

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**DISEÑO DE SALAS ELÉCTRICAS PREFABRICADAS**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELÉCTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

CARLOS DAVIRAN SUAZO

**PROMOCIÓN  
2011- II**

**LIMA – PERU  
2015**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente informe a mi familia; y en especial a mi madre Vilma Suazo Ávila, quien ha sabido forjarme y guiarme a lo largo de toda mi vida tanto en lo profesional como en lo personal.

## SUMARIO

Las altas demandas de energía y el variado equipamiento que tienen los diversos sectores de la industria en sus procesos de operación y funcionamiento crean la necesidad de implementar soluciones capaces de controlar y automatizar tales procesos de una manera cada vez más eficaz técnica y económicamente.

En el presente informe se describe una sala eléctrica prefabricada de estructura metalmecánica transportable que contiene diversidad de equipos eléctricos que permite conectarlo a un sistema de media tensión, atendiendo los requerimientos de cargas de todo tipo de industria.

Las salas eléctricas son construidas, equipadas e integradas completamente en fábrica, en caso de salas eléctricas muy grandes, estas se construyen en secciones o módulos tipo container, estos están preparados para ser transportados por vía terrestre o marítima para posteriormente ser instalados sobre bases o losas de concreto.

De esta manera evitamos la construcción de subestaciones en obras civiles que demandan mayor tiempo, son más costosas y tienen una infraestructura poco flexible.

## INDICE

<b>SUMARIO</b> .....	V
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Objetivo principal.....	3
1.4 Objetivos específicos.....	3
1.5 Importancia o justificación del informe .....	3
1.6 Método de trabajo.....	4
1.7 Síntesis.....	4
<b>CAPITULO II</b>	
<b>MARCO TEORICO</b>	
2.1 Subestaciones eléctricas.....	5
2.2 Subestaciones de distribución.....	7
2.3 Salas eléctrica.....	7
<b>CAPITULO III</b>	
<b>DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y FUNCIONAL DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE UNA SALA ELÉCTRICA</b>	
3.1 Equipamiento principal.....	10
3.1.1 Centro de control de motores.....	10
3.2. Equipos auxiliares.....	13
3.2.1 Sistema ininterrumpido de energía ( UPS ).....	13
3.2.2 Tableros de distribución de baja tensión.....	15
3.2.3 Transformadores tipo seco de baja tensión.....	17
3.2.4 Cargador rectificador y banco de baterías.....	19
3.2.5 Sistema de aire acondicionado.....	21
3.2.6 Sistema de presurización.....	22

3.3 Sala eléctrica prefabricada.....	23
--------------------------------------	----

#### **CAPITULO IV**

#### **CRITERIOS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN E INTEGRACIÓN DE EQUIPOS DE UNA SALA ELÉCTRICA**

4.1 Procesos involucrados en la fabricación de una sala eléctrica.....	28
4.2 Ingeniería de salas eléctricas.....	28
4.2.1 Layout ( disposición de equipos ).....	29
4.2.2 Cálculos de ingeniería.....	30
4.3 Proceso constructivo.....	37
4.3.1 Fabricación mecánica.....	37
4.4 Integración Eléctrica.....	44
4.4.1 Montaje de accesorios.....	44
4.4.2 Instalación de alumbrado y tomacorrientes.....	46
4.4.3 Instalación de equipos dentro de sala eléctrica.....	48
4.4.4 Sistema de aterramiento.....	50
4.4.5 Cableado y conexionado.....	52
4.4.6 Instalación del sistema de aire acondicionado y presurización.....	55
4.5 Pruebas FAT.....	57
4.5.1 Pruebas mecánicas.....	57
4.5.2 Pruebas eléctricas.....	58
4.6 Presentación de resultados.....	60
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO E.....</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>110</b>

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en el en el Perú diversas empresas privadas y nacionales vienen invirtiendo en nuevos proyectos de minería, petróleo, gas, pesquería, etc. Esto conlleva a la construcción y/o expansión de nuevas plantas, puertos, refinerías en diversos sectores de la industria. Tal crecimiento implica nuevas cargas eléctricas para el sistema eléctrico nacional; en tal sentido del crecimiento de la demanda eléctrica y los proyectos inmersos en él. Estos deben ser sostenibles técnica y económicamente dentro de los diversos proyectos, los cuales debido a su complejidad requieren un adecuado diseño que permita la máxima efectividad técnica y económica. En los diversos procesos propios de la operación de los sectores tales como minería, petróleo, gas, etc. se tienen mecanismos y accionamientos los cuales deben ser operados y automatizados de la manera más eficientemente posible.

El presente informe, describe los criterios de diseño, fabricación e integración de equipos eléctricos de una sala eléctrica; la cual enfocamos como una solución integral para alimentar y controlar las cargas de baja tensión de todo tipo de industria, así como arranque de motores, alimentación de servicios auxiliares, alimentación de cargas críticas de energía, etc.; todo ello centralizado desde una sala eléctrica metalmecánica.

Se analiza las ventajas que brinda esta solución compacta, transportable y fabricado en su totalidad en la planta; frente a una subestación eléctrica construida en obra civil.

### **Organización del informe**

El presente informe está organizado de la siguiente forma:

Capítulo I:

Planteamiento del problema a analizar, objetivos, importancia y soluciones.

Capítulo II:

Marco teórico de las subestaciones y en particular de una sala eléctrica.

Capítulo III:

Descripción técnica y funcional de los principales equipos de una sala eléctrica.

Capítulo IV:

Criterios de diseño, fabricación e integración de equipos de una sala eléctrica.

Conclusiones y recomendaciones.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Introducción**

En este capítulo se describe la problemática que motiva la realización del informe, la cual consiste principalmente en mostrar los criterios de diseño de una sala eléctrica y su equipamiento principal y equipos auxiliares dando a conocer las ventajas que tiene una solución como lo es una sala eléctrica prefabricada tipo container frente a una subestación eléctrica convencional construida con obras civiles.

Se hace un análisis técnico económico y temas de seguridad al construir una sala eléctrica prefabricada tipo container y una sala eléctrica de construcción civil.

#### **1.2. Descripción del problema**

Los altos estándares de productividad, eficiencia y calidad de servicio de la energía eléctrica exigidos por el mercado hoy en día exigen a las empresas un mejor manejo de sus sistemas eléctricos en sus procesos de operación.

En este entorno se requiere diseñar sistemas que sean capaces de operar los diversos procesos de la industria e implementar soluciones eficientes para distribuir energía eléctrica a la gama de equipos lineados a su producción.

Se plantea en este sentido el uso de salas eléctricas prefabricadas, que son una estructura metalmecánica transportable que puede contener una variedad de equipos para distribuir energía, controlar sistemas, automatizar procesos y multiplicidad de aplicaciones.

Estas salas eléctricas son construidas, equipadas e integradas completamente en la fábrica. En caso las salas sean muy grandes se construyen en módulos desmontables que pueden ser transportados sin inconveniente para luego ser montados en sitio sobre bases o losas de concreto.

Por ende haciendo un análisis técnico y económico estas salas eléctricas resultan ser más eficaces que construir una subestación eléctrica de construcción de obras civiles; puesto que se tiene que trasladar personal, equipos, materiales, etc. a sitio para su construcción, implementación y puesta en servicio al lugar final donde se instalará la subestación. Todo ello resulta mucho más costoso que usar una sala eléctrica prefabricada.

En el presente informe se irá desarrollando y viendo la optimización de espacios dentro de la sala eléctrica que contribuyen a la eficiencia del sistema.

Se concluirá con un cuadro comparativo que muestra los resultados y el análisis hecho de la comparación de construir la sala tipo container o de tipo de obra civil.

### **1.3. Objetivo principal**

Desarrollar los criterios de diseño, fabricación e integración de equipos principales de una sala eléctrica prefabricada en base a la experiencia y necesidades de la industria, basándonos en la normativa nacional e internacional aplicable a este tipo de subestaciones eléctricas compactas del tipo container.

### **1.4. Objetivos específicos**

- a) Efectuar la ingeniería para el diseño, fabricación y pruebas de una sala eléctrica prefabricada y su aplicación en los sistemas de distribución de baja tensión.
- b) Mostrar el funcionamiento en conjunto de una sala eléctrica prefabricada y sus aplicaciones en cualquier sector de la industria, mostrando las ventajas frente a otras aplicaciones similares.
- c) Analizar las ventajas técnicas y económicas de fabricar una sala eléctrica de estructura metal mecánica frente a una subestación eléctrica de construida con obras civiles.
- d) Minimizar la probabilidad de ocurrencia de accidentes durante la fabricación de la sala eléctrica y uso de equipos y consumibles ecológicos que se rigen a los estándares de medio ambiente.

### **1.5. Importancia o justificación**

En los últimos años el sector petróleo y minero en particular han ampliado sus operaciones y procesos asociados a su sector. En tal sentido requieren alimentar equipos tales como motores, fajas, molinos, sistemas de control y diversas cargas eléctricas alineados a su producción. Todos aquellos equipos deben ser operados en coordinación y de la manera más eficiente y automatizada usando los menores recursos posibles.

