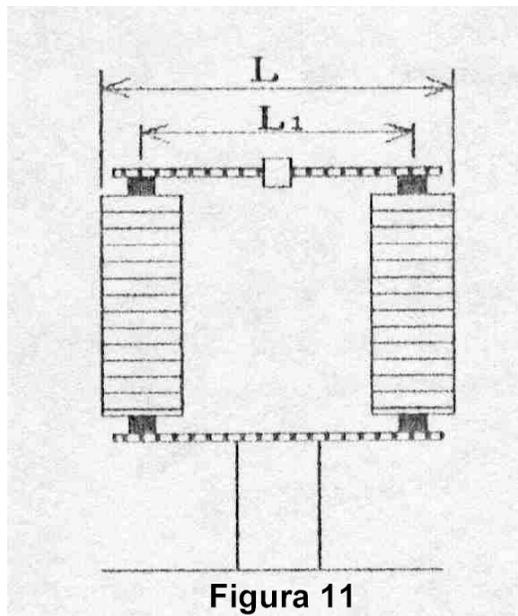


TABLA 3. DIMENSIONES CRÍTICAS DE SECCIONADORES 220-115 KV

TENSION NOMINAL [KV]	CORRIENTE NOMINAL [AMP]	DIMENSIONES [mm]		FABRICANTE - TIPO
		L	L1	
245	1600-2500	3300	2960	SPRECHER+SHUH - (TSF 314A)
245	1600-2500	3300	2900	ASEA - (NSA/245/1600C)
145	1250	2000	1700	ASEA - (NSA/145/1250B)
123	1250	-	1692	SPRECHER+SHUH - (TSF 311)
115	1200	1890	1530	HUBBELL - (PMK 22)
115	1200	1950	1600	MARINI-DAMINELLI - (RTW)
123	1250-2000	2040	1700	MAGRINI-GALILEO - (SB 123)
245	1250-2000	3240	2900	MAGRINI-GALILEO - (SB 245)
245	1600	2670	2500	MERLIN GERIN - (DR)
123	2000	1610	1450	MERLIN GERIN - (DR)
121	1200	1828	1626	SIEMENS-ALLINS - (CCB)
242	1600	2743	2540	SIEMENS-ALLINS - (CCB)

En la tabla 4 se resumen los datos utilizados en dimensionamiento de subestaciones y para el efecto se tomarán los valores máximos dados por los fabricantes de subestaciones de 220kV y 115kV.

TABLA 4

MEDIDA	Tensión Nominal	
	220 KV	115 KV
DISTANCIAS CRITICAS DE SEGURIDAD (mm)		
Fase-Fase (d F-F)	2444	1366
Fase-Tierra (d F-T)	1955	1093
Distancias entre dos sistemas de conductores rígidos (d B-B)	3045	1800
Altura del suelo a partes bajo tensión	4500	3400
DIMENSIONES APROXIMADAS DEL SECCIONADOR (mm)		
Entre bornes (L1)	2540	1700
Longitud total (L)	2743	2000
DIMENSIONES APROXIMADAS DEL INTERRUPTOR (mm)		
largo	3680	Una sólo cámara
ANCHO DE LAS COLUMNAS (mm)		
Ac	1400	1000

4.9.2. DETERMINACION DEL ANCHO DE CAMPO DE LAS SUBESTACIONES

El ancho de campo de una subestación es la distancia entre los ejes de las columnas que forman el pórtico de entrada de línea y esta determinado por la configuración, las dimensiones de los equipos y los tipos de barraje utilizados.

Seccionadores Centrados con respecto al eje de los pórticos: Esta ubicación corresponde a los seccionadores de línea, y se calculan el ancho de la subestación de la siguiente manera:

$$L_1 = 2540\text{mm}$$

$$L_1/2 = 1270\text{mm}$$

$$d_{F-F} = 2444\text{mm}$$

$$d_{F-T} = 1955\text{mm}$$

$$Ac = 1400\text{mm}$$

Distancias entre seccionadores:

$$d_{ss} = L_1/2 + d_{F-F} = 1270 + 2444 = 3714\text{mm @ } 4000\text{mm}$$

Distancia entre columna y seccionador de fase exterior :

$$d_{c-s} = d_{c-e} = L_1/2 + X + Ac/2 = 1270 + 1870 + 700 = 3840\text{mm @ } 4000\text{mm}$$

$$d_{c-s} = d_{c-e} = \text{Distancia entre columna y seccionador de fase exterior.}$$

4.9.3. DETERMINACION DE LA ALTURA DEL CAMPO

La altura de los pórticos de un campo esta determinada principalmente por el tipo de conductores que se utilicen, así como el numero de niveles de conexión que requiere la configuración de la subestación.

El primer nivel de conexión que se encuentra en una subestación esta conformado por la conexión entre equipos cuya altura se determina por las distancias de seguridad descritas anteriormente.

Así, la altura mínima para la conexión de equipos será:

Nivel de Tensión 220kV

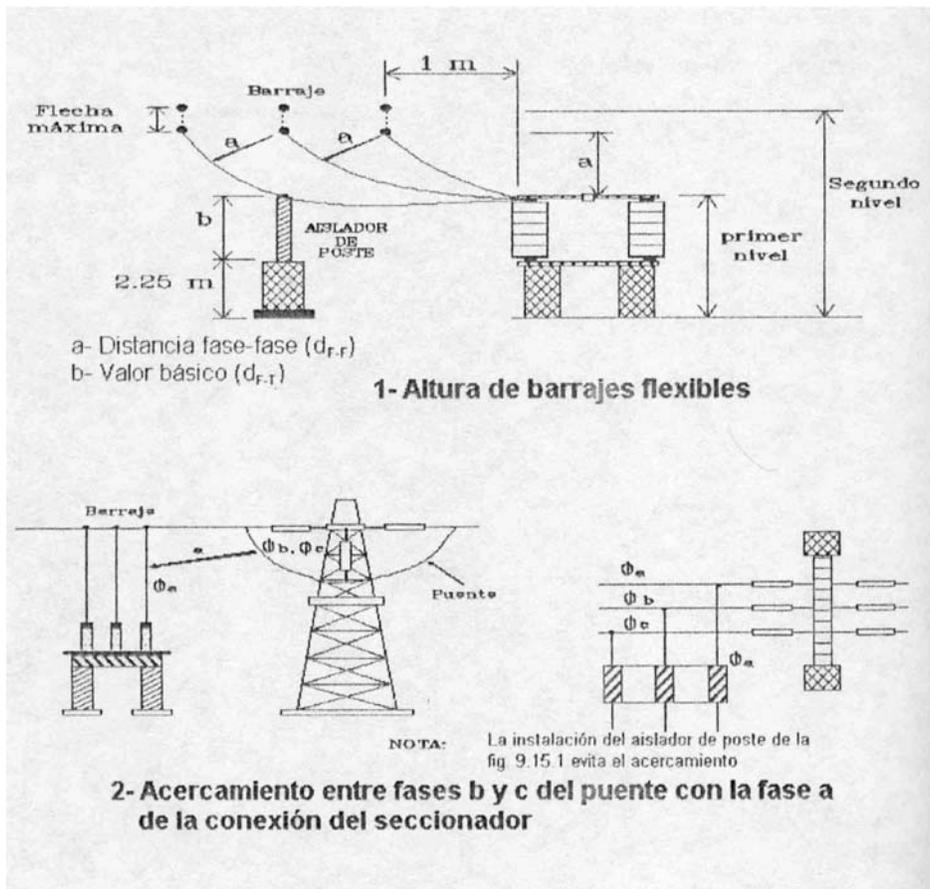
Tensión Máxima (U_m) 245kV

$$h_s = d_{F-T} + 2.25 \text{ 4.2m}$$

$$h_s = 2.30 + 0.0105 * U_m \text{ 4.87m}$$

Altura del Interruptor Seleccionado (H_1) 4.9m

El segundo nivel de conexión generalmente esta conformado por los barrajes, cuya altura debe estar sobre el nivel del equipo en una distancia por lo menos igual a la distancia mínima fase – fase, cable – cable, siendo la aplicación mas simple cuando se utilizan barrajes y conexiones a equipos rígidos. Cuando se tienen conductores flexibles es necesario tener en cuenta la flecha de los barrajes, la conexión de los seccionadores de campo a la fase mas apartada del barraje y el acercamiento de estas conexiones a los puentes bajo las estructuras de soporte de barras (en algunos casos se recomienda instalar un aislador de poste en la conexión de seccionador a la fase del barraje mas alejado para evitar estos acercamientos).



Para calcular las alturas del segundo nivel podemos utilizar nuevamente las expresiones conocidas:

Nivel de Tensión 220kV
 Tensión Máxima (U_m) 245kV
 $H_{s2} = d_{F-T} + 2.25 + H_s 9.59 @ 10.0m$
 $H_{s2} = 5.00 + 0.0125 * U_m 8.06m$
 Altura de Barras 10m

El tercer nivel de conexiones generalmente esta conformado por templates superiores, cuya altura debe ser superior a la de los barrajes en por lo menos la distancia mínima fase – fase, cable – cable, mas la flecha máxima de la template.

Nivel de Tensión 220kV
 Tensión Máxima (U_m) 245kV
 $H_{s3} = H_{s2} + d_{F-F} + Y_o 13.9 @ 14.0m$
 $H_{s3} = H_{s2} + d_{F-F} + Y_o + 2.25 16.15 @ 17m$

4.9.4. DETERMINACION DE LA LONGITUD DEL CAMPO

La longitud de campo esta determinada por la configuración de la subestación y por las distancias entre los diferentes equipos. Dicha longitud no se determina por las distancias mínimas o de seguridad, sino mas bien por razones de mantenimiento, montaje y estética. Para el montaje y mantenimiento se recomienda que los terminales de los equipos sean accesibles por el personal desde cualquier punto. Se considera como una distancia aceptable entre los terminales de equipo 1.5m. Partiendo de esta base y considerando las dimensiones de los diferentes equipos, se puede determinar la distancia entre equipos de un mismo campo. Cuando se tienen equipos de aspecto exterior similar, por ejemplo transformadores de instrumentación y pararrayos, pero de dimensiones ligeramente distintas, es posible por razones estéticas adoptar distancias iguales entre estos equipos.

Tabla 5.

EQUIPOS (Entre ..)	DISTANCIAS MINIMA [mm]				
	14.5 KV	36 Kv	123 kV	245 kV	550 Kv
Transformador de instrumentación y seleccionador			3.00	4.00	6.00
Interruptor y seccionador			3.00	4.5 - 5.5	7.0-8.0
Interruptor y seccionador con vía de circulación			7.50	8.0-9.5	36874.00
Interruptor y transformador e instrumentación			2.00	3.5-4.5	6.50
Interruptor y trafo. De instrumentación con vía de circulación			6.50	6.50	36811.00
seccionador y seccionador			3.50	6.00	7.0-8.0
seccionador pantografo y seccionador pantógrafo			3.00	4.50	6.50
Seccionador pantógrafo y trafo. De instrumentación.			2.50	3.50	5.50
Interruptor y seccionador pantógrafo			3.00	5.00	10.00
Interruptor y seccionador pantógrafo con vía de circ.			7.00	7.5-9.0	36843.00
Seccionador y seccionador pantógrafo			3.50	4.50	7.00
Transformadores de instrumentación			2.00	3.00	4.0-5.0
Parrayor y transformador de instrumentación			2.00	3.00	5.00

4.9.5. APANTALLAMIENTO O BLINDAJE DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

En nuestro estudio de coordinación de aislamiento incluimos la descripción de las sobretensiones que pueden afectar al sistema de potencia. Ellas son:

- Descargas atmosféricas (Sobretensiones atmosféricas)
- Maniobra de conexión y desconexión de sistema (Sobretensiones por maniobra)
- Perturbaciones ocurridas durante la operación normal (Sobretensiones a frecuencia industrial)

El objetivo del pararrayos es el de atrapar las ondas entrantes producidas por una descarga atmosférica o por una operación de switcheo, transmitidas por los conductores y enviarlas a tierra para impedir que dañen el aislamiento de los equipos. Pero el pararrayos no protege el equipo de una descarga directa. El objetivo del blindaje es proporcionar la protección adecuada a los equipos contra las descargas directas creando un nivel de potencial cero por encima de estos (lo mismo aplica para líneas de transmisión).