Las salas eléctricas prefabricadas y el diverso equipamiento que puede instalarse en ella cumple con las expectativas técnicas y económicas de operación, debido a la coordinación y automatización de sus sistemas; todo esto concentrado en solo lugar para su mayor operatividad y fácil acceso.

Según los estudios realizados por la división Process Automation de la empresa ABB en sus diversos clientes del sector minero, muestra que requieren soluciones inteligentes, transportables, compactas y automatizadas con la más alta calidad y al menor precio.

Producto de ello se presenta la necesidad de implementar las subestaciones eléctricas compactas y transportables que son las salas eléctricas prefabricadas tipo container.

### **Motivación**

Comprender la importancia y ventajas de la implementación de las salas eléctricas y su equipamiento en los diversos sectores de la industria. Además de analizar las



necesidades de los clientes que tendrán en el futuro y mostrar el beneficio de tener un sistema versátil como lo es una sala eléctrica. Actualmente la demanda de estos tipos de subestaciones eléctricas en la minería va en aumento y se vienen ejecutando proyectos con estas soluciones inteligentes que cubren las expectativas de los clientes. En este contexto se necesita que la solución sea cada vez la más adecuada y eficiente.

### **Limitación**

Para el análisis de la necesidad del proyecto se utilizó resultados obtenidos e informes elaborados por la empresa ABB.

### **1.6. Método de trabajo**

Para el desarrollo del presente informe se recopiló información del proyecto PLANTA MINERA INMACULADA – SALAS ELÉCTRICAS para el cliente CIA Minera Ares y TOROMOCHO PROJECT para el cliente CIA Chinalco ejecutado por la empresa ABB S.A., de la cual se basa y se explica el funcionamiento, diseño e integración del equipamiento de una sala eléctrica prefabricada. Donde se revisó la normativa del equipamiento interno, las memorias de cálculo, los conceptos de diseño de una sala eléctrica, fabricación, integración y pruebas.

Para ello se revisaron los diagramas eléctricos de cada equipo, los esquemas funcionales, las especificaciones técnicas de los equipos, las hojas de datos de los equipos, el diseño electromecánico de la sala eléctrica y los diversos planos de los equipos eléctricos y la sala prefabricada desarrollada por la empresa ABB. Así mismo se revisaron los manuales de operación y mantenimiento de los equipos principales y auxiliares de las salas eléctricas.

### **1.7. Síntesis**

En el presente informe se desarrolla el proceso para la selección de equipos de una sala eléctrica, así mismo el proceso de fabricación de la sala eléctrica prefabricada y la integración del equipamiento eléctrico. Para lo cual se brinda los conceptos teóricos necesarios, se da énfasis en los principios y criterios de diseños del proceso de integración de los equipos que van dentro de la sala eléctrica.

Se revisa la normativa del equipamiento interno y también la normativa para la integración.

## CAPITULO II MARCO TEÓRICO

En este capítulo daremos a conocer los principales aspectos teóricos a considerar sobre las subestaciones eléctricas de distribución. Y en particular como es nuestro caso de estudio una subestación eléctrica prefabricada de baja tensión tipo container.

### 2.1 Subestaciones eléctricas

Las subestaciones eléctricas son las instalaciones encargadas de realizar transformaciones de la tensión, de la frecuencia, del número de fases o la conexión de dos o más circuitos. Pueden encontrarse junto a las centrales generadoras y en la periferia de las zonas de consumo, en el exterior o interior de los edificios. Actualmente en la industria las subestaciones están cerca del lugar donde alimentan sus cargas para ahorrar espacio y contaminación. En la fig. 2.1 se muestra el esquema general referencial de los sistemas eléctricos, desde el sistema de generación, sistema de transmisión y finalmente el sistema de distribución domestica e industrial. [ 1 ]

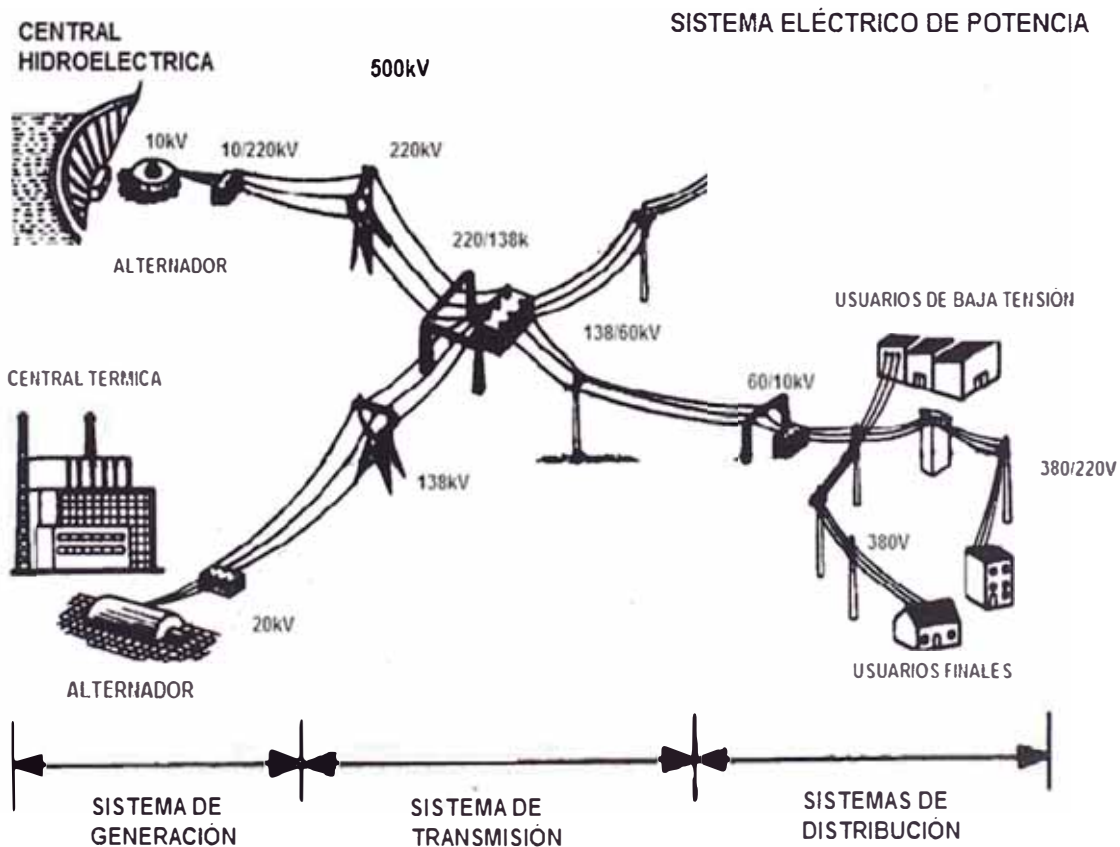


Fig. 2.1 Esquema general referencial de los sistemas eléctricos

### **a) Niveles de tensión de subestaciones**

Las subestaciones eléctricas según el nivel de tensión se clasificarán en baja tensión, media tensión, alta tensión y muy alta tensión. Estos niveles de tensión son los siguientes:

- Baja tensión : voltaje  $\leq 1\text{kV}$
- Media tensión:  $1\text{kV} < \text{voltaje} < 35\text{kV}$
- Alta tensión:  $35\text{kV} < \text{voltaje} < 230\text{kV}$
- Muy alta tensión: voltaje  $> 230\text{kV}$

### **b) Niveles estándares de tensión**

Los niveles estándares de tensión según el tipo de subestaciones son:

- Baja tensión: 380 / 220 V, 440 / 220 V.
- Media tensión: 10kV, 22.9kV, 33kV, 22.9 / 13.2 kV, 33 / 19 kV.
- Alta tensión: 60kV, 138 kV, 220 kV.
- Muy alta tensión: 500kV.

### **c) Clasificación de subestaciones**

Según la Dirección General de Electricidad (del MEM), las subestaciones se clasifican:

- **Según su función.**

Subestación de transformación: Es aquella subestación equipada con transformadores y elementos de control, maniobra y protección, tanto en el lado primario como en el secundario, para la transformación de una tensión nominal a otra.

Subestación de Seccionamiento: Es aquella subestación equipada con dispositivos de protección, maniobra y eventualmente de control para la conexión y desconexión de circuitos. No tiene transformador.

- **Por su ubicación en el sistema eléctrico.**

Subestación de elevadora.

Subestación intermedia de transformación.

Subestación final de transformación.

Subestación de transmisión

Subestación de sub-transmisión.

Subestación de distribución.

- **Por su forma de instalación.**

Subestación de interior.

Subestación de intemperie.

Subestación final de transformación.

Subestación de transmisión

Subestación de sub-transmisión.

Subestación de distribución.

## 2.2 Subestaciones de Distribución

Conjunto de instalaciones para la transformación y/o seccionamiento de la energía eléctrica, que recibe de una red de distribución primaria y la entrega a un sub-sistema de distribución secundaria, instalaciones de alumbrado público, a otra red de distribución primaria, o a usuarios alimentados a tensiones de distribución primaria o secundaria.

Comprende generalmente el transformador de distribución, los equipos de maniobra, protección y control; tanto en el lado primario como en el secundario, y eventualmente las edificaciones para albergarlas. Las subestaciones de distribución se acuerdo a su equipamiento pueden ser: [2]

- **Tipo convencional:** Es la subestación de distribución cuyo equipamiento es del tipo interior y está instalado en una caseta apropiada en la que se ha previsto pasadizos y espacios de trabajo.
- **Tipo aérea:** Es la subestación de distribución cuyo equipamiento es del tipo exterior (a la intemperie) y está instalado sobre el nivel del piso sobre uno o dos soportes. Si la subestación aérea esta soportada en un poste (generalmente de concreto armado pretensado) es tipo mono poste. Y si está soportada por 2 postes unidos entre sí por una plataforma en la que se asienta el transformador (generalmente de concreto pretensado) es del tipo biposte.
- **Tipo compacta:** Es la subestación de distribución cuyo equipamiento es del tipo exterior (a la intemperie) y tiene un transformador de distribución trifásico no convencional denominado transformador compacto, porque tiene los dispositivos de protección y maniobra incorporados dentro de la cuba o tanque de aceite dieléctrico.

## 2.3 Sala eléctrica

Una sala eléctrica es una subestación eléctrica de distribución del tipo convencional según la clasificación de la Dirección General de Electricidad (del MEM).

Las salas eléctricas contienen en su interior una diversidad de equipos que permite distribuir energía, automatizar procesos, controlar y proteger sistemas de la industria en general. Las salas eléctricas según el ambiente que las contiene son de 2 tipos: [3]

- **Sala eléctrica convencional:** El equipamiento está instalado dentro de una construcción de obras civiles.
- **Sala eléctrica prefabricada:** El equipamiento va dentro de un contenedor de estructura metal mecánica prefabricada.

### **a) Elementos principales de una sala eléctrica**

Las salas eléctricas tienen una diversidad de equipos que se pueden instalar en su interior para su óptimo funcionamiento según sea el uso final de la sala eléctrica. Para el caso de una sala eléctrica de baja tensión los principales equipos son:

- Celda de baja tensión
- Centro de control de motores
- Tablero general de distribución
- Tablero de servicios auxiliares
- Tablero de sistema de iluminación y tomacorrientes
- Transformador seco de baja tensión
- Sistema de energía ininterrumpida (UPS)
- Cargador rectificador
- Banco de baterías
- Sistema de aire acondicionado
- Sistema de presurización

### **b) Niveles de corriente de corto circuito de una sala eléctrica**

Las salas eléctricas tienen un nivel variado de corriente de corto circuito según sea su aplicación en el sector de la industria y los niveles de tensión que opera. Para el caso de una sala eléctrica de baja tensión los principales niveles de corriente de corto circuito son:

- 65 kA Sym
- 40 kA Sym
- 25 kA Sym
- 21 kA Sym
- 18 kA Sym
- 10 kA Sym
- 5 kA Sym

### **c) Niveles de tensión de una sala eléctrica**

Los niveles de tensión para las salas eléctricas varían según el requerimiento de su aplicación si las son de media tensión pueden trabajar hasta 36kV. Para el caso de salas eléctricas de baja tensión se tienen los siguientes niveles de tensión:

- 480 VAC
- 400 / 231 VAC
- 230 VAC
- 208 / 120 VAC
- 120 VAC

- 125 VDC
- 48 VDC
- 24 VDC

#### **d) Condiciones ambientales para el diseño de salas eléctricas**

Se tienen en consideración las condiciones ambientales donde serán instaladas las salas eléctricas puesto que los fabricantes de los equipos que irán en el interior de las salas tienen consideraciones particulares para las distintas consideraciones ambientales. Para las salas eléctricas prefabricadas se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Altitud máxima de instalación: 5000 m.s.n.m.
- Temperatura ambiente máxima: 40°C
- Temperatura ambiente mínima: -5°C
- Humedad relativa máxima : 90%
- Velocidad máxima del viento: 90 km/h
- Condiciones sísmicas : Zona sísmica 3 de acuerdo al código nacional de construcción E.030 (0.4g aceleración)

Para condiciones que estén fuera del rango antes mencionado, se deberá consultar con los fabricantes de cada equipo que ira dentro de las salas eléctricas. En la Fig. 2.2 se muestra una sala eléctrica prefabricada tipo container, montada sobre pilotes de concreto con sus respectivos accesos.



**Fig. 2.2** Esquema general referencial de los sistemas eléctricos

## CAPITULO III

### DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y FUNCIONAL DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE UNA SALA ELÉCTRICA

En este capítulo se describe los diversos equipos que irán dentro de la sala eléctrica, la normativa que se usa para su fabricación y la funcionalidad de los mismos.

#### **3.1. Equipamiento principal**

Las salas eléctricas prefabricadas constan de una serie de equipos y accesorios que en su conjunto forman una solución compacta y versátil para el sector de industria, minería, petróleo, etc.

Los equipos principales de una sala eléctrica son integrados entre si y guardan una coordinación técnica y funcional para el óptimo desempeño de la sala eléctrica.

##### **3.1.1 Centro de control de motores**

Los centros de control de motores son sistemas que nuevos sistemas que normalmente se utilizan para controlar distintas variables relacionadas con los motores que operan dentro de una planta.

Respecto a su inteligencia de los centro de control de motores comenzó a atribuírsele esa característica a aquellos sistemas capaces de transmitir ciertos estados de operación y señales, provenientes de los controladores de motores contenidos en un determinado tablero

Los centro de control de motores (CCM), permiten elegir la solución adecuada diseñada con precisión para satisfacer las necesidades de la industria.

Cumpliendo las más estrictas exigencias de fiabilidad y disponibilidad, constituyendo una inversión de futuro dada su permanente actualización.

Sus sistemas modulares permiten expandirse en el futuro si así lo requiere el usuario final.

Los centros de control de motores son sistemas que nuevos sistemas que normalmente se utilizan para controlar distintas variables relacionadas con los motores que operan dentro de una planta.

En la fig. 3.1 se muestra un centro de control de motores con interruptores extraíbles, medidor multifunción, relés, mandos de control, señalización de apertura y cierre, manijas de bloqueo y extracción.





**Fig. 3.1** Centro de control de motores

La alta flexibilidad de los CCM'S, complementada con sus módulos estandarizados y extraíbles, ofrece la solución perfecta para cualquier aplicación de la industria.

Su diseño modular, la estructura, la disposición interior y el tipo de servicio, se pueden adaptar a los requisitos particulares de funcionamiento y medio ambientales.

Los centros de control de motores son sistemas inteligentes, para aplicaciones en sistemas eléctricos hasta desde 600 A hasta 4000 A en barras principales y barras derivadas verticales de 800 y 1600 A.

El diseño y los materiales empleados en los CMM, evitan en gran manera la generación de un arco interno y permiten su extinción rápidamente en caso de producirse.

**Estándares y especificaciones:** Los centro de control de motores son diseñados, fabricados y probados de acuerdo con las siguientes normas industriales según sea el caso:

- UL845 - Low Voltage Motor Control Centers.
- UL50 – Enclosures for Electrical Equipment.
- NRF-247-PEMEX-2010.
- NFPA 70E – National Electric Code Safety Requirements.



- NFPA 70 – National Electric Code .
- NEMA ICS 1B – Motor Control Centers.
- NEMA 250 – Enclosures for Electrical Equipment.

**Características principales de los centro de control de motores:** Los CCM son sistemas inteligentes que son diseñados para cumplir con los requerimientos de la industria. [4]

Entro sus principales características tenemos lo siguiente:

- Máxima seguridad personal y óptima confiabilidad operativa.
- Alta confiabilidad en la continuidad de servicio y mínimas necesidades de mantenimiento.
- Diseño modular que permite disposiciones compactas para ahorro de espacio y mayor cantidad de módulos por columna.
- Canal de cables (Ducto Vertical) disponibles de 4" y 8" de ancho para mayor facilidad de conexión de las acometidas de salida y trabajos de mantenimiento.
- Fácil Combinación de las diferentes tecnologías de módulos en la misma columna: Extraíbles, enchufables/plug-in y fijos.
- Posiciones con sólidos enclavamientos mecánicos, para módulos: Servicios (ON), fuera de servicio (OFF), aislado, extraído.
- Extracción y conexión de módulos con el tablero energizado y con puertas en todo momento, brindando así máxima seguridad ante cualquier ocurrencia de falla.
- Extracción e inserción de silletas sin necesidad de herramientas, el acceso para conexiones es por el frente.
- Uniones de secciones de sencillo acoplamiento y son realizadas desde el frente y sin herramientas especiales.
- Arrancadores extraíbles hasta tamaño NEMA 5, los tamaños NEMA 6 y 7 son secciones completas de ejecución fija por combinación..
- Integración con arrancadores suaves de estado sólido y variadores de frecuencia.

**Características técnicas de los centro de control de motores:** La TABLA N° 3.1 muestra los datos técnicos de un centro de control de motores para un sistema de baja tensión.