Cable de Guarda: Son cables desnudos ubicados sobre el equipo a proteger y conectados a tierra a través de los pórticos de la subestación, formando una red que actúa como blindaje para proteger las partes vivas de la subestación de las descargas atmosféricas directas, reduciendo la probabilidad de la caída de un rayo sobre los conductores de fase. La red de cables de guarda actúa como contraparte del sistema de tierra.

Las características más importantes de los cables de guarda son:

- Protegen a lo largo de todo el cable.
- Su costo es bajo: son conductores livianos con tensiones de temple bajas, por lo que no requieren estructuras muy fuertes.
- Aprovechan los pórticos como estructuras de soporte y sólo requieren de un castillete adicional.
- Las estructuras para temple se pueden ubicar relativamente alejadas unas de otras (60m o más).
- La corriente del rayo se divide en dos direcciones con lo cual la corriente que debe disipar cada estructura se reduce aproximadamente a la mitad.
- La impedancia característica presentada al rayo es notablemente inferior (cerca de la mitad de la que presentaría una sola estructura), reduciendo así la inductancia de la estructura y, en consecuencia, el riesgo de flameo inverso en los dos aisladores en suspensión, fenómeno que se puede producir cuando hay descargas repetidas a través del mismo canal ionizado por el rayo.

- La presentación de los cables de guarda no contrasta con las líneas por lo que no desmejora la estética de la subestación.
- Para proteger áreas pequeñas y aisladas de la subestación, el cable de guarda puede no resultar mas económico que las puntas.
- Mejora las condiciones de la malla a tierra al disipar parte de la corriente de secuencia cero en casos de cortocircuito a tierra.

4.10 CALCULOS Y ESTUDIOS REQUERIDOS.

Como mínimo se requieren los siguientes estudios:

A. Estudio de flujo de cargas.

El estudio de flujo de cargas se realiza para simular mediante un programa de software el flujo esperado de las potencias Activa, Reactiva y Aparente en el sistema de distribución de energía eléctrica. Dicho flujo de potencias suministradas por el sistema depende de la potencia consumida por las cargas alimentadas por el sistema, la impedancia de alimentadores y transformadores y la capacidad de estos últimos.

Los objetivos principales de realizar un estudio de flujo de cargas son los siguientes:

- a) Determinar el flujo de potencia activa en Kilowatts dentro del sistema.
- b) Determinar el flujo de potencia reactiva en KVAR dentro del sistema.
- c) Determinar el flujo de potencia aparente en KVA dentro del sistema.
- d) Determinar el factor de potencia por bus y general de la planta.
- e) Determinar la capacidad nominal de los transformadores de potencia y distribución
- f) Determinar la capacidad nominal de las barras en los tableros de distribución.
- g) Determinar la potencia nominal de generadores.
- h) Determinar la posición óptima de los cambiadores de derivaciones de operación sin carga en los transformadores.
- i) Determinar las corrientes nominales en todos los alimentadores como base para el cálculo del calibre de los mismos.
- j) Determinar la potencia reactiva existente en el sistema como base para el cálculo de la capacidad en KVAR de los bancos de capacitores para mejorar el factor de potencia.
- k) Niveles del voltaje en operación en los diferentes buses del sistema en condiciones de estado fijo.
- l) Determinar las pérdidas en potencia activa y reactiva en los cables y líneas del sistema.

B. Estudio de caída de tensión al arranque de motores.

El estudio de caída de tensión al arranque de motores se realiza para simular mediante un programa de software el flujo esperado de las potencias activa, reactiva y aparente en el sistema de distribución de energía eléctrica y el voltaje de operación disponible tanto en los buses del sistema antes y durante el momento del arranque del motor, así como también en las terminales del motor bajo análisis.

Dicho flujo de potencias y la caída de tensión depende de la potencia de la carga en operación en el sistema, la potencia del motor bajo análisis, el método de arranque del motor denominados a tensión plena o a tensión reducida, si es por medio de vaciador de velocidad, la potencia de cortocircuito mínima del sistema de alimentación a la planta y por último la impedancia de alimentadores, transformadores y la capacidad de estos últimos.

Los objetivos principales de realizar un estudio de caída de tensión al arranque de motores son los siguientes:

- a. Determinar los voltajes de operación en los buses del sistema instantes antes del arranque del motor.
- b. Determinar el voltaje de operación en los buses del sistema en el momento del arranque del motor.
- c. Determinar si el voltaje disponible en los buses será el adecuado para el correcto funcionamiento de las demás cargas y motores conectados al bus de alimentación del motor, o bien a buses que se encuentren “aguas abajo” respecto al bus de alimentación del motor.
- d. Definir si el motor bajo análisis se puede arrancar desde el sistema por medio de un arrancador a tensión plena o bien si es necesaria la utilización de un arrancador a tensión reducida o cualquier tipo de arrancador que reduzca la corriente de arranque del motor y por lo tanto la caída de tensión durante el arranque.
- e. Definir en caso de ser necesario la optima posición del cambiador de derivaciones sin carga que se encuentra en el primario del transformador que alimenta al bus de alimentación del motor.
- f. Determinar si la capacidad en KVA estimada en forma preliminar de los transformadores es adecuada para alimentar el motor bajo análisis sin causar disturbios mayores en el sistema.
- g. Determinar si la capacidad en KVA estimada en forma preliminar de los generadores es adecuada para alimentar el motor bajo análisis sin causar mayores disturbios en el sistema.

C. Estudio de cortocircuito.

El cálculo de cortocircuito de corriente alterna basado en los métodos de ANSI/IEEE, considera una fuente de voltaje equivalente en el punto de falla, la cual es igual al voltaje de prefalla en tal localización, reemplaza todas las fuentes externas de voltaje y las fuentes de voltaje internas de las maquinas.

Todas las maquinas se representan por su impedancia interna. La capacitancia de las líneas y las cargas estáticas no se consideran dentro del cálculo. Los taps de los transformadores se pueden ajustar ya sea en la posición nominal o en una cierta derivación, y se tienen disponibles diferentes esquemas para corregir la impedancia del transformador y el voltaje del sistema si se selecciona una posición del tap diferente a la nominal. Se considera que las fallas son del tipo sólido, por lo tanto no toma en cuenta la resistencia del arco. Se supone que la impedancia corresponde a sistema trifásico balanceado, y el método de las componentes simétricas se utiliza para el análisis de cálculo de fallas desbalanceadas.

Los estándares ANSI/IEEE recomiendan el uso de redes separadas para la resistencia y la reactancia de tal manera que se calculen los valores X/R en cada punto de falla. Una relación X/R se obtiene para cada bus individual en falla y su respectivo valor de cortocircuito. También esta relación X/R se usa para determinar el factor de multiplicación para tomar en cuenta la componente decreciente de corriente directa.

El software desarrolla basándose en ANSI/IEEE tres redes de cálculo. Dichas redes son: La red de medio ciclo, la red de 1.5 a 4 ciclos y la red de 30 ciclos. Por lo tanto, se emiten diagramas y reportes correspondientes a cada red de falla.

Con los valores obtenidos de cada red se definen las capacidades momentáneas e interruptivas de los dispositivos de protección contra sobrecorriente, del mismo modo los valores obtenidos de falla se usan para definir los ajustes de los relevadores de sobrecorriente, el ajuste de las unidades de disparo de estado sólido en los interruptores electromagnéticos, la curva de operación adecuada de fusibles de potencia en media y baja tensión y el ajuste de las unidades magnéticas de los interruptores termo magnéticos ajustables. Todo lo anterior a través del estudio de coordinación de protecciones

D. Estudio de coordinación de protecciones.

Tres son los objetivos fundamentales de la coordinación de dispositivos por sobrecorriente que se tienen en mente cuando se seleccionan y ajustan dispositivos de protección.

El primer objetivo es proteger la vida y evitar daños a las personas que operan los equipos eléctricos. Los requisitos para cumplir lo anterior se cumplen si los dispositivos de protección son dimensionados para conducir e interrumpir las corrientes de carga máximas disponibles, así como también, soportar e interrumpir las corrientes de falla máximas disponibles. Estos requerimientos son esenciales.

El segundo objetivo es la protección del equipo. Los requisitos de protección se cumplen si los dispositivos de sobrecorriente se ajustan arriba de los niveles de corrientes de operación y debajo de las curvas de daño de los equipos. Las curvas de daño de alimentadores y transformadores son definidas en los estándares aplicables, las curvas de daño de motores y generadores son específicas de las máquinas y son normalmente proporcionadas por el vendedor de los equipos. Basado en la operación del sistema y las prácticas para el dimensionamiento de los equipos la protección adecuada de los mismos no siempre es posible.

El último objetivo es la selectividad. Los requisitos de selectividad se cumplen si en respuesta a una falla o sobrecarga en el sistema, solamente una zona mínima del sistema de distribución es sacada de servicio. De nuevo, basado en la operación del sistema y las prácticas de selección de equipo la selectividad no siempre es posible.

El estudio de coordinación de protecciones es un análisis en tiempo-corriente de las curvas características de operación de los dispositivos de protección localizados desde el punto de utilización de la energía (carga) hasta el punto de suministro (fuente), comparando el tiempo que tardan en operar cada uno de los dispositivos cuando circulan corrientes de falla, con lo que se determina la selectividad entre los disparos de cada dispositivo.

4.11. CALCULOS Y ESTUDIOS NO USUALES EN PLANTAS INDUSTRIALES.

Los siguientes estudios ocasionalmente se realizan en los sistemas eléctricos industriales.

A. Estudio de flujo de armónicas.

Este estudio se requiere cuando el sistema de distribución alimenta una gran cantidad de cargas no lineales (Variadores de velocidad, rectificadores, inversores, sistemas de energía ininterrumpible, sistemas de cómputo, servidores, impresoras,

entre otros) en donde la carga en operación de carga no lineal es de 15% o más de la capacidad de la fuente y su objetivo son los siguientes:

El estudio de flujo de cargas armónicas determina primeramente el comportamiento del flujo de cargas a la frecuencia fundamental (60Hz). Estos resultados son ajustados al voltaje base fundamental del bus y a las corrientes de los ramales, los cuales son utilizados después para calcular los diferentes índices de armónicas. Posteriormente, para cada frecuencia armónica y por cada fuente de armónicas existente en el sistema, se encuentra una solución directa de flujo de cargas utilizando el método de inyección de corriente.

Todas las frecuencias armónicas consideradas son del orden de la 2a a la 15a, más las armónicas características de la 17a a la 73a. Las impedancias de los componentes son ajustadas basadas en la frecuencia armónica y los tipos de componentes. Para las frecuencias armónicas 3a, 9a, etc, la impedancia de secuencia cero es ajustada a la frecuencia actual y a la secuencia cero del sistema utilizado.

Con el estudio de flujo de cargas armónicas, se encuentran las componentes armónicas para los voltajes en los buses y las corrientes en los ramales y en consecuencia se calculan los índices de armónicas correspondientes. Los índices THD e IHD de cada bus, son comparados con los límites especificados, los cuales son mostrados en el reporte del software.

B. Estudio de mejoramiento del factor de potencia.

Este estudio determina el factor de potencia inicial del sistema, determina el valor del banco de capacitores para elevarlo a un valor deseado y determina cual es la localización óptima del banco en el sistema de distribución.

C. Estudio de Arc Flash.

Siempre que ocurre una falla de cortocircuito ya sea entre trifásica, monofásica, balanceada o desbalanceada ocurre un arco eléctrico o flasheo, que es muy destructivo y representa un peligro para el personal que trabaja en los equipos eléctricos.

A continuación se describen los conceptos principales que es necesario entender con respecto a los daños producidos por los arcos eléctricos.

Corriente de Falla por arqueo.

Una falla de arqueo resulta en un flujo de corriente a través del aire entre conductores de fase o entre conductores de fase y el neutro o la tierra. Una falla de arqueo puede liberar cantidades enormes de energía radiante concentrada en un punto y en un tiempo de una fracción de segundo, que generan altas temperaturas, sobrepresiones debido a los gases generados y una potente expansión de los mismos a una velocidades tan altas como 700 millas por hora.

Causas de las corrientes de falla por arqueo.

Una falla de arqueo ocurre cuando fluye corriente eléctrica entre dos o más superficies conductoras separadas y que se encuentran energizadas. Algunas fallas por arqueo son causadas por errores humanos incluyendo entre otros, por ejemplo la caída de herramienta, contactos accidentales con sistemas eléctricos, y procedimientos inadecuados para efectuar el trabajo. Otra causa común productora de fallas por arqueo es la falla de aislamiento. El efecto magnético de la corriente de falla causa que los conductores se separen produciendo un arco, y el polvo, las impurezas y la corrosión sobre las superficies generalmente ofrece una trayectoria para la corriente de falla. También es causa de falla por arqueo los roedores, pájaros que destruyen los aislamientos.