**TABLA N° 3.1.** Datos técnicos de un centro de control de motores

Sistema	
Modelo de Tablero	MNS - MCC
Tipo de Sistema	3Phase - 3Wire
Voltaje del Sistema	480VAC
Capacidad de corriente de corto circuito	65kA
Voltaje de Control en cubículo	120Vac
Altitud sobre el nivel del mar	1000 msnm.
Frecuencia del Sistema	60Hz
Sistema de Tierra(En Parte Inferior)	Bus de Tierra
Tipo de Certificación	UL
Estándares de Diseño	UL 845
Temperatura Ambiente	40°C
Voltaje de Aislamiento	1000 VAC
Nivel Básico de Aislamiento al impulso	8 kV
Capacidad Corriente de Corto Circuito Pico	149.5 kA
Voltaje de Prueba / circuitos de control	2.5 kV / 2.0 kV 1min
Construcción	
Instalación	Interior
Estructura Sísmica - Zona 3	Yes
Recubrimiento de Estructura	Galvanized
Conexiones de Servicio del Equipo	
Dirección de Acometida Principal	Superior
Tipo Conexión de Acometida Principal	Cable
Dirección de Acometida Derivados	Inferior
Buses	
Material	Cobre
Acabado del Bus	Plateado
Capacidad de Bus Principal (A)	600A-4000 A
Capacidad de Bus Vertical (A)	800A-14600A
Capacidad Bus de Tierra (A)	400A
Calibre de Alambrado de Control	16 AWG

### 3.2. Equipos auxiliares

Los equipos auxiliares de una sala eléctrica son los encargados de garantizar funcionamiento óptimo de los servicios auxiliares propios de la sala eléctrica.

Garantizan la operatividad y confiabilidad de los sistemas, dando respaldo a las cargas críticas y a los sistemas de control.

#### 3.2.1 Sistema ininterrumpido de energía ( UPS )

Los UPS son especialmente diseñados para alimentar y proteger equipos industriales típicos como motores, controladores de velocidad de motor, lámparas, cargas no lineales, equipos de soldadura y fuentes de alimentación, también es perfectamente capaz de alimentar equipos de control como controladores programables, sensores y

aparatos de medición, además de integrarse perfectamente en los entornos industriales más exigentes. [5]

**Estándares y especificaciones:** Los sistemas de energía ininterrumpida son diseñados, fabricados y probados de acuerdo con las siguientes estándares según sea el caso:

- IEC 62040 – International electrotechnical comisión UPS.
- IEC60076-11 – Dry type transformers.

**Características principales de los UPS:** Los UPS son especialmente diseñados para uso interior y están diseñados para respaldar las cargas críticas de los sistemas tales como los motores, controladores de velocidad, sistemas de control, servidores, etc.

Entre sus características principales tenemos lo siguiente:

- Diseñado para proteger los procesos industriales.
- Autonomía de los sistemas según diseño a plena carga.
- Solución compacta con transformador de aislamiento y baterías integradas.
- Gabinete robusto.
- Anclaje al suelo (para evitar vuelcos).
- Grado de protección según requerimiento para entornos severos con filtros de aire fácilmente reemplazables.
- Amplia tolerancia de tensión de entrada de -25 % hasta +10 % de tensión nominal.
- La elevada eficiencia reduce la pérdida de energía y la necesidad de aire acondicionado.
- Máxima seguridad personal y óptima confiabilidad operativa.
- Alta confiabilidad en la continuidad de servicio y mínimas necesidades de mantenimiento.
- Distorsión Armónica: 5% máx. (THD).
- Capacidad: según lo indicado en las hojas de datos.
- Celdas de Baterías: De Plomo Acido, Selladas, Libres de mantenimiento (VRLA).
- Factor de potencia 0,95.
- Transferencia inversor by-pass.

**Modos de operación de los UPS:** Los sistemas ininterrumpidos de energía UPS para uso óptimo desempeño tienen los siguientes modos de operación:

- Modo normal; las cargas críticas conectadas son continuamente alimentadas por el UPS. El rectificador/cargador toma energía de la fuente de corriente alterna (CA) y suministra energía en CC al inversor y simultáneamente a las baterías en carga flotante.

- Modo de recarga; ante la restauración de la energía en corriente alterna (CA), el rectificador/cargador deberá reiniciar su operación automáticamente y asumir gradualmente las cargas del inversor y de las baterías.
- Modo de bypass; Si el UPS es retirado de servicio para su mantenimiento o reparación, o la capacidad del inversor ha sido excedida, el conmutador estático deberá efectuar una transferencia de la carga desde el inversor a la fuente de Bypass sin interrupción del suministro a las cargas críticas.

**Componentes de los UPS:** Los sistemas ininterrumpidos de energía UPS son diseñados con un transformador de aislamiento a la entrada del UPS con factor  $k=13$  como mínimo para garantizar el bajo porcentaje de la distorsión armónica.

El UPS tiene los siguientes componentes básicos:

- Transformador de aislamiento.
- Rectificador cargador.
- Inversor.
- Conmutador de transferencia.
- Banco de baterías.

### 3.2.2 Tableros de distribución de baja tensión

Los Tableros de Distribución de Baja Tensión son aptos para su utilización en las sub-estaciones principales, secundarias y en lugares donde se desee tener un grupo de interruptores con relés de sobrecargas y cortocircuitos; destinados a proteger y alimentar a las cargas eléctricas. [6]

Los Tableros de distribución constituyen una parte inherente a toda red eléctrica y se fabrican para conducir desde algunos pocos amperios hasta el orden de 4000Amp, así como para soportar los niveles de corrientes de cortocircuito y los niveles de tensión de la red eléctrica.

Los interruptores pueden ser del tipo bastidor abierto, en caja moldeada o tipo miniatura (riel DIN) y se pueden equipar con accesorios para mando local y a distancia.

Existe una amplia variedad de equipos que pueden ser instalados en estos tableros, se fabrican para instalación interior bajo techo o para instalación a la intemperie

**Estándares y especificaciones:** Los tableros de baja tensión son diseñados, fabricados y probados de acuerdo con los siguientes estándares según sea el caso:

- IEC Comisión Electrotécnica Internacional

**Características principales de los tableros de baja tensión:** Son modulares, autosoportados o murales, fabricadas con estructuras de plancha de fierro o acero galvanizado de hasta 3mm, puertas, techo y tapas.

El grado de protección estándar es IP20 y se pueden fabricar hasta con un grado de protección IP65 (protegido contra el polvo y contra chorros de agua en cualquier dirección).

Todas las superficies metálicas son pintadas con dos capas de pintura de base anticorrosiva y dos capas de pintura del color especificado por el usuario.

La estructura está formada por columnas y travesaños soldados entre sí (también se puede suministrar con estructuras empernadas) para proporcionar un alto grado de robustez mecánica.

Las estructuras y la soportería son completamente modular, permitiendo añadir nuevas estructuras hacia los costados para ampliación futura.

Las tapas laterales, posteriores y el piso son desmontables, el frente dispone de puerta frontal con rejillas de ventilación y/o con ventiladores; dependiendo de la cantidad de calor que es necesario disipar.

Cada puerta dispone de bisagras robustas y cerraduras tipo manija con llave que proporcionan hasta tres puntos de contacto con la estructura del tablero.

La ubicación de los equipos internos se efectúa de tal manera de brindar la mayor facilidad posible para la instalación y mantenimiento; así como para proporcionar la mayor seguridad para los operadores y las instalaciones y para brindar un alto grado de continuidad de servicio.

Todas las partes metálicas son conectadas a una barra de tierra firmemente empernada a la estructura del gabinete.

**Interruptores y barras:** Los interruptores para circuitos de corriente alterna serán trifásicos o monofásicos según se requiera.

Los interruptores para los circuitos de corriente continua son bifásicos; para los tableros de distribución de fuerza los interruptores principales como los interruptores de los circuitos derivados serán de caja moldeada.

En el de los tableros de distribución de alumbrado y tomacorrientes, el interruptor principal debe ser de caja moldeada.

Los interruptores derivados serán según se requiera en base al diseño; los interruptores automáticos serán termo-magnéticos, clase de aislamiento 600 VAC, 60 Hz para circuitos de corriente alterna.

La TABLA N° 3.2 indica la capacidad mínima de ruptura de los interruptores automáticos tal como se muestra.

**TABLA N° 3.2.** Capacidad mínima de ruptura de interruptores

Voltaje Nominal	Fases	Capacidad de Ruptura
480 VAC -60hz	3Ø	65 kA en 480 VAC
230 VAC -60hz	3Ø	18 kA en 230 VAC (Tablero de Alumbrado)
120 VAC -60hz	1Ø	10 kA en 120 VAC
125 VDC	2	10 kA en 125 VDC

Las barras son de cobre, capacidad mínima de 100 A, aisladas para 600 VAC en tableros de corriente alterna y 250 VDC en tableros de corriente continua, las barras tendrán aislamiento según se requiera, pueden ser aisladas con mangas termo contraíbles, estañadas, plateadas o pintadas.