Riesgos que exponen al personal a una falla por arqueo.

La exposición del personal a una falla por arqueo depende de lo siguiente:

- a. El número de veces que los trabajadores realizan un trabajo que implica partes vivas expuestas.
- b. La complejidad del trabajo realizado, la necesidad del uso de la fuerza, el espacio disponible, el margen de seguridad, etc.
- c. El entrenamiento, la agilidad física y mental del trabajador, coordinación entre los trabajadores para efectuar el trabajo.
- d. Las herramientas utilizadas.
- e. El estado en que se encuentre el equipo de trabajo y protección.

Daños posibles en personal y equipo eléctrico expuesto a fallas por arqueo.

La exposición a una falla de arqueo resulta muy a menudo en una variedad de lesiones serias y en algunos casos la muerte de la persona. Se ha documentado casos de trabajadores que han sido lesionados aun cuando se encuentran a una distancia de 3 metros o más del centro del arco. Las lesiones en los trabajadores incluyen daños auditivos, en los ojos y quemaduras severas que requieren de varios para la rehabilitación de la piel.

El equipo eléctrico de distribución puede destruirse causando una gran pérdida económica por su costo inherente y además por los tiempos muertos en la pérdida de la producción. El costo del tratamiento del trabajador lesionado es muy alto, así como también la reparación o reemplazo del equipo eléctrico, además se generan problemas de litigación, seguros, investigación del accidente, etc.

Magnitud de las fallas de arqueo

La magnitud de la energía liberada por una falla de arqueo varía considerablemente, por lo tanto se debe desarrollar un estudio para determinar la intensidad de la energía calorífica liberada y que se expresa comúnmente en calorías, conociendo estos niveles se puede determinar el adecuado nivel PPE.

E. Otros Estudios que normalmente no son usuales en el diseño de sistemas eléctricos de potencia para plantas industriales.

Los siguientes estudios se realizan exclusivamente para subestaciones convencionales aisladas en aire y en plantas de energía.

1. Coordinación de aislamiento.

Este estudio se realiza para coordinar el nivel de aislamiento de los diferentes equipos de la subestación (principalmente los transformadores de potencia o elevadores) con el nivel de protección de los apartarayos.

F. Estabilidad de sistema de potencia

Este proyecto trata sobre diversos aspectos del diseño electromecánico de una subestación de generación eléctrica de 400 kV para la conexión de una Central Térmica de Ciclo Combinado (C.T.C.C.) de 800 MW a la red de transporte, de titularidad de Red Eléctrica de España S.A. (por lo que estará sujeta a las especificaciones y requisitos mínimos exigidos por REE).

El objetivo es analizar las bases de cálculo y diseño para validar y contrastar procedimientos y especificaciones simplificados, que en muchos proyectos de detalle se asumen de forma tipificada o rutinaria. Se ha escogido este tipo de subestación como objeto del estudio debido tanto al gran impacto que sobre el desarrollo de la red de transporte española han tenido las centrales de ciclo combinado en los últimos años, como a las posibilidades que ofrece para estudiar problemas nuevos en nuestro sistema eléctrico (como los derivados de potencias de cortocircuito muy elevadas).

Los resultados de los estudios realizados por REE en el punto de la red de transporte donde se podría ubicar la subestación han llevado a adoptar para las instalaciones una intensidad nominal de corta duración de 63 kA, valor superior al

habitual en España para esta tensión, pero con algunos precedentes. Por ello, resulta también muy interesante analizar en detalle el comportamiento dinámico de los diversos componentes y las condiciones de puesta a tierra.

Las partes principales del diseño electromecánico de una subestación, las cuales se han estudiado en este proyecto en su totalidad (además de un estudio en coordinación de aislamiento), se enumeran a continuación, para luego explicar brevemente en qué consiste cada una y algunas conclusiones obtenidas:

1. Configuración de la subestación.
2. Coordinación de aislamiento (distancias, mantenimiento en tensión, seguridad contra sobretensiones,...).
3. Revisión de la fiabilidad de las distancias y de su relación con los niveles de aislamiento mediante dos modelos de comportamiento eléctrico y comparación con la normativa.
4. Selección y cálculo de embarrados.
5. Instalación de puesta a tierra.
6. Selección de aparamenta.

En dicha subestación, se adoptará una configuración de anillo con tres posiciones de generación y dos posiciones de línea para conexión con el sistema de transporte. El esquema de anillo se ha elegido por ser un esquema seguro y flexible que normalmente se considera adecuado para subestaciones importantes hasta un máximo de cinco circuitos.

Se han mencionado las posibilidades de distancias en aire que se deben guardar entre las diversas partes de la instalación, con el objeto de satisfacer tanto los requerimientos impuestos por los niveles de aislamiento previamente seleccionados como por consideraciones de seguridad y accesibilidad a las instalaciones, especialmente para las operaciones requeridas de operación y mantenimiento (distancias de seguridad). Se han definido criterios de mantenibilidad para los escenarios de posibles trabajos de mantenimiento, diferenciando entre "trabajos en tensión" y "trabajos en proximidad de tensión" de acuerdo con distintos criterios de normalización y de obligado cumplimiento.

Asimismo, se ha realizado un estudio de coordinación de aislamiento con el fin de analizar la conveniencia de instalar pararrayos de óxidos metálicos a la entrada de la subestación, considerándose necesarios incluso para el caso más favorable. Así como un estudio de apantallamiento ante descargas atmosféricas, observándose la necesidad de la instalación de una columna adicional a las de los pórticos de embarrados, con la única misión de completar la instalación de apantallamiento y así minimizar la probabilidad de descargas sobre las partes en tensión que superen las tensiones críticas disruptivas.

Para evaluar las probabilidades de fallo asociadas a la fiabilidad de las distancias expuestas en el RCE (Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y

Centros de Transformación), y revisar su relación con los niveles de aislamiento seleccionados de acuerdo con las normativas, se ha realizado un estudio usando dos modelos de comportamiento eléctrico para su revisión: el propuesto en ASINEL en su “Guía para la coordinación de aislamiento en las líneas de alta tensión” y el expuesto en la norma CEI 60071-2.

Otro punto importante en el diseño electromecánico de una subestación eléctrica es la selección de los conductores empleados. La elección de los conductores, rígidos o flexibles, se ha hecho en función del peso, conductividad, precio, resistencia a la corrosión, esfuerzos electromecánicos (cálculo expuesto en la norma CEI 865) y efecto corona, encontrándose como óptimos el aluminio para conductores tubulares rígidos, y aluminio con alma de acero dúplex para conductores flexibles, cumpliendo con la intensidad nominal elegida previamente.

El cálculo de la instalación de puesta a tierra constituye otro apartado fundamental del diseño de una subestación. Para el sistema de Puesta a Tierra, teniendo en cuenta las instalaciones de puesta a tierra de la central de Ciclo Combinado, y analizando los resultados de acuerdo con la norma ANSI-IEEE 80, se ha elegido como configuración óptima la de una malla enterrada a un metro de profundidad, distancia óptima para minimizar las tensiones de paso y contacto.

Para comprobar que los potenciales de paso y contacto no son peligrosos es necesario disponer de los flujos de cortocircuito y la intensidad de defecto, datos aportados también por los estudios preliminares de red expuestos en el Anexo A.

Una vez obtenido el valor de la intensidad de defecto de acuerdo a diversas simplificaciones es posible usar el programa CDEGS para obtener la distribución de potenciales de paso y contacto.

Para finalizar, se ha dedicado un apartado de este proyecto a la elección de la aparamenta de la subestación, ya que su coste supone aproximadamente un 40% del total de la instalación. Estos aparatos deben cumplir con los requisitos mínimos exigidos por REE, ya explicados anteriormente.

En todos los apartados importantes del diseño electromecánico de una subestación que se han tenido en cuenta en este proyecto se han obtenido resultados finales similares a los de otros proyectos en los que se toman valores de forma tipificada.

Se puede concluir que, optimizando el diseño electromecánico de la subestación según criterios económicos, de fiabilidad y de seguridad, cumpliendo con la normativa vigente, se ha comprobado que los métodos simplificados que se usan habitualmente llegan a resultados similares a los obtenidos en este proyecto. Se puede decir que el uso de la experiencia y de métodos simplificados es tan válido como el procedimiento completo, más laborioso y no significativamente más exacto.

4.12 QUE ES UN DIAGRAMA UNIFILAR?

Un diagrama unifilar representa la visión mas general de la configuración de un sistema eléctrico, dentro de su contenido se muestran: Equipos principales y sus características nominales, niveles de tensión, alimentadores principales, interlocks eléctricos y mecánicos, circuitos de control, protección, alarmas, señalización y comunicación.

Un sistema de distribución de energía eléctrica debe de cumplir con todas las siguientes características:

- a. **Capacidad de crecimiento.** Ningún sistema eléctrico permanece sin cambios en el tiempo, todos son susceptibles de aumentar su carga, por lo tanto los equipos principales deben tener capacidad de reserva para soportar incrementos futuros de carga. La capacidad nominal de corriente en buses también debe soportar incrementos futuros, los cuartos de las subestaciones deben tener espacio disponible para equipos futuros y también las capacidades momentáneas e interruptivas de dispositivos de protección deben considerar futuros aumentos de la potencia de cortocircuito disponible.
- b. **Continuidad de servicio.** La continuidad de servicio requerida por el cliente es un factor fundamental en la configuración del sistema eléctrico. La continuidad de servicio adicionalmente se logra mediante una adecuada selección de las características nominales de los equipos tanto de voltaje, características dieléctricas, transitorios de tensión, niveles de aislamiento, corriente normal de operación, de tiempo corto y corrientes transitorias de cortocircuito, así como una coordinación de protecciones de operación selectiva.
- c. **Confiabilidad.** El sistema debe brindar seguridad para la planta misma a la cual alimenta y también para el personal de operación y mantenimiento, lo cual se logra mediante las mismas
- d. **Costo adecuado.** El costo del sistema debe considerar la inversión inicial y el costo de operación en el tiempo de vida de los equipos, de tal manera que ambos estén en las posibilidades presupuestarias del cliente.

4.13 DIAGRAMA UNIFILAR Y ARREGLO DE EQUIPO

El punto de partida del proyecto físico de una subestación es el establecimiento del diagrama unifilar. El diagrama unifilar es el resultado de vaciar los arreglos físicos en alta y baja tensión de forma monopolar y considerando todo el equipo mayor que interviene en una subestación.

A cada sección del diagrama unifilar se le denomina modulo, se observan tres módulos en la zona alta tensión y seis módulos en la zona de baja tensión.

Cada modulo tiene tres interruptores, de los cuales cada uno cuenta con dos juegos de TC's y dos juegos de cuchillas.

Entre los dos interruptores exteriores y el central, se conectan normalmente a la llegada de una línea y a la salida de un banco de transformadores, aunque se pueden tener dos líneas, dos bancos o una línea y un banco. Los transformadores de corriente se utilizan para obtener señales de protección y medición mientras que las cuchillas en ambos lados del interruptor permiten a este aislarse del sistema para recibir el mantenimiento adecuado.

En la operación normal del interruptor y medio, los tres interruptores de cada modulo deben estar cerrados. Cada juego de barras tiene su propia protección diferencial y en caso de una falla en alguna de las barras se desconecta el juego de barras afectado, al abrirse automáticamente todos los interruptores correspondientes a ese juego de barras, sin ocasionar la pérdida de ninguna línea ni de los bancos.

A partir del diagrama unifilar se obtiene la primera parte de la lista de material, la del equipo mayor que se entrega a la sección de ingeniería que se encarga de elaborar las especificaciones del equipo y solicitar su compra.

Los transformadores e interruptores se solicitan con anticipación de un año a su instalación, que es el tiempo promedio que requieren los tramites de compra, unido al de fabricación.

PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES

Al diseñar una subestación es necesario protegerla de los tres tipos de sobre tensiones que se pueden presentar:

- a) sobretensiones debidas a descargas atmosféricas
- b) sobretensiones debidas a maniobras de interruptores
- c) sobretensiones debidas a desequilibrios en el sistema, provocadas por fallas a tierra o por perdida súbita de carga

De estos tres casos los dos primeros son los más importantes. Para el equipo que trabaja en tensiones a 230 Kv las sobretensiones que lo afectan más son las provocadas por las descargas externas que tienen una duración del orden de decenas de microsegundos.

Para el equipo que trabaja a tensiones superiores a 230 Kv las sobretensiones más peligrosas son las ocasionadas por maniobras de interruptores que tienen una duración del orden de miles de microsegundos y su magnitud es una función de tensión nominal.

MANIOBRAS DE INTERRUPTORES

De las ondas causadas por la maniobra de interruptores las sobretensiones más elevadas se obtiene al efectuarse la apertura de líneas o cables de potencia en vacío apertura de corrientes de excitación de transformadores o reactancias y sobre todo cuando se efectúan recios en líneas que hubieran quedado cargadas a una tensión elevada al producirse la desconexión inicial. Los elementos utilizados para limitar las sobretensiones por maniobra van de acuerdo con el tipo y diseño de cada interruptor.

El fenómeno de abrir una corriente y que aparezca una sobretensión se basa en el principio de la conservación de la energía es decir existe una energía cinética debido al flujo de una corriente al interrumpirse el flujo de esta la energía cinética se transforma en energía de potencial apareciendo una tensión eléctrica entre las terminales de los contactos abiertos.

Como resumen de lo anterior en las especificaciones de los interruptores es necesario establecer que al abrir un interruptor en ningún caso se debe producir una sobretensión mayor a 2.5 veces la tensión nominal. También como última protección para evitar las sobretensiones cada subestación debe tener una red de tierra bien diseñada a la que se conectan los neutros de los transformadores las descargas de los pararrayos, los cables de guarda, las estructuras metálicas, los tanques de los aparatos, rejillas y partes metálicas en general que estarán siempre al potencial de la tierra circundante.

PROTECCION PARA EVITAR SOBRETENSIONES

El pararrayos y el blindaje son dos sistemas de seguridad que evitan las sobretensiones.

PARARRAYOS

Las características de los pararrayos se seleccionan de acuerdo con las condiciones específicas de cada sistema como son:

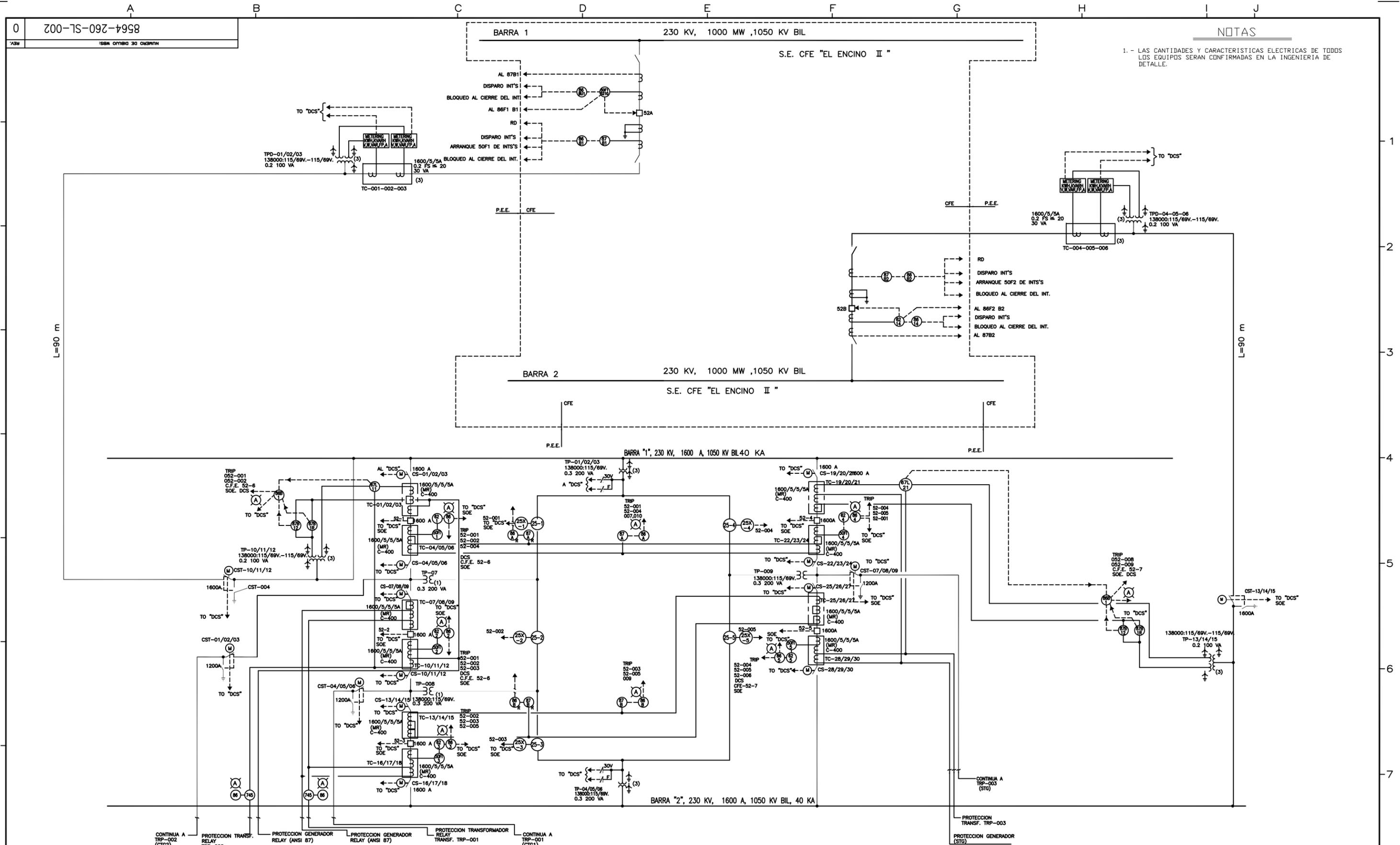
- Tensión nominal. Que depende del grado de aterrizamiento del sistema
- Corriente de descarga. Que circula a través del pararrayos al operar este y a su vez debe coordinarse con el aislamiento de los transformadores o cables de potencia.

La tensión nominal, indicada en la placa de un pararrayos se refiere a la tensión máxima a frecuencia nominal a la cual se puede interrumpir la corriente permanente de una descarga transitoria quedando a continuación el pararrayos como si fuera aislador.

Para instalar físicamente un pararrayos se parte de:

- Tensión nominal, relacionada con la coordinación del aislamiento en los equipos por proteger
- Distancia máxima a los equipos que protegen dentro de un margen desde 20% para impulsos por maniobra hasta un 35% para descargas atmosféricas; se acostumbra escoger en términos generales un valor promedio de 25%.

Finalizando este capítulo se ha comprendido que para este proyecto es fundamental los requerimientos de selección esquematizando las conexiones de una subestación, contemplando las configuraciones más usuales de los sistemas de energía eléctrica en plantas industriales utilizando la simbología normalizada respetando las tablas y fórmulas correspondientes al diseño para obtener un sistema eléctrico eficiente disponiendo de un sitio adecuado, respetando las dimensiones de una subestación como también sus actividades del mismo; sin olvidar las distancias eléctricas, el diseño y los límites permitidos, las dimensiones de campo de la subestación con sus respectivos arreglo y diagrama unifilar correspondientes.



NOTAS
 1. - LAS CANTIDADES Y CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE TODOS LOS EQUIPOS SERAN CONFIRMADAS EN LA INGENIERIA DE DETALLE.

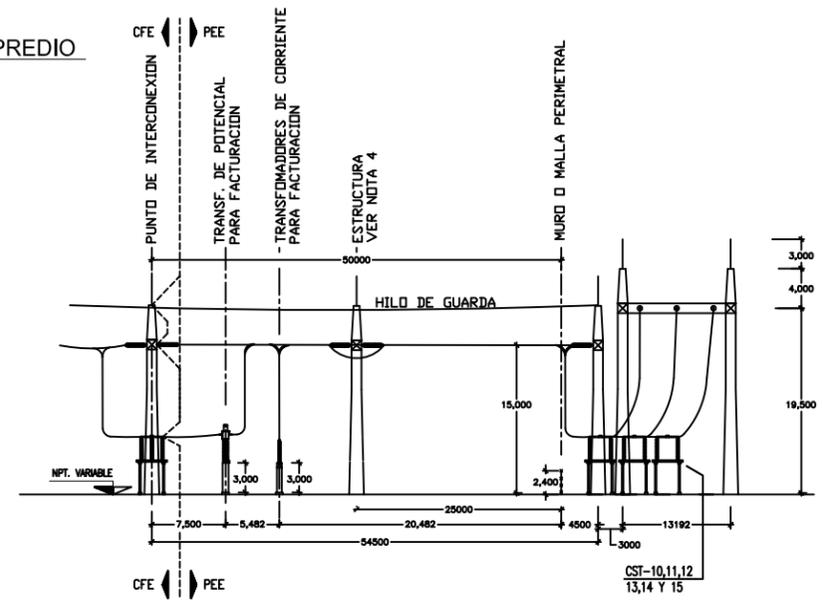
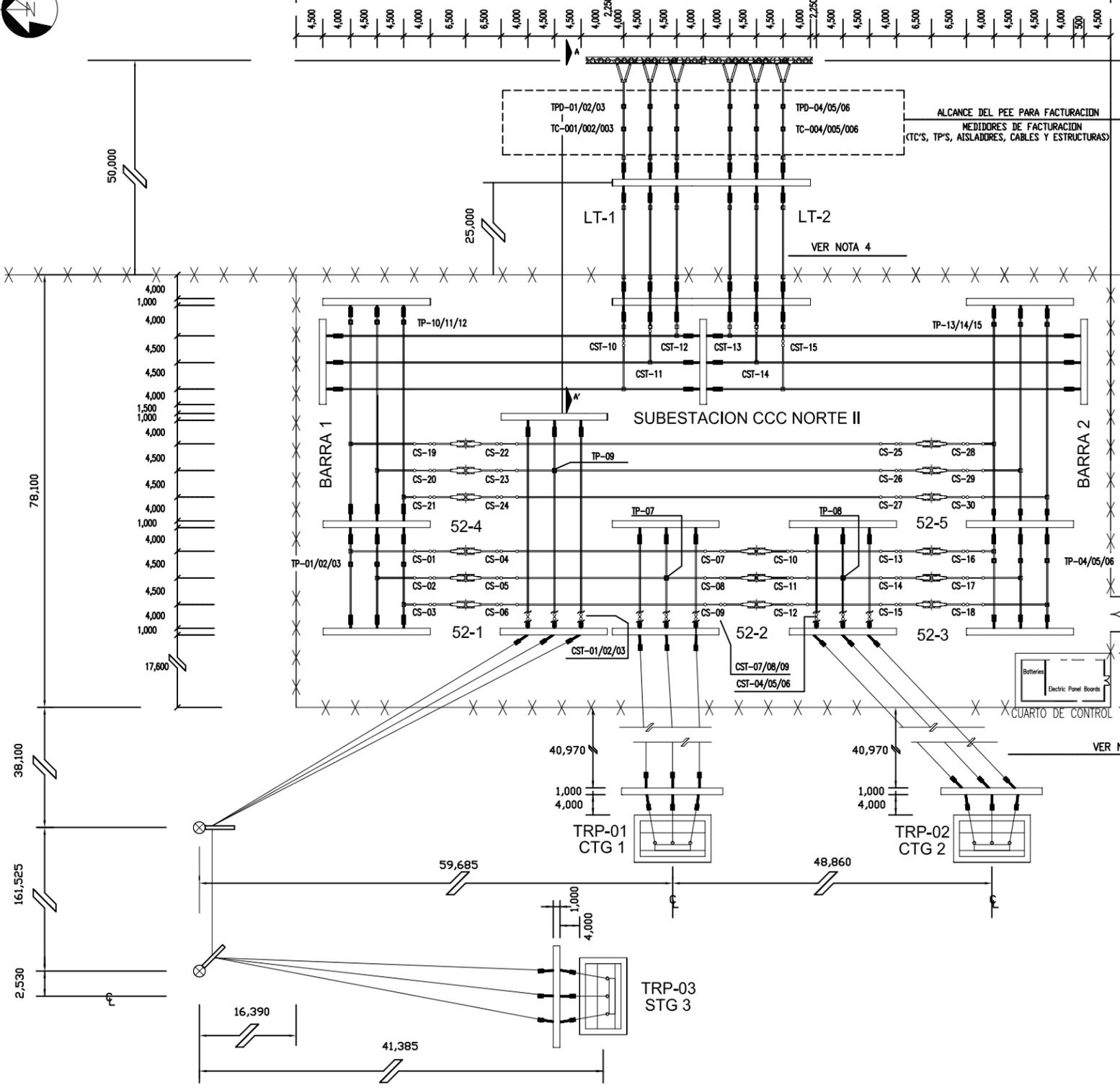
REV.	DESCRIPCION	FECHA	DIBUJO	APROBO	NO. DE DIBUJO	DESCRIPCION	ICAFD	FIRMA	FECHA
0	PARA PROPUESTA	JUN/10	E.P.C.	J.C.G.R.					