### 3.2.3 Transformadores tipo seco de baja tensión

Los transformadores secos de baja tensión se utilizan para reducir las tensiones de distribución según el requerimiento del equipamiento al cual alimentan.

Los transformadores secos son ideales para estas aplicaciones porque pueden ser ubicados cerca del punto de utilización de la potencia lo cual permitirá optimizar el sistema de diseño minimizando los circuitos de baja tensión y alta intensidad con los correspondientes ahorros en pérdidas y conexiones de baja tensión. [7]

Los transformadores secos son libre de mantenimiento, proporcionan un excelente comportamiento a los cortocircuitos y robustez mecánica, sin peligro de fugas de ningún tipo de líquidos, sin peligro de fuego o explosión y son apropiados para aplicaciones interiores o exteriores.

Los transformadores de tipo seco encapsulado al vacío están diseñados a prueba de humedad y son adecuados para funcionar en ambientes húmedos o muy contaminados.

Son los transformadores idóneos para funcionar en ambientes que presenten una humedad superior al 95 % y en temperaturas por debajo de los -25 °C.

**Estándares y especificaciones:** Los estándares y normas aplicables para la construcción y pruebas de los transformadores secos de baja tensión serán las siguientes:

- IEC 60076-11 ( Dry type transformers )

**Características principales de los transformadores secos:** Son compactos y pueden tener diferentes grados de protección que van desde IP0 hasta IP66. modulares, por el tipo de diseño encapsulado son de libre mantenimiento y de muy bajo nivel de contaminación.

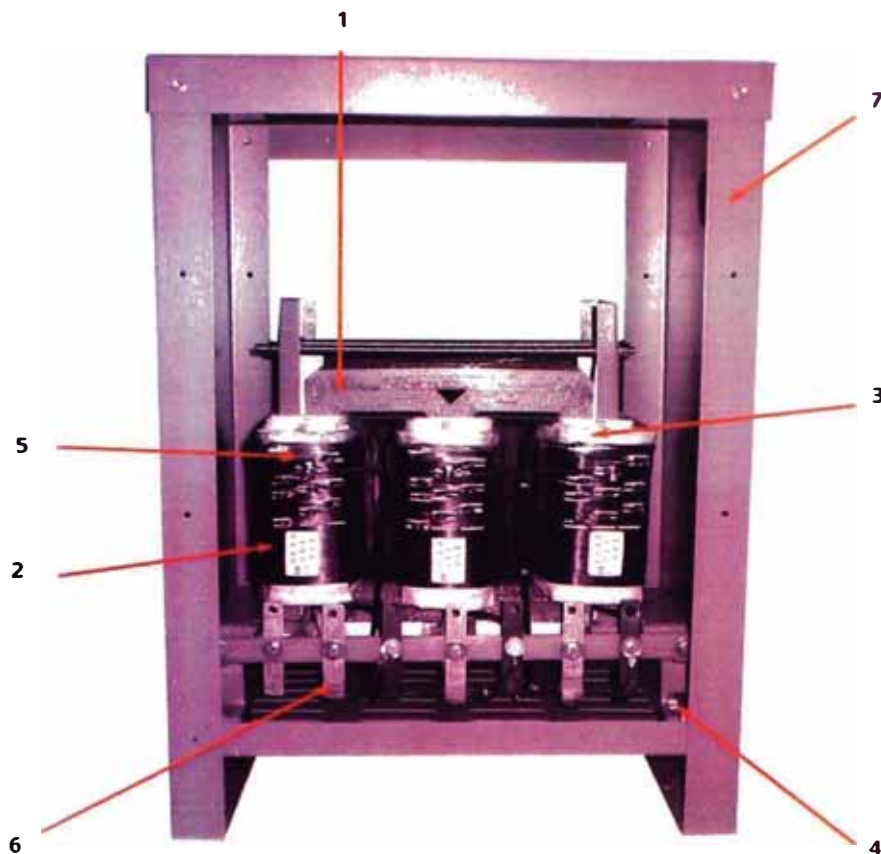
Entre sus principales características tenemos:

- Los que menos espacio necesitan.

- Los que menos trabajo de ingeniería civil precisan.
- No requieren características de seguridad especiales (detección de incendios).
- Exentos de mantenimiento.
- Una vida útil de los transformadores más larga gracias a un bajo envejecimiento térmico.
- Puede instalarse cerca del lugar de consumo reduciendo las pérdidas de carga.
- Un diseño óptimo sujeto a mejoras constantes tan pronto como se dispone de nuevos materiales.
- Son seguros y respetan el medio ambiente.
- Contaminación medioambiental reducida.
- Sin riesgo de fugas de sustancias inflamables o contaminantes.
- Fabricación segura para el medio ambiente (sistema cerrado).
- Apropriados para zonas húmedas o contaminadas.
- Sin peligro de incendio.
- Los transformadores son incombustibles.
- Alta resistencia a los cortocircuitos.
- Gran capacidad para soportar sobrecargas.
- Buen comportamiento ante fenómenos sísmicos.
- Capaces de soportar las condiciones más duras de balanceo y vibraciones.
- Impactos medioambientales mínimos.
- Alto reciclado (90 %).
- Pueden ser instalados en interior o exterior.
- Flexibilidad de dimensiones.

**Componentes principales de los transformadores secos:** La Fig. 3.2 muestra los principales componentes de un transformador seco de baja tensión impregnado en barniz.





**Fig. 3.2** Componentes de un transformador seco de baja tensión

Donde:

- 1 : Núcleo.
- 2 : Devanado primario.
- 3 : Devanado secundario.
- 4 : Soportes anti vibración.
- 5 : Derivaciones para ajuste de voltaje.
- 6 : Barras de conexión a devanados.
- 7 : Gabinete.

#### **3.2.4 Cargador rectificador y banco de baterías**

El sistema cargador rectificador y banco de baterías garantiza el suministro de tensión DC para los distintos equipos así como sistemas de control de la sala eléctrica, switch de disparo de equipos de patio, switch de disparo de interruptores.

El banco de baterías brinda la autonomía de las cargas críticas en caso haya un evento fortuito de desenergización. [8]

La autonomía de las baterías dependerá del requerimiento del usuario y el tipo de cargas a alimentar.



**Estándares y especificaciones:** Los estándares y normas aplicables para la construcción y pruebas de los cargadores rectificadores y banco de baterías serán las siguientes:

- IEC 60623 Batteries containing.
- IEC Comisión Electrotécnica Internacional.

**Características del cargador rectificador y banco de baterías:** El sistema está diseñado para suministrar energía para los sistema DC y también para dar autonomía de operación a las cargas críticas de las cargas requeridas.

El sistema conforma con un cargador rectificador y un banco de baterías, que en su conjunto forman el sistema de respaldo de energía para los sistema DC.

Entre sus principales características tenemos:

**Cargador rectificado:**

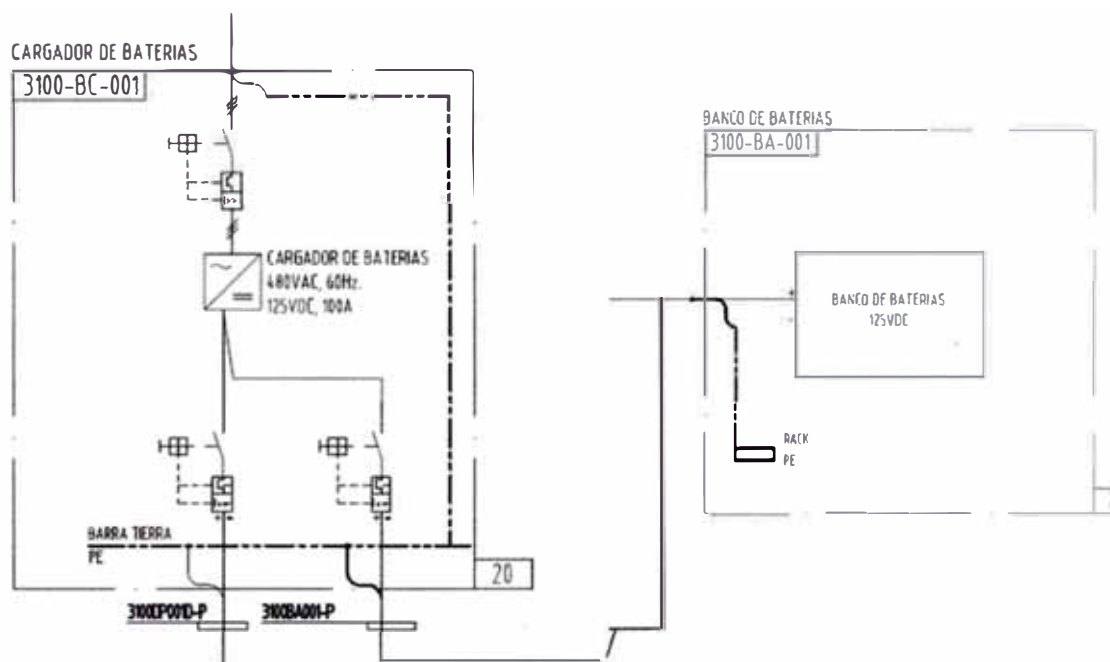
- Cargador de capacidad según diseño.
- Tecnología SCR (controlado por tiristores).
- Diseño con indicaciones visuales vía LED.
- Display LCD integrado que muestra la corriente y tensión de salida.
- Cables resistentes al fuego.
- Rotulación de componentes principales internos.
- Grado de protección según requerimiento.
- Contactor de entrada.
- Transformador de aislamiento.
- Puente rectificador de 6 pulsos.
- Regulador con ajustes digitales.
- Sistema de monitoreo digital.
- Unidad de operación y display frontal.
- Tarjeta de relés múltiples posiciones para alarmas de protección.
- Tarjeta de switch en paralelo.