MITSUBISHI CORPORATION 3-1 MARUNOUCHI 2-CHOME, CHIYODA-KU, TOKYO 100-8086, JAPAN KYUSHU ELECTRIC POWER CO., INC. 1-82 WATANABEDORI 2-CHOME, CHUO-KU, FUKUOKA 810-8720, JAPAN	C.C.C. NORTE II 433 M.W.	MEXICO MERIDA, YUCATAN ESCALA: TITULO: S/E	DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACION DE 230 KV Y PUNTO DE INTERCONEXION	NUMERO DE DIBUJO WBS: 8564-260-SL-002	HOJA/DE 1/1	REV. 0
---	---	---	--	--	----------------	-----------

DIBUJO FECHA DISEÑO FECHA



SUBESTACION DE 230KV DE CFE "EL ENCINO II"

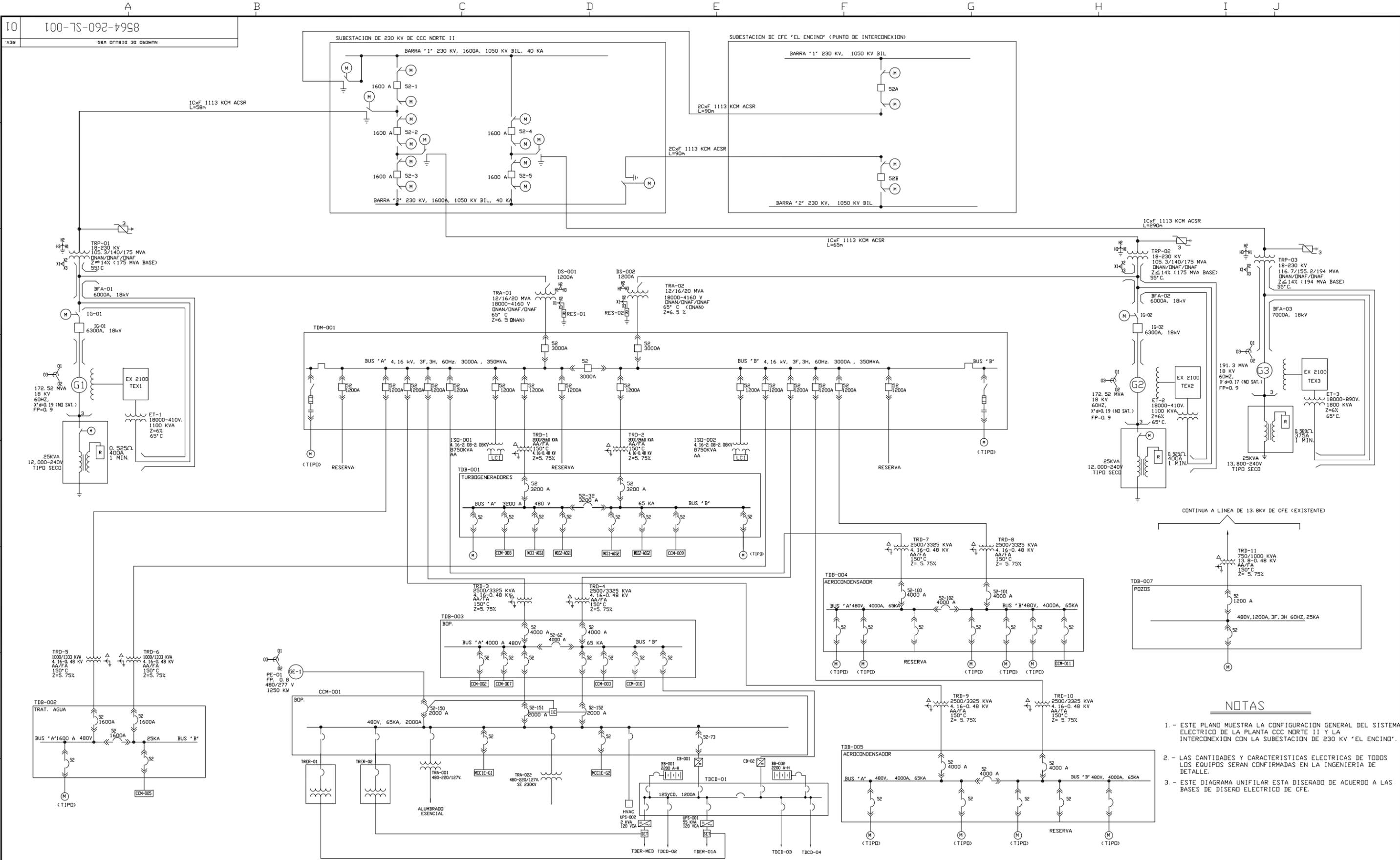


ELEVACION A-A'

- NOTAS:
- 1.- ACOTACIONES EN mm.
 - 2.- ESTE ARREGLO ES PRELIMINAR.
 - 3.- LAS DISTANCIAS ENTRE FASES Y DE FASE A TIERRA SON PRELIMINARES Y SE DEFINIRAN EN LA INGENIERIA DE DETALLE CON EL ESTUDIO DE COORDINACION DE AISLAMIENTO.
 - 4.- LA CANTIDAD Y LA POSICION FINAL DE LAS ESTRUCTURAS SE AJUSTARAN EN EL PUNTO DE INTERCONEXION Y DE ACUERDO AL ARREGLO FINAL DE LA SUBESTACION DE 230 KV Y DE LA PLANTA.

REVISIONES				DIBUJOS DE REFERENCIA		ICAFD RESPONSABLES	FIRMA	FECHA D/M/A
REV.	DESCRIPCION	FECHA	DIBUJO	APROBO	NO. DE DIBUJO	DESCRIPCION		
0	PARA PROPUESTA	JUN-10	A.G.R.	J.C.G.R.				

MITSUBISHI CORPORATION 3-1 MARUNOUCHI 2- CHOME, CHIYODA-KU, TOKYO 100-8086, JAPAN		C.C.C. NORTE II 433 M.W.		MEXICO	
KYUSHU ELECTRIC POWER CO., INC. 1-82 WATANABEDORI 2-CHOME, CHUO-KU, FUKUOKA 810-8720, JAPAN		ESCALA:	TITULO:	NUMERO DE DIBUJO WBS:	HOJA/DE REV.
LA INFORMACION TECNICA ESPECIFICADA AQUI ES CONFIDENCIAL Y NO PUEDE SER USADA NI REPRODUCIDA TOTAL O PARCIALMENTE, SIN LA AUTORIZACION DE ICA FLOOR DANIEL		-	ARREGLO DE EQUIPO SUBESTACION DE 230 KV Y PUNTO DE INTERCONEXION	8564-260-LY-003	1/1 01
No. ARCHIVO: 8564260LY003_01.dwg	No. CONT.:	No. PROJ.:	HT-8370		



- NOTAS**
- ESTE PLANO MUESTRA LA CONFIGURACION GENERAL DEL SISTEMA ELECTRICO DE LA PLANTA CCC NORTE II Y LA INTERCONEXION CON LA SUBSTACION DE 230 KV 'EL ENCINO'.
 - LAS CANTIDADES Y CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE TODOS LOS EQUIPOS SERAN CONFIRMADAS EN LA INGENIERIA DE DETALLE.
 - ESTE DIAGRAMA UNIFILAR ESTA DISEÑADO DE ACUERDO A LAS BASES DE DISEÑO ELECTRICO DE CFE.

REVISIONES				DIBUJOS DE REFERENCIA			ICAFD RESPONSABLES			FIRMA			FECHA		
REV.	DESCRIPCION	FECHA	DIBUJO	APROBO	NO. DE DIBUJO	DESCRIPCION	RESPONSABLES	FIRMA	D/M/A	RESPONSABLES	FIRMA	D/M/A	RESPONSABLES	FIRMA	D/M/A
0	PARA PROPUESTA	JUN/10	E. P. C.	J. C. G. R.			DIBUJADO POR:	E. P. C.	JUN-2010	MITSUBISHI CORPORATION S.1 MARUNOUCHI 2-CHOME, CHIYODA-KU, TOKYO 100-8086, JAPAN			C. C. C. NORTE II 433 M. W.		
							DISEÑADO POR:	F. F. A.	JUN-2010	KYUSHU ELECTRIC POWER CO., INC. 1-82 WATANABEDORI 2-CHOME, CHUO-KU, FUKUOKA 810-8720, JAPAN			MEXICO		
							REVISADO POR:	J. C. G. R.	JUN-2010	LA INFORMACION TECNICA ESPECIFICADA AQUÍ, ES CONFIDENCIAL Y NO PUEDE SER USADA NI REPRODUCCION TOTAL O PARCIALMENTE, SIN LA AUTORIZACION DE ICA FUKUOKA.			CHIHUAHUA, MEXICO		
							APROBADO POR:	F. P.	JUN-2010	No. ARCHIVO: 8564260SL001_01.dwg			ESCALA: TITULO		
							AUTORIZADO POR:	S. P. P.	JUN-2010	No. PROJ.: HT-			NUMERO DE DIBUJO WBS: 8564-260-SL-001		
										DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL			HOJA/DE REV. 1/1 01		

DIBUJO INGRESADO EN

4.14 VOLUMETRIAS DE MATERIAL DE LA SUBESTACIÓN PARA SU DISEÑO.

MATERIALES	DESCRIPCION	CANTIDAD
TRP1	TRANSFORMADOR DE POTENCIA PRINCIPAL , TRIFASICO, SERVICIO INTEMPERIE NEMA 3, CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA, 18-230 KV, DOS DEVANADOS, ENFRIAMIENTO OA/FA/FA, Z= 14%, CAPACIDAD 105.3/140/175 MVA, NLTC , 55°C , CON CAMBIADOR MANUAL DE DERIVACIONES SIN CARGA, DE 4 PASOS 2 ARRIBA Y DOS ABAJO DE LA TENSION NOMINAL DE 2.5 % CADA UNO.	1 pza.
TRP2	TRANSFORMADOR DE POTENCIA PRINCIPAL , TRIFASICO, SERVICIO INTEMPERIE NEMA 3, CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA, 18-230 KV, DOS DEVANADOS, ENFRIAMIENTO OA/FA/FA, Z= 14%, CAPACIDAD 105.3/140/175 MVA, NLTC , 55°C , CON CAMBIADOR MANUAL DE DERIVACIONES SIN CARGA, DE 4 PASOS 2 ARRIBA Y DOS ABAJO DE LA TENSION NOMINAL DE 2.5 % CADA UNO.	1 pza.
TRP3	TRANSFORMADOR DE POTENCIA PRINCIPAL , TRIFASICO, SERVICIO INTEMPERIE NEMA 3, CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA, 18-230 KV, DOS DEVANADOS, ENFRIAMIENTO OA/FA/FA, Z= 14%, CAPACIDAD 116.7/155.2/194 MVA, NLTC , 55°C , CON CAMBIADOR MANUAL DE DERIVACIONES SIN CARGA, DE 4 PASOS 2 ARRIBA Y DOS ABAJO DE LA TENSION NOMINAL DE 2.5 % CADA UNO.	1 pza.
TAG DEL EQUIPO	DESCRIPCION DEL EQUIPO	CANTIDAD
52-01 HASTA 52-05	INTERRUPTOR DE POTENCIA TRIPOLAR EN SF6, 230 kV NOMINALES DEL SISTEMA, 245 kV NOMINALES DEL INTERRUPTOR, 1600A, 1050 Kv cresta BIL , 2.5 cm/kV (F-F) DISTANCIA DE FUGA, 40 kA CAPACIDAD INTERRUPTIVA A VOLTAJE NOMINAL Y DE TIEMPO CORTO A 3 SEG, TIPO TANQUE MUERTO; 1478 m.s.n.m. CON ANILLOS EQUIPOTENCIALES	5 pza.

TC-01 A TC-30	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE TIPO BOQUILLA EN LAS TERMINALES DE ENTRADA Y SALIDA DEL INTERRUPTOR, DE RELACION 1600 : 5/5/5A , 40 KA, RELACION MULTIPLE, 1050 KV BIL, DISTANCIA DE FUGA 2.5 cm/KV (F-F) . 1478 msnm. INCLUIDOS EN INTERRUPTORES DE POTENCIA	30 pza.
CS-01 HASTA CS-30	CUCHILLA DESCONECTADORA MONOPOLAR, MECANISMO MOTORIZADO DE OPERACIÓN ELÉCTRICO Y MANUAL POR POLO SIN CUCHILLA DE PUESTA A TIERRA, APERTURA VERTICAL, 230 kV NOM. DE SISTEMA, 245 KV MAX. CUCHILLA, 1600 A, 1050 kV BIL, 2.5 cm/kV (F-F), 40 kArms CORRIENTE DE AGUANTE, 1478 msnm. CON UN MECANISMO DE OPERACION PARA LOS TRES POLOS	30 pza.
CST-10 HASTA CST-15	CUCHILLA DESCONECTADORA MONOPOLAR, MECANISMO MOTORIZADO DE OPERACIÓN ELÉCTRICO Y MANUAL POR POLO, CON CUCHILLA DE PUESTA A TIERRA, APERTURA VERTICAL, 230 kV NOM, SISTEMA, 245 KV MAX. CUCHILLA,1600 A, 1050 kV BIL, 2.5 cm/kV, 40 kArms, CORRIENTE DE AGUANTE, 438 msnm .	6 pza.
CST-01 HASTA CST-09	CUCHILLA DESCONECTADORA MONOPOLAR, MECANISMO MOTORIZADO DE OPERACIÓN ELÉCTRICO Y MANUAL POR POLO, CON CUCHILLA DE PUESTA A TIERRA, APERTURA VERTICAL, 230 kV NOM, SISTEMA, 245 KV MAX. CUCHILLA,1250 A, 1050 kV BIL, 2.5 cm/kV (F-F), 40 kArms, CORRIENTE DE AGUANTE , 1478 msnm .	9 pza.
TP-10 HASTA TP-15	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUCTIVO, MONOFÁSICO, TIPO PEDESTAL, 230 KV NOM. DEL SISTEMA, 245 kV CLASE NOMINAL DE AISLAMIENTO, RELACIÓN 138000: 115/69V-115/69 V, 40 KA, DOS DEVANADOS SECUNDARIOS , 1050 kVBIL, 2.5 cm/kV, 438 m.s.n.m., PRECISION 0.3 W,X,Y,Z, CON ANILLOS EQUIPOTENCIALES.	6 pza.

TPD-01 HASTA TPD-08	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUCTIVO, MONOFÁSICO, TIPO PEDESTAL, 230 KV NOM. DEL SISTEMA, 245 kV CLASE NOMINAL DE AISLAMIENTO, RELACIÓN 138000: 115/69V-115/69 V, 40 KA, DOS DEVANADOS SECUNDARIOS , 1050 kVBIL, 2.5 cm/kV, 438 m.s.n.m., PRECISION 0.3 W,X,Y,Z, CON ANILLOS EQUIPOTENCIALES.	8 pza.
TP-01 HASTA TP-09	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUCTIVO, MONOFÁSICO, TIPO PEDESTAL, 230 kV NOM. DEL SISTEMA, 245 KV CLASE NOMINAL DE AISLAMIENTO, RELACIÓN 1200/2000: 1 , 40 KA ,UNO DEVANADO SECUNDARIO, TENSIÓN SECUNDARIA 115 Y 69 VOLTS, 1050 kVBIL, 2.5 cm/kV, 438 m.s.n.m., PRECISION 0.3BW,X,Y,Z	9 pza.
TC-1 A TC-8	TRASFORMADOR DE CORRIENTE MONOFÁSICO , 230 KV NOMINAL, TIPO PEDESTAL, RELACIÓN MULTIPLE 1600:5/5/5A, 40 KA,DOS DEVANADOS SECUNDARIOS, (DOS PARA MEDICION 0.3B0.1,0.2,0.5,1.0,2.), 1050 kVBIL, 2.5 cm/kV, 438 m.s.n.m., CON ANILLOS EQUIPOTENCIALES.	8 pza.
PCD 1,2	SISTEMA DE 125 VCD, COMPUESTO POR:	2 sistemas.
CB-01,02	DOS CARGADOR DE BATERÍAS, TRIFÁSICOS, 480 VCA, 3F, 3H, 60 Hz. ENTRADA Y SALIDA A 130 VCD, 50 AMP.	
BB-01,02	DOS BANCO DE BATERÍAS, TIPO PLOMO ÁCIDO, TIPO VRLA, 350 AH A 8 HORAS, 125VCD.	
TCD-01	UN TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE C.D., 125 VCD, CON DOS INTERRUPTOR PRINCIPAL Y UNO DE ENLACE DE 400A. Y 20 INTERRUPTORES DERIVADOS DE 2 POLOS 30 A.. LOS EQUIPOS SERÁN PARA SERVICIO INTERIOR.	
LT-01, 02, 03	LINEA CORTA DE TRANSMISION INTERCONEXION EN 230 KV DE LOS TRANSFORMADORES PRINCIPALES A LA SUBESTACION DE LA CENTRAL DE 230 KV. LA LONGITUD DE LAS LINEAS SON LAS SIGUIENTES: AL TRANSFORMADOR TRP-01, 75 M ; AL TRANSFORMADOR TRP-002,	1 sistema.

	56 M: AL TRANSFORMADOR TRP-003, 210 M	
	CABLE DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO TIPO ACSR CALIBRE 477 KCM	1100 mts.
	CABLE DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO TIPO ACSR CALIBRE 266.8 KCM	159 mts.
	CONJUNTO 2HILT-47 TENSION EN V,2 CONDUCTORES POR FASE, 2 HORQUILLAS 1A(2HILT-15), 2 CALAVERAS TIPO 3A (2HILT-17) Y 2 GRAPAS TIPO A DE TENSION O COMPRESION (2HILT-14)	18 pza.
	CABLE DE GUARDA CON HILOS DE ACERO DE 9.5MM DE DIAM.	500 mts.
	CONJUNTO 2HILT-45 SUSPENSION EN V,2 CONDUCTORES POR FASE, 2 HORQUILLAS 1A(2HILT-15), 2 CALAVERAS TIPO 3A (2HILT-16) Y 2 GRAPAS TIPO A DE SUSPENSION (2C500-69)	12 pza.
	CONJUNTO 2HILT-49 DE TENSION PARA CABLE DE GUARDA MARCA BURNDY O SIMILAR 1 REMATE PREFORMADO (2HILT-21), 2 ROZADERAS (2HILT-22) Y 3 CONECTORES DE TORNILLO CABLE-SOLERA (2HILT-26)	16 pza.
	GRAPA DE TENSION	36 pza.
	ESTRUCTURA MARCO DE REMATE DE ACERO GALVANIZADO, PARA LLEGADA DE UN CIRCUITO TRIFASICO DE DOS CONDUCTORES POR FASE PARA UNA TENSION DE 230 KV	6 pza.
	POSTE TRONCOCONICO DE ACERO GALVANIZADO 30 MTS DE LONGITUD APROX	2 pza.
LTI-01, 02	LINEA CORTA DE TRANSMISION INTERCONEXION EN 230 KV DE LA SUBESTACION CCC NORTE II A LA SUBESTACION DE CFE "EL ENCINO II", LA DISTANCIA ENTRE ESTRUCTURAS DE REMANTE DE AMBAS SUBESTACIONES ES DE 75 METROS.	1 sistema.
	GRAPA DE TENSION	24 pza.
	CABLE DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO TIPO ACSR CALIBRE 477 KCM	900 mts.
	CONJUNTO 2HILT-47 TENSION EN V,2 CONDUCTORES POR FASE, 2 HORQUILLAS 1A(2HILT-15), 2 CALAVERAS TIPO 3A (2HILT-17) Y 2 GRAPAS TIPO A DE TENSION	24 pza.

	O COMPRESION (2HILT-14)	
	CABLE DE GUARDA CON HILOS DE ACERO DE 9.5MM DE DIAM.	300 mts.
	CONJUNTO 2HILT-49 DE TENSION PARA CABLE DE GUARDA MARCA BURNDY O SIMILAR 1 REMATE PREFORMADO (2HILT-21), 2 ROZADERAS (2HILT-22) Y 3 CONECTORES DE TORNILLO CABLE-SOLERA (2HILT-26)	16 pza.
	ESTRUCTURA DE REMATE PARA UNA TENSION DE 230 KV EN LA SUBESTACION EL ENCINO II PARA RECEPCION DE CABLES PROVENIENTES DE LA SUBESTACION CFE NORTE II	2 pza.
GM-01-GM-02	GABINETE DE MEDICIÓN PARA FACTURACIÓN, SERVICIO INTERIOR, NEMA 12, EQUIPADO CON DOS EQUIPOS DE MULTIFUNCIÓN PARA MEDICIÓN DE ESTADO SÓLIDO 3 FASES, 4 HILOS, 60 Hz., TRES ELEMENTOS ESTRELLA, 120 V, 5A, BASE TIPO TABLERO CON DISPLAY DE TARIFAS HORARIAS, CAPACIDAD DE MEMORIA . ESTOS MEDIDORES DEBERAN INCLUIR A, V, W, Wh, Wcost, VAR. VARh, VA, VAh, Hz, Y FP.De acuerdo a la Especificación CFE G0000 48.Y EL DOCUMENTO DGPP.411.OIF-001 DE LAS CARACTERISTICAS PARTICULARES DEL PROYECTO.	2 pza.

CAPITULO 5

CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN SERVICIO

5.1 PROYECTO FISICO DE LA SUBESTACION

Siempre que se proyecte una instalación de acuerdo con un diagrama unifilar, será necesario efectuar diversos tanteos para determinar la disposición mas conveniente de los aparatos, de manera que el costo de la instalación sea el mas económico.

ANTEPROYECTO

Antes de elaborar el proyecto definitivo, se realizan varios dibujos de la planta, optimizando los arreglos posibles y mostrando los diferentes acomodos de equipo que nos permitan reducir al máximo la superficie del terreno utilizado y sobretodo que faciliten las maniobras de operación y el mantenimiento de los equipos instalados después se debe de hacer un análisis de cada uno de los anteproyectos para poder seleccionar el más adecuado técnica y económicamente

Para ejecutar un anteproyecto adecuado se decide con base en los siguientes factores

a) Terreno

- Datos topográficos, incluyendo curvas de nivel
- Datos del suelo como son: resistencia mecánica, nivel de aguas freáticas, etc.
- Datos catastrales, incluyendo el trazado de vías de comunicación
- Contaminación. Analizar el tipo de humo, vapores o polvos que puedan afectar las instalaciones (sobre todo en la cercanía de zonas industriales)
- Resistencia eléctrica del terreno. Obtener valores promedio de la resistencia dentro del área de la subestación en diferentes puntos de la misma y en diferentes épocas, durante un año.
- Puertas. Fijar la localización de las puertas principales en función de la maniobrabilidad de los equipos más pesados y voluminosos

b) Líneas de Transmisión

Bajo este concepto se consideran las líneas aéreas y los cables subterráneos.

- Información topográfica sobre la localización de los remates de los circuitos de potencia y distribución que penetran en la subestación
- Tipo de torres utilizadas, tensiones mecánicas y calibre de los conductores

c) Diagrama Unifilar

El diagrama unifilar debe considerar todas las ampliaciones previstas para la instalación, aunque de momento solo se construya parte de la subestación.

Dimensiones exteriores de los equipos principales indicados en el diagrama unifilar, cuyo acomodo lleva a encontrar un área mínima de terreno

PROYECTO

A partir del anteproyecto se requiere información preliminar que complemente la información que previamente se había proporcionado y que consiste en:

1. Localización

2. Datos de diseño

Lado de alta y baja tensión

- a) tensión nominal en KV
- b) tipo de conexión de los bancos de transformadores
- c) secuencia de rotación de fases

Transformadores

- a) Número de unidades
- b) Capacidad por unidad
- c) Tensiones de transformación
- d) Conexiones el alta y en baja tensión

Líneas de transmisión

- a) numero de circuitos
- b) calibre del conductor y número de conductores por fase
- c) capacidad de corriente por fase

Arreglos de la subestación

- a) En cada una de las aéreas de alta y de baja tensión y de tensiones intermedias que puedan existir. Se trata de indicar si es barra partida, interruptor y medio etc..