**Banco de baterías:**

- Baterías de plomo ácido tipo gel, reguladas por válvulas.
- Baterías selladas libres de mantenimiento.
- Tensión nominal 125VDC
- Cantidad de baterías según diseño.
- Tecnología de placas tubulares, recombinación de gases (selladas)
- Electrolito con tecnología de gel, que ofrece ciclos de descargas más profundos y mayor manejabilidad.

- Diseño de conectores frontales para facilidad de interconexión y mantenimiento.
- Terminales de cobre de alta resistencia.
- Rigidez en construcción que permite utilización en racks en zonas sísmicas 4.
- Polo especialmente diseñado para prevenir efectivamente el derrame de electrolito y corrosión.
- Contenedor robusto, compuesto por tecnología co-polímero.
- Conectores interceldas, con conexiones de barras rígidas.
- Protectores aislantes de bornes.
- Tornillería tropicalizada y de grado.

**Interconexión eléctrica del cargador rectificador y banco de baterías:** La Fig. 3.3 muestra el diagrama de interconexión del sistema cargador rectificador con el banco de baterías, barras de tierra, interruptores de control y mando, protección diferencial de interruptores.



**Fig. 3.3** Diagrama de conexión de cargador rectificador y banco de baterías

### 3.2.5 Sistema de aire acondicionado

El sistema aire acondicionado es diseñado para mantener la temperatura de operación de la sala eléctrica.

La cantidad de equipos a suministrarse para una sala eléctrica prefabricada dependerá de cantidad de calor disipado por los equipos.

Dentro de la sala eléctrica de debe mantener una temperatura de 18°C hasta un máximo de 25°C.

Para usos industriales como es el caso de una sala eléctrica el tipo de equipo de aire acondicionado será el tipo mochila. [9]

Los equipos de aire acondicionado cuentan con la capacidad de enfriamiento sensible y latente producto de la disipación de calor térmico del equipamiento eléctrico que se monta en el interior de cada sala eléctrica.

**Estándares y especificaciones:** Los estándares y normas aplicables para la construcción y pruebas de los equipos de aire acondicionado serán los siguientes:

- Reglamento nacional de edificaciones.
- Código eléctrico nacional.
- ASA – American refrigeration institute.

**Características del sistema de aire acondicionado:** El sistema de aire acondicionado está diseñado para refrigerar la carga térmica correspondiente de las salas eléctricas en estado de operación ya sea carga parcial o carga total.

Entre las principales características del sistema de aire acondicionado de una sala eléctricas tenemos lo siguiente:

- Los equipos son montados en pared externa.
- Capacidad de climatizar en el rango de 18° hasta 25°C.
- Prevén una unidad redundante (N+1).
- El sistema es manejado por un controlador.
- El controlador tiene la capacidad de poner en stand by a un equipo de aire acondicionado o lo pondrá a funcionar dependiendo de la demanda de la carga térmica y las condiciones de sitio.
- Ductos de suministro para casos donde el foco térmico se entre distante.  
Disminuyen la humedad relativa del ambiente refrigerado.
- Sistema de refrigeración ecológica.

### 3.2.6 Sistema de presurización

El sistema presurización está diseñado para mantener la presión interna de la sala eléctrica que debe ser de 3mm de H<sub>2</sub>O como mínimo.

El sistema de presurización proporciona el suficiente aire fresco para el óptimo funcionamiento de los equipos dentro de una sala eléctrica.

**Estándares y especificaciones:** Los estándares y normas aplicables para la construcción y pruebas de los sistemas de presurización serán los siguientes:

- Reglamento nacional de edificaciones.
- Código eléctrico nacional.
- ASA – American refrigeration institute.

**Características del sistema de presurización:** El sistema de presurización en principio mantendrá siempre de una presión positiva, a fin de evitar el ingreso del aire exterior contaminado, sin previamente ser filtrado.

Para mantener las salas eléctricas presurizadas se tiene las siguientes consideraciones técnicas: [9]

- El ventilador y el punto de toma de aire se ubica en un área libre del riesgo de contaminación de humos, en el exterior de la sala eléctrica; esta área debe ser una sala separada de cualquier otro equipo de inyección de aire, debe tener un lado con malla de manera que pueda tomar aire del exterior; la cara ventilada debe dar hacia una zona donde no haya riesgo de humos.
- Es imprescindible en caso de incendio y detección de humo que el control de los motores de presurización, de forma que el contactor general actúe sobre esta alimentación y apagara el sistema automáticamente.
- El sistema que se instale debe ser del tipo supervisado desde el centro de control, asegurándose pruebas de comprobación de funcionamiento en períodos no mayores a 30 días, siguiendo recomendaciones del sistema de contra incendio.
- Adicionalmente, se prevé la instalación de un damper barométrico, que será regulado para dejar salir aire cuando la presión estática en la escalera presurizada exceda el valor de 0.10" de columna de agua; este damper barométrico constituye un elemento de seguridad que impedirá que en caso de falla del sistema automático de regulación de la presión se supere el valor de la presión en ella y se dificulte la apertura de las puertas.

### 3.3 Sala eléctrica prefabricada

La sala eléctrica prefabricada está diseñada para permitir su fácil transporte, maniobra y montaje en sitio.

En los casos donde exista cableado entre módulos secundarios, el diseño estará previsto para su fácil desconexión por condiciones de transporte y su fácil reconexión en sitio.

Las dimensiones, pesos, y centro de gravedad de los módulos y/o sub módulos serán según el diseño de cada sala. [10]

**Estándares y especificaciones:** En general las salas eléctricas están especialmente diseñadas para la instalación de equipos y componentes eléctricos para uso industrial, el ensamble de la sala será NEMA 4, índice de protección estándar para usos al aire libre, en la atmósfera agresiva.

Los estándares y normas aplicables para la construcción y pruebas de las salas eléctricas prefabricadas serán los siguientes:

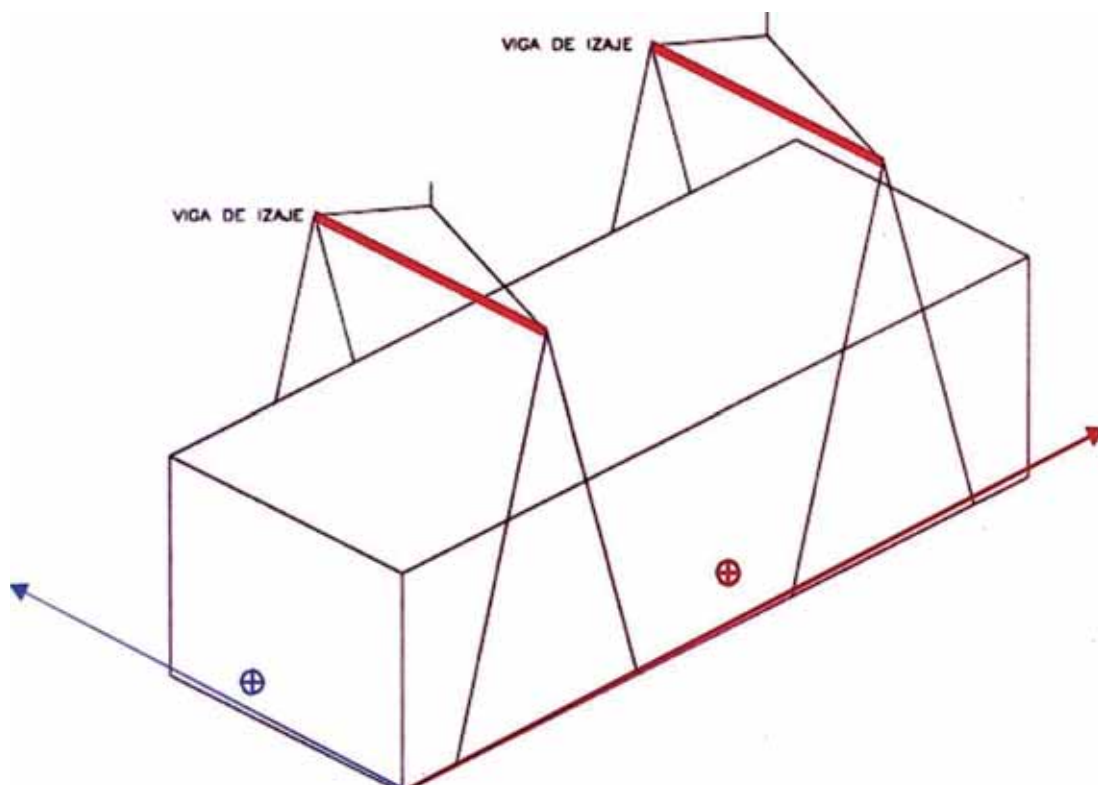
- AISC - American institute of steel construction.
- NEMA – National electrical manufacturers association.