Capacidad del cortocircuito monofásico a tierra y trifásico

- b) Lado de alta tensión
- c) Lado de baja tensión

Tiempo máximo de libramiento en ciclos, que se permite a una falla en el lado de alta tensión.

Resistividad del terreno

Condiciones geográficas

- a) Temperaturas promedio, máximas y mínimas anuales
- b) Viento. Velocidad máxima en Km/h
- c) Hielo. Espesor máximo en Cm/h
- d) Lluvia. Cantidad máxima en Cm/h y la duración en número de horas
- e) Nieve. Altura máxima
- f) Nivel cercano del lugar
- g) Altura sobre el nivel del mar
- h) Intensidad sísmica
- i) Contaminación

5.2 CONEXIONES

5.2.1 TRANSFORMADOR TRP-01 (CTG-1)

1.-El transformador se conecta al aislador soportado en la estructura de remate No.1

2.- De la estructura de remate No.1 se conecta los aisladores soportados en la estructura de remate No.2 para lograr cruzar la vialidad.

3.- Posteriormente de la estructura de remate No.2 se bajan las 3 líneas (FASE A, B, C) a un transformador de corriente cada una de ellas; consecuentemente la disposición de las fases de acuerdo al arreglo observando de frente hacia la bahía 1 de izquierda a derecha (este a oeste) la primer línea de izquierda a derecha será la fase "A", después la de en medio sería la fase "B" y por último la del lado derecho es nombrada fase "C".

4.- En la fase "A" se conectara de lado derecho del arreglo la cuchilla desconectadora CS-15, después la fase "B" se conecta a la cuchilla desconectadora CS-14 y culminando con la fase "C" se conecta a la cuchilla desconectadora CS-13.

5.- De la cuchilla desconectadora CS-15 se conecta al interruptor 52-3 fase A; consecutivamente se va a la cuchilla desconectadora CS-14 conectando al interruptor 52-3 fase B y de la cuchilla desconectadora CS-13 se conecta al interruptor 52-3 fase C.

6.- Del interruptor 52-3 fase A se conectara a la cuchilla desconectadora CS-18; en el interruptor 52-3 fase B se conecta la cuchilla desconectadora CS-17 y el interruptor 52-3 fase C se conectara la cuchilla desconectadora CS-16.

7.- De la cuchilla desconectadora CS-18 se conectara al transformador de potencial TP-06; en la cuchilla desconectadora CS-17 se conectara al transformador de potencial TP-05 y de la cuchilla desconectadora CS-16 se conectara al transformador de potencial TP-04.

8.- Del transformador de potencial TP-06 se sube la línea entre las estructuras de remate haciendo la conexión a la barra 2; del transformador de potencial TP-05 se sube la línea entre las estructuras de remate conectándose a la barra 2 y del transformador de potencial TP-04 se sube la línea entre las estructuras de remate y ahí se hace la conexión a la barra 2.

9.- Una vez hecha la conexión de a la barra 2 se conectan a la línea de transmisión (LT-2) 230 KV que esta interconectada con la subestación de CFE "EL ENCINOII"

10.- Las fase "A" se conecta de lado izquierdo del arreglo a la cuchilla desconectadora CS-12; en la fase "B" se conectara la cuchilla desconectadora CS-11 y la fase "C" se conecta a la cuchilla desconectadora CS-10.

11.- De la cuchilla desconectadoras CS-12 se conecta al interruptor 52-2A, posteriormente la cuchilla desconectadoras CS-11 se conecta al interruptor 52-2B y la cuchilla des conectadoras CS-10 se conecta al interruptor 52-2c.

12.- Una vez hechas estas conexiones se puede percatar que esto es la preparación para la transferencia en caso de perder el transformador TRP-02 (CTG-2).

5.2.2 TRANSFORMADOR TRP-02 (CTG-2)

1.- se conecta el transformador a la estructura de remate no.3 para cruzar la vialidad.

2.- de la estructura de remate no.3 se conect a la estructura de remate no.4

3.- de la estructura de remate bajan las 3 líneas (fase a,b,c) a un transformador de corriente cada una de ellas la disposición de las fases de acuerdo al arreglo es viendo la bahía 1 de frente (este a oeste) la primer línea de izquierda a derecha sería la fase "a", la de en medio sería la fase "b" y la del lado derecho la fase "c".

4.- las fase "a" se conecta de lado izquierdo del arreglo a la cuchilla desconectadora cs-06, la fase "b" se conecta a la cuchilla desconectadora cs-05 y la fase "c" se conecta a la cuchilla desconectadora cs-04.

5.- de la cuchilla desconectadora cs-06 se conecta al interruptor 52-1a, de la cuchilla desconectadora cs-05 se conecta al interruptor 52-1b y de la cuchilla desconectadora cs-04 se conecta al interruptor 52-1c.

6.- del interruptor 52-1a se conecta a la cuchilla desconectadora cs-03, del interruptor 52-1b se conecta a la cuchilla desconectadora cs-02 y del interruptor 52-1c se conecta a la cuchilla desconectadora cs-01.

7.- de la cuchilla desconectadora cs-03 se conectara al transformador de potencial tp-03, de la cuchilla desconectadora cs-02 se conectara al transformador de potencial tp-02 y de la cuchilla desconectadora cs-01 se conectara al transformador de potencial tp-01.

8.- del transformador de potencial tp-03 se sube la línea entre las estructuras de remate 9 y 10 y ahí se hace la conexión a la barra 1, del transformador de potencial tp-02 se sube la línea entre las estructuras de remate 9 y 10 y ahí se hace la conexión a la barra 1 y del transformador de potencial tp-01 se sube la línea entre las estructuras de remate 9 y 10 y ahí se hace la conexión a la barra 1.

9.- una vez hecha la conexión de a la barra 1 nos conectamos a la línea de transmisión (lt-1) 230 kv que esta interconectada con la subestación de cfe "el encinoii".

10.- las fase "a" se conecta de lado derecho del arreglo a la cuchilla desconectadora cs-09, la fase "b" se conecta a la cuchilla desconectadora cs-08 y la fase "c" se conecta a la cuchilla desconectadora cs-07.

11.- de la cuchilla desconectadora cs-09 se conecta al interruptor 52-2a, de la cuchilla desconectadora cs-08 se conecta al interruptor 52-2b y de a cuchilla desconectadora cs-07 se conecta al interruptor 52-2c.

12.- una vez hecho estas conexiones nos podemos dar cuenta que son la preparación para así poder hacer la transferencia en caso de perder el transformador trp-01 (ctg-1).

5.2.3 Transformador Trp-03 (Stg-3)

1.- se conecta el transformador a la estructura de remate no.5 para cruzar la vialidad.

2.- de la estructura de remate no.5 se conecta a la estructura de remate no.7

3.- de la estructura de remate bajan las 3 líneas (fase a,b,c) a un transformador de corriente cada una de ellas la disposición de las fases de acuerdo al arreglo es viendo la bahía 2 de frente (este a oeste) la primera línea de izquierda a derecha sería la fase "a", la de en medio sería la fase "b" y la del lado derecho la fase "c".

4.- las fase "a" se conecta de lado izquierdo del arreglo a la cuchilla desconectadora cs-24, la fase "b" se conecta a la cuchilla desconectadora cs-23 y la fase "c" se conecta a la cuchilla desconectadora cs-22.

5.- de la cuchilla desconectadora cs-24 se conecta al interruptor 52-4a, de la cuchilla desconectadora cs-23 se conecta al interruptor 52-4b y de la cuchilla desconectadora cs-22 se conecta al interruptor 52-4c.

6.- del interruptor 52-4a se conecta a la cuchilla desconectadora cs-21, del interruptor 52-4b se conecta a la cuchilla desconectadora cs-20 y del interruptor 52-4c se conecta a la cuchilla desconectadora cs-19.

7.- de la cuchilla desconectadora cs-21 se conectara al transformador de potencial tp-12, de la cuchilla desconectadora cs-20 se conectara al transformador de potencial tp-11 y de la cuchilla desconectadora cs-19 se conectara al transformador de potencial tp-10.

8.- del transformador de potencial tp-12 se sube la línea entre las estructuras de remate y ahí se hace la conexión a la barra 1, del transformador de potencial tp-11 se sube la línea entre las estructuras de remate y ahí se hace la conexión a la barra 1 y del transformador de potencial tp-10 se sube la línea entre las estructuras de remate 7 y 8 y ahí se hace la conexión a la barra 1.

9.- una vez hecha la conexión de a la barra 1 nos conectamos a la línea de transmisión (lt-1) 230 kv que está interconectada con la subestación de cfe "el encinoii"

10.- las fase "a" se conecta de lado derecho del arreglo a la cuchilla desconectadora cs-27, la fase "b" se conecta a la cuchilla desconectadora cs-26 y la fase "c" se conecta a la cuchilla desconectadora cs-25.

11.- de la cuchilla desconectadora cs-27 se conecta al interruptor 52-5a, de la cuchilla desconectadora cs-26 se conecta al interruptor 52-5b y de a cuchilla desconectadora cs-25 se conecta al interruptor 52-5c.

12.- del interruptor 52-5a se conecta a la cuchilla desconectadora cs-30, del interruptor 52-5b se conecta a la cuchilla desconectadora cs-29 y del interruptor 52-5c se conecta a la cuchilla desconectadora cs-28.

13.- de la cuchilla desconectadora cs-30 se conectara al transformador de potencial tp-15, de la cuchilla desconectadora cs-29 se conectara al transformador de potencial tp-14 y de la cuchilla desconectadora cs-28 se conectara al transformador de potencial tp-13.

del transformador de potencial tp-15 se sube la línea entre las estructuras de remate y ahí se hace la conexión a la barra 2, del transformador de potencial tp-14 se sube la línea entre las estructuras de remate y ahí se hace la conexión a la barra 2 y del transformador de potencial tp-13 se sube la línea entre las estructuras de remate y ahí se hace la conexión a la barra 2.

14.- una vez hecha la conexión de a la barra 2 nos conectamos a la línea de transmisión (lt-2) 230 kv que esta interconectada con la subestación de cfe "el encinoii".

15.- una vez hechas estas conexiones nos podemos dar cuenta que siempre estaran funcionando 2 turbinas ya sea la de vapor y la de gas 1 o la de vapor y la de gas 2.

Para las conexiones anteriores se puede consultar los diagramas del capítulo cuatro.

5.3 PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO

Cuando se procede a la puesta en servicio de la instalación. Es necesario efectuar una serie de pruebas necesarias para determinar el estado final de los aislamientos, los circuitos de control, la protección, medición, señalización, alarmas y finalmente el funcionamiento del conjunto de la subestación.

El conjunto de datos obtenidos de las pruebas sirven de antecedente para que el personal de mantenimiento tenga una base para determinar el grado de deterioro que van sufriendo los diferentes equipos.

Tipos de Pruebas

- Pruebas de alta tensión
- Pruebas a la equipo de proyección, medición y control
- Pruebas al equipo con su tensión nominal de operación
- Faseo de la subestación

- Toma de carga de la subestación

Pruebas a los equipos de alta tensión

Gran parte de las pruebas las especifican los propios fabricantes como pruebas de fabrica (FAT) algunas de las cuales se vuelven a efectuar una vez instalado el equipo pero ahora con el nombre de pruebas de campo (SAT).

Equipos de alta tensión a los que se le hacen pruebas de campo

- Transformadores de potencia
- Interruptores
- Cuchillas
- Transformadores de corriente
- Transformadores de potencial
- Transformadores de servicio
- Pararrayos
- Fusibles tipo cuchilla
- Aisladores
- Condensadores de acoplamiento
- Trampas de onda
- Reactores

Pruebas que se aplican a los equipos mencionados

- Resistencia de aislamiento
- Factor de potencia de los aislamientos
- Rigidez dieléctrica del aceite
- Relación de transformación
- Resistencia de contacto
- Tiempo de apertura y de cierre de los contactos de los interruptores
- Continuidad eléctrica de los circuitos
- Polaridad
- Tensiones mínimas de operación

5.4 MEMORIA DEL PROYECTO

Es el conjunto de información que se genera a lo largo del desarrollo del proyecto de una subestación y que se necesita tener a mano a lo largo de la vida útil de la instalación, sobre todo cuando se presentan problemas de operación, mantenimiento o ajuste de protecciones.