**Condiciones de izaje:** La sala está diseñada para ser izada desde la estructura base o techo por medio de cuatro orejas de izaje como mínimo, dispuestas de manera tal que no exista mayor desviación del plano horizontal que pueda comprometer a los equipos montados dentro de la misma.

La maniobra de izaje puede ser con una o dos grúas dependiendo de la disponibilidad de equipos en sitio y de las dimensiones de la sala.

Las maniobras previas al izaje en plataforma de transporte se realizan por medio de maniobra con gatas hidráulicas, con montacargas o con grúa.

Es muy importante que el ángulo entre el cable y el plano horizontal sea mayor de  $30^\circ$ ; si el ángulo es inferior a  $30^\circ$  las fuerzas de tensión llegarían a ser demasiado elevadas y pueden comprometer la maniobra de izaje. La Fig. 3.4 muestra el detalle de como izar la sala eléctrica, mostrando las vigas y yugos a usar para un óptimo izaje teniendo en cuenta la inclinación de la misma.



**Fig. 3.4** Esquema típico de izaje de una sala eléctrica

**Techo y cielo raso:** La cobertura exterior del techo de la sala eléctrica es de planchas de acero laminado en frío de 2.0 mm unidas entre sí por medio cordones de soldadura continuos para garantizar un sello hermético.

Esta cobertura tiene una inclinación de 2° a 3° para permitir la no acumulación de agua y ningún otro agente extraño en el techo de la sala.

**Construcción de techo:** El techo tiene una estructura diseñada para soportar 250 kg/ m<sup>2</sup> y una carga concentrada de 113 kg, lo cual asegura la posterior adición de equipos en el techo siempre y cuando no supere esta carga de diseño y también asegura el tránsito de personal operativo sobre la misma. En la Fig. 3.5 se observa el detalle de la instalación del techo montado en la sala eléctrica, también muestra el material aislante del techo.



**Fig. 3.5** Detalle de techo de sala eléctrica prefabricada

**Paredes:** Las coberturas externas de paredes son diseñadas para no permitir el paso del polvo y agua o cualquier otro agente físico.

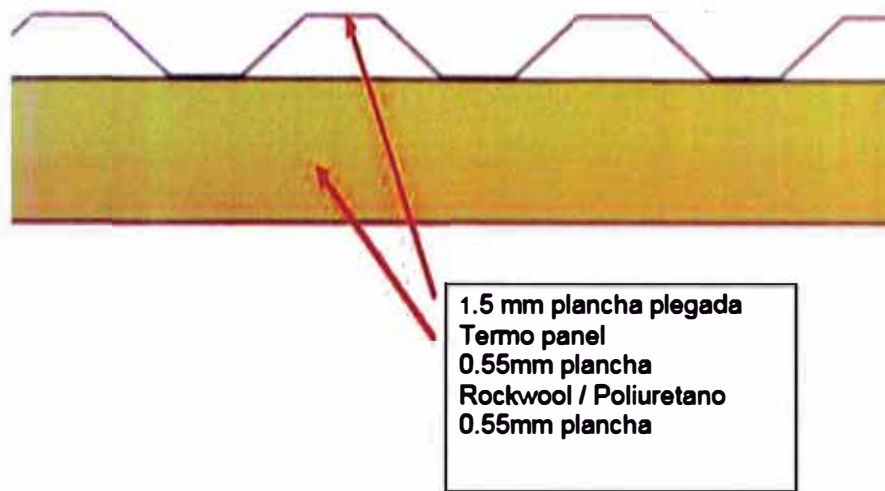
En el espacio interno de las paredes se instala una capa de lana de roca mineral cuya densidad es determinada de acuerdo al requerimiento de aislación térmica.

Asimismo el diseño de las paredes disminuye considerablemente la formación de puentes térmicos obteniéndose de esta manera un ambiente aislado térmico.

**Construcción de paredes:** La cobertura exterior son de planchas de acero laminado en frío de 2.0 mm de espesor como mínimo.

La pared exterior es totalmente soldada, estas costuras son realizadas entre cada tramo de plancha de 2.0 mm y también es soldado a la estructura de la sala, tanto la estructura de piso como la estructura de techo.

En la Fig. 3.6 se puede apreciar las capas de las paredes, planchas plegadas, material aislante de las paredes y espesor de planchas.



**Fig. 3.6** Detalle de pared de sala eléctrica prefabricada

**Escaleras:** Las escaleras y los descansos se diseñan para un nivel de 2.0 metros sobre el nivel del suelo.

El ancho será de 1.0 metros; los pasamanos son desmontables; los pasos son de rejilla o plancha estriada.

**Plataformas:** Ambos extremos de la sala eléctrica tendrán plataformas por lo menos 1.5 metros de ancho.

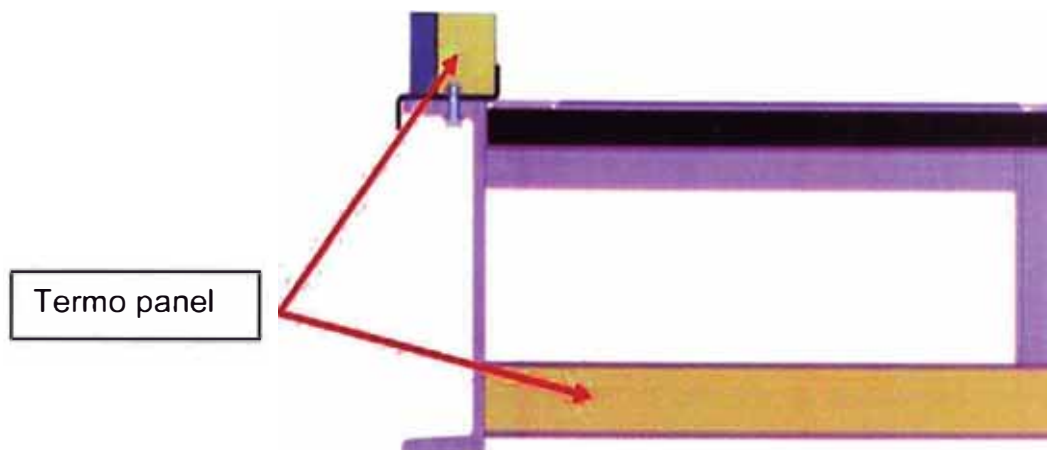
La carga de diseño deberá ser como mínimo 1000 kg/m<sup>2</sup>. El piso será de rejilla o plancha estriada; los pasamanos serán desmontables.

**Piso:** El piso es de planchas de acero laminado en caliente de 4.5 mm de espesor como mínimo de alta calidad estructural.

La estructura de piso está diseñada para soportar 1250 kg/m<sup>2</sup>; la sala eléctrica es diseñada para ser soportada directamente sobre podios de concreto distanciados en promedio 2.8 m a lo largo de la sala.

En la Fig. 3.7 se muestra el detalle del piso de la sala eléctrica, donde se indica las capas de aislación que tienen los termo paneles que sirven de material aislante térmico de la sala eléctrica.





**Fig. 3.7 Detalle de piso de sala eléctrica prefabricada**

**Construcción de la estructura:** La estructura del piso está conformada por perfiles estructurales laminados en caliente tipo H, C y L los cuales son unidos entre sí por medio de cordones de soldadura continuos, para los perfiles H se usa junta de penetración completa cuando se unen entre sí, y para los otros tipos de juntas se utilizan juntas tipo filete; la estructura de piso por ser un componente identificado como "estructura bajo techo", tendrá un espesor de pintura de película seca igual al requerido para interiores.

**Cables y conductos de entrada:** Todas las entradas de cables y conductos son a través de tapas desmontables de plancha galvanizada.

El espesor de estas planchas es de 2.0 mm o mayor dependiendo del tamaño de la apertura.

La localización y los tamaños de las tapas para calados se indican en los planos mecánicos de la sala según el diseño.

La solución para múltiples entradas de cables puede ser Hauff o Roxtec, estos sistemas de sellado se debe hacer por el instalador en sitio. Se realiza tal sellado de cables para mantener la hermeticidad térmica de la sala y así mismo evitar el ingreso de humedad.



## CAPITULO IV CRITERIOS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN E INTEGRACIÓN DE EQUIPOS DE UNA SALA ELÉCTRICA

La fabricación de una sala eléctrica implica realización de toda una ingeniería tanto como básica y de detalle. En este capítulo se mostraran los criterios de diseño seguidos para la fabricación, integración de equipos y pruebas funcionales.

### **4.1. Procesos involucrados en la fabricación de una sala eléctrica**

El presente trabajo describe la ingeniería para la fabricación de salas eléctricas desde el diseño, fabricación y hasta las pruebas FAT. A continuación de detalla.