La memoria en forma resumida debe de comprender lo siguiente:

- a. Objeto de la instalación, localización de la misma, temperatura, altitud, contaminación del lugar, nivel isoceraunico, viento etc. Programa de necesidades y de posibles ampliaciones.
- b. Descripción detallada de la instalación, diagrama unifilar completo y descripción del mismo utilizando la simbología normalizada, indicando los MVA y tensiones de los transformadores, características de los interruptores, calibración de los fusibles, ajustes de corriente y tiempo de los relevadores etc..
- c. Características consideradas en los cálculos, factores de seguridad, y las justificación de todas y cada una de ellas
- d. Especificaciones del equipo en general, desde el equipo pesado hasta los relevadores, conmutadores y alarmas
- e. Conjunto de pruebas efectuadas a cada pieza del equipo, con los datos obtenidos, incluyendo las pruebas de fabrica
- f. Juegos de planos de fábrica de cada uno de los equipos, donde se dan las dimensiones y pesos del equipo que se instala, así como diagramas respectivos de control y conexiones.
- g. Juego de planos del proyecto de la subestación, con los detalles de necesarios. Los planos deberán ser suficientes, cuidando de no duplicar ciertos detalles en planos diferentes; es decir, los planos deberán de ser precisos y concisos, utilizando escalas del orden de 1/200 o 1/400, aunque estas pueden depender de lo solicitado por el cliente.
- h. Presupuestos parciales y total de la instalación



CONCLUSIONES

Finalmente se presenta el proyecto que fue diseñado, construido y que cumple con su finalidad de otorgar un producto, servicio y un fin único, debido a que dependen estrictamente de la necesidad del cliente, respetando así su periodo determinado de duración, de ejecución y calidad, incrementándose durante el proceso del proyecto a gran magnitud, observando los avances establecidos llegando a obtener los alcances que se pretenden desde un principio de forma cualitativa y cualitativamente. Presentando detalladamente la lista de todos los servicios requeridos para el proceso, determinando la operación y parámetros de diseño del sistema, Identificando los requerimientos de capacidad incluyendo reservar un espacio para el equipo de acuerdo al área que ocupe para el aumento de capacidades futuras; Observando así que en esta época se a caracterizado por el incremento de la competencia global, nuevas tecnologías que rápidamente vuelven obsoletos los productos actuales o los requerimientos cambiantes por parte de los clientes haciéndolo mucho más demandantes.

Desafortunadamente, al tratar de acelerar los artículos dentro del mercado, muchas actividades clave son ignoradas, lo que nos lleva a diseños pobres, productos de mal funcionamiento, demandas y costos de producción altos, entre otras cosas. El reto es ser veloces sin sacrificar la calidad o las etapas importantes dentro del proceso de desarrollo.

Los ingenieros constantemente se encuentran bajo presión para crear nuevos diseños o actualizar los existentes, tan pronto como sea posible. Es realmente una forma de vida en el mundo tan competitivo de la manufactura mundial y la realidad es que las direcciones de ingeniería dentro de las compañías esperan resultados a gran velocidad. “El 80% de las compañías que alcanzan primero el mercado se convierten en líderes dentro de los siguientes cinco años”, asegura el informe Get it Right de la empresa PTC.

ASPECTOS CLAVE

El desarrollo de productos es algo complejo. La globalización, la subcontratación, el internet y un enfoque cada vez más fuerte hacia el cliente, se suman a las ya existentes presiones de costo y tiempo. Como resultado, el proceso de desarrollo de productos integra una gran variedad de participantes multifuncionales en una cadena de valor que incluye a proveedores, personal involucrado con el desarrollo y clientes en diferentes locaciones geográficas y en tiempo real.

Según Ashok K. Gupta y William E. Souder, en su libro *Key drivers of reduced cycle time: Research Technology Management*, existen cinco diferencias clave entre las compañías líderes en tiempos de desarrollo de sus productos:

- *Involucramiento extensivo del usuario.* Ha sido identificado como un factor importante que contribuye al éxito de nuevas mercancías. Incluye incorporar la voz del cliente y desarrollar orientación hacia el mercado antes de concentrarse en las primeras actividades de desarrollo.
- *Administración efectiva de equipos.* El uso de equipos multifuncionales es otro de los temas citados con frecuencia en la literatura como un factor clave en el desarrollo de nuevos artículos. Para obtener resultados de estos equipos es necesario capacitar líderes efectivos. Con sólo agrupar un conjunto de personas y llamarlos “equipo” no es suficiente.
- *Involucramiento extensivo de los proveedores.* Se trata de una fuente importante para lograr ventajas competitivas. En un ambiente dinámico carente de recursos, mantener la flexibilidad y beneficiarnos de las fuerzas de nuestros proveedores es algo que debemos sostener por medio de la creación de relaciones fuertes y de largo plazo.
- *Prácticas y filosofía de diseño efectivas.* Aunque el diseño puede ser una parte pequeña de todo el proceso de desarrollo, la realidad es que representa la piedra angular de los esfuerzos posteriores. Aunque en promedio el diseño represente 8% del costo total de desarrollo, las decisiones tomadas en esta etapa determinan cerca de 80% del costo. Además, hacer cambios en prototipos puede ser hasta 10,000 veces menos costoso que una vez que se entra a producción.
- *Efectividad del aprendizaje organizacional.* Si no se maneja con sabiduría el desarrollo de productos puede ser algo sumamente riesgoso, y una de las maneras más efectivas de disminuir dicho riesgo es creando una organización de aprendizaje donde la gente comparta las experiencias y lecciones aprendidas de un proyecto a otro.

ETAPA DE CREACIÓN

Hoy en día, mientras el mundo de desarrollo de productos se vuelve cada vez más complejo, el modelo digital en 3D se posiciona como la clave esencial que nos lleva a ser exitosos en la manufactura. La realidad es que, sin un modelo maestro único que represente al producto, las compañías experimentan errores de comunicación, traducción de datos costosa, errores de fabricación y atrasos en programas, factores que verdaderamente pueden poner en riesgo la existencia de la misma empresa.

Los sistemas en tercera dimensión de diseño asistido por computadora (3D CAD, por sus siglas en inglés), ofrecen a los fabricantes la oportunidad de asegurarse que toda la información pertinente al diseño y la manufactura se encuentre contenida en un modelo de producto único. Esta forma de trabajar permite luego que dicho contenido sea extraído hacia entregables de ingeniería, como son información de inspección, instrucciones de ensamble y manufactura, dibujos técnicos, rutas de proceso y herramientas.

COLABORACIÓN

Con cada vez más personas involucradas en el proceso de desarrollo de productos, la colaboración y la comunicación se vuelven críticas para poder generar una ventaja competitiva.

Cuando los involucrados cuentan con acceso instantáneo a la información más reciente, los fabricantes pueden obtener un sin número de beneficios, entre los que se encuentran:

- Intercambio de información acelerado, a fin de disminuir los errores en el desarrollo, la duplicación de esfuerzos y los tiempos muertos dentro del proyecto.
- Calidad óptima.
- Innovación, la cual permite mayores interacciones en el diseño, con mayor participación por parte de todos los departamentos involucrados.
- Reducción de costos. Al eliminar las entradas manuales y las formas de interacción tradicionales, por lo general, se ahorra tiempo, recursos y costos relacionados.

La colaboración efectiva no sólo requiere tecnología superior, sino la habilidad de entender de qué manera impacta a los procesos críticos del negocio y al personal dentro de la organización.

CONTROL

La era digital ha traído una gran eficiencia y productividad a la industria manufacturera; sin embargo, también ha arrojado volúmenes masivos de información de producto digital, que para la mayoría de las compañías se convierte en algo muy difícil de controlar. La ecuación principal que debemos cuidar dentro de la etapa de control es muy simple, pero a la vez muy cierta:

Información perdida	+	productividad perdida	=	ganancias perdidas
------------------------	---	--------------------------	---	-----------------------

Las principales razones para que una administración de información digital sea deficiente son muchas y muy variadas. Típicamente, la información tiene una multitud de autores y formatos; cuenta con una gran variedad de clientes, usualmente se almacena en diversos lugares, y sigue siendo controlada por los autores, lo que hace que su diseminación a través de la compañía se vuelva un proceso bastante complejo.

Cuando no se cuenta con un acceso único y simple a la información, los procesos de cambio y las revisiones de diseño se pueden perder, ya que se realizan cambios no autorizados y se utiliza información obsoleta, lo que genera retrabajos costosos.

Un proyecto es una combinación de recursos humanos y no humanos reunidos en una organización temporal para alcanzar un objetivo específico. Sin embargo, la administración de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades establecidas para cumplir o exceder las necesidades y expectativas de los clientes.

Una característica crítica de las empresas y personas exitosas es la capacidad de llevar a cabo lo que se planea, y esto lo podemos observar en todos los proyectos cotidianos de la vida, por más insignificantes que parezcan. Si planeamos y administramos, tenemos probabilidades más altas de cumplir con los objetivos.

Nos centramos en la idea de que grandes productos generan a la vez grandes compañías. Cuando la misión de construir y mantener grandes productos se encuentra dentro del núcleo de todo lo que la compañía realiza, el resultado es la creación de valor significativo.

La forma en que los ingenieros diseñan sus productos continuará evolucionando a medida que la tecnología avance. En el futuro, una ingeniería flexible permitirá a las compañías implementar distintos procesos de diseño, los cuales harán que se diferencien de sus competidores. Mientras la información sea compartida por fuentes tan diversas y accesada para colaborar en tiempo real, los objetivos de las compañías y de los clientes finales lograrán ser satisfechos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NMX-J-150/1-1998–ANCE, "Coordinación de Aislamiento, Parte 1: Definiciones, principios y reglas".
- [2] Velásquez S., De la Rosa C., *Manual de diseño de blindaje en Subestaciones*, IIE, Diciembre 1980.
- [3] IEC 60-1: 1989, "High Voltage Test Techniques: Part 1: General Definition and Test Requirements".
- [4] IEC 71-1: 1993, "Insulation co-ordination, Part 1: Definitions, principles and rules".
- [5] IEC 71-2: 1996, "Insulation co-ordination, Part 2: Application guide".
- [6] Manual de Diseño de Subestaciones, *Disposiciones Constructivas*, Ingeniería Eléctrica, Gerencia de Planeación e Ingeniería. Edit. Relaciones Industriales, Compañía de Luz y Fuerza del Centro, 1974.
- [7] Gilberto Enríquez Harper, *Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas*, Edit. Limusa, 1979.
- [8] IEC 721-2-3: 1987, "Classification of Environmental Conditions Part 2: Environmental Conditions Appearing in Nature Air Pressure".
- [9] LFC-ING-006 Especificación, "Apartarrayos de Óxidos Metálicos para Sistemas de 23 a 400 kV". Marzo 2001.
- [10] Parizy, Allodi, Blokker, "The Effect of Safety Regulation on the Design of Substations", Committee No. 23 (Substations), meeting at Stresa Italy. September 1971.
- [11] NOM-001-SEDE-1999, "Instalaciones Eléctricas, utilización".
- [12] IEEE Std. 998, 1996, "Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations", New York,
- [13] A.R. Hileman, *Insulation Coordination for Power Systems*, N.Y.: Marcel Dekker USA, serie Power Engineering, 1999.
- [14] IEC 60099-4: 1998, "Surge arresters, Part 4: Metal-Oxide Surge Arresters without Gaps for A.C. Systems".
- [15] IEC 60099-5: 2000, "Surge arresters, Part 5: Selection and application recommendations".
- [16] IEC 60099-1: 1999, "Surge arresters, Part 1: Non-linear resistor type gapped surge arresters for a.c. systems".
- [17] A. Greenwood, *Electrical Transients in Power Systems*, 2^o Edition Wiley & Sons, Inc. 1991.
- [18] H. A. Peterson, *Transients in Power Systems*, General Electric Company, 1951.
- [19] G. Enríquez H., *Técnica de las Altas Tensiones – Estudio de Sobretensiones Transitorias en Sistemas Eléctricos y Coordinación de Aislamiento – Volumen II*, 2a Predicción, Editorial LIMUSA, 1978.
- [20] J. Viqueira L., *Redes Eléctricas Volumen II*, 2a Edición, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A., 1973.