### **4.2. Ingeniería de salas eléctricas**

En estos procesos se diseña la conceptualización de la solución a ser fabricada según los requerimientos del cliente.

**Ingeniería Básica:** Proceso en el que se desarrolla una ingeniería básica de solución de acuerdo a los requerimientos y especificaciones del cliente.

La ingeniería básica contiene los lineamientos generales del proyecto como son el layout que determina las dimensiones generales de la sala, la distribución de los equipos, las áreas de acceso, tránsito y operación.

Por otro lado se determinan los materiales para la fabricación mecánica, los materiales para el aislamiento térmico, el grado hermeticidad y la normatividad que se aplicará.

La ingeniería básica es sustentada por el equipo técnico y sometida a revisión y aprobación del cliente.

Este procesos de aprobación tiene sus etapas y lleva un periodo de tiempo para hacerlo y dependerá del área de ingeniería del cliente.

**Ingeniería de detalle:** Partiendo de la ingeniería básica revisada, se elabora el diseño detallado de la sala eléctrica necesario para proceder con la construcción.

Se realizan los planos, plantillas, memorias de cálculo y especificaciones técnicas de detalle eléctricos y mecánicos, como son; el diseño estructural, diagramas de interconexión, lista de cables, diseño de aire acondicionado y presurización, distribución de iluminación interna y externa y otras exigencias. [11]

La ingeniería de detalle se realiza conforme a los criterios técnicos, normas de seguridad y normas de arte discutidas por las partes al inicio del trabajo. De igual manera la Ingeniería de detalle debe ser aprobada por el cliente.

**Fabricación, integración y pruebas:** Antes de iniciar la fabricación se realiza el plan de compras para poder tener un abastecimiento oportuno.

Se inicia con la fabricación mecánica; una vez culminada esta, se puede dar paso al proceso de ensamble e integración de equipos eléctricos. Es importante realizar las pruebas y verificaciones de calidad respectivas durante el proceso constructivo.

Culminada la construcción de la sala eléctrica, realizamos el control de calidad interno del producto final y seguido las pruebas FAT.

Todos los procedimientos se realizan respetando las normas de seguridad para la protección del personal involucrado y para mantener los equipos en un estado óptimo.

Partiendo de la ingeniería básica revisada, se elabora el diseño detallado de la sala eléctrica necesario para proceder con la construcción.

Se realizan los planos, plantillas, memorias de cálculo y especificaciones técnicas de detalle eléctricos y mecánicos, como son; el diseño estructural, diagramas de interconexión, lista de cables, diseño de aire acondicionado y presurización, distribución de iluminación interna y externa y otras exigencias.

#### 4.2.1 Layout (disposición de equipos)

El layout contiene las dimensiones generales de la sala, donde se especifica la lista de equipos y accesorios, disposición de equipos, distancias entre fases y fases a tierra, altura de conexiones, distribución de bandejas, vías de acceso, operación y mantenimiento tanto dentro como fuera de la sala.

La Fig. 4.1 muestra la disposición típica de equipos de una sala eléctrica, tales como como, MCC, tablero general, HVAC, presurización, UPS y servicios auxiliares. [12]

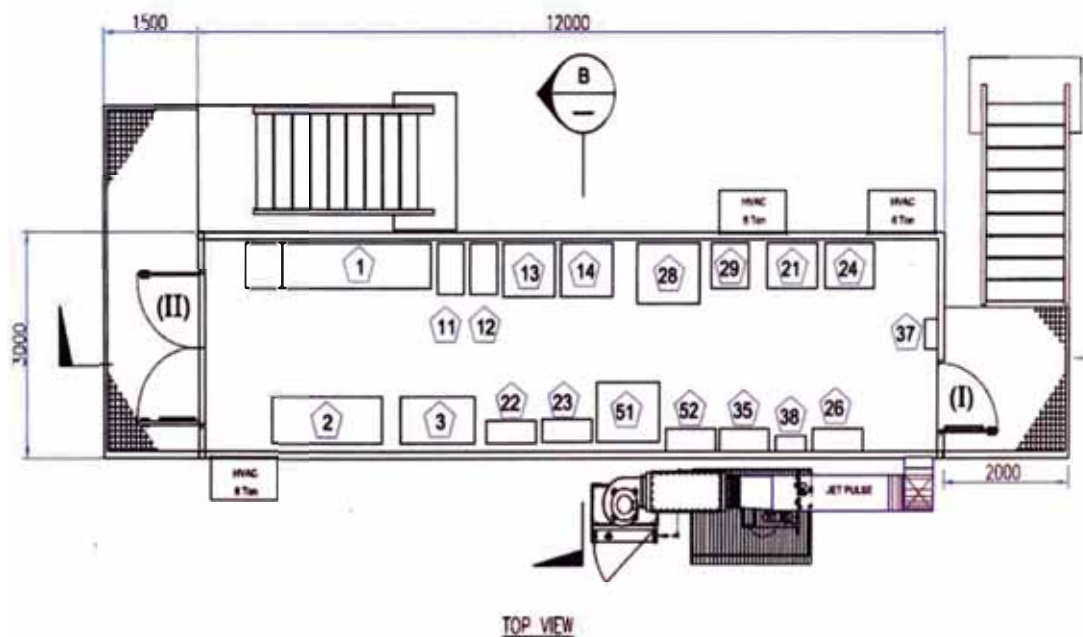


Fig. 4.1 Layout típico de una sala eléctrica

Donde:

- : Centro de control de motores.
- 21 : Tablero de distribución general.
- 23 : Tablero de servicios auxiliares.
- 28 : Transformador de Distribución seco.
- 32 : Sistema de aire acondicionado.
- 36 : Sistema de presurización.
- 51 UPS.
- 52 Cargador rectificador y banco de baterías.

#### 4.2.2 Cálculos de ingeniería

El layout contiene las dimensiones generales de la sala, donde se especifica la lista de equipos y accesorios, disposición de equipos, distancias entre fases y fases a tierra, altura de conexiones, distribución de bandejas, vías de acceso, operación y mantenimiento tanto dentro como fuera de la sala.

##### a) Calculo estructural

- **Criterios de análisis:** Consiste en revisar las condiciones de sitio considerando para el estudio la estructura base, estructura de paredes, estructura de techo, paneles de cobertura de cielo raso y techo. También las consideraciones de izaje teniendo en cuenta sala eléctrica equipada.
- **Normatividad aplicada:** El cálculo estructural considera los siguientes estándares nacionales e internacionales:
  - Reglamento nacional de edificaciones (E-020, E-030, E-090).
  - IBC 2006 – International building code.
- **Análisis de estructura base:** El estudio considera la geometría de todos los perfiles estructurales de la plataforma y la plancha de acero de 6mm de espesor para el piso, la plataforma está compuesta por tres tipos de elementos de acero ASTM A-36 / ASTM A-572 principalmente que van dispuestas en forma de reticulado, la cual se estructura en base a los equipos a ser instalados al interior. [13]

La base es una estructura sólida y compacta diseñada para soportar el equipamiento interior conformada de lo siguiente:

- Vigas tipo H; conforman la viga perimetral.
- Canal tipo C; conforman los perfiles transversales.
- Ángulos L; conforman los perfiles longitudinales.

En la Fig. 4.2 se muestra el detalle de la estructura de la sala eléctrica, vigas tipo H, canal tipo C, ángulos tipo L y su disposición para formar la base de la sala eléctrica.

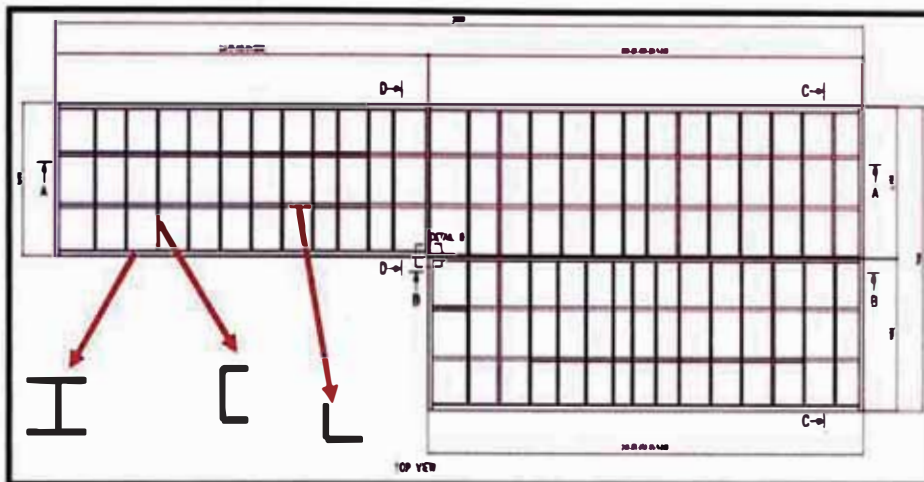


Fig. 4.2 Perfiles estructurales de plataforma base

- **Cargas de diseño para plataforma base:** Se considera las cargas que soportara la estructura. La Fig. 4.3 detalla los pesos soportados por la plataforma; distribuidos en la plataforma de la sala.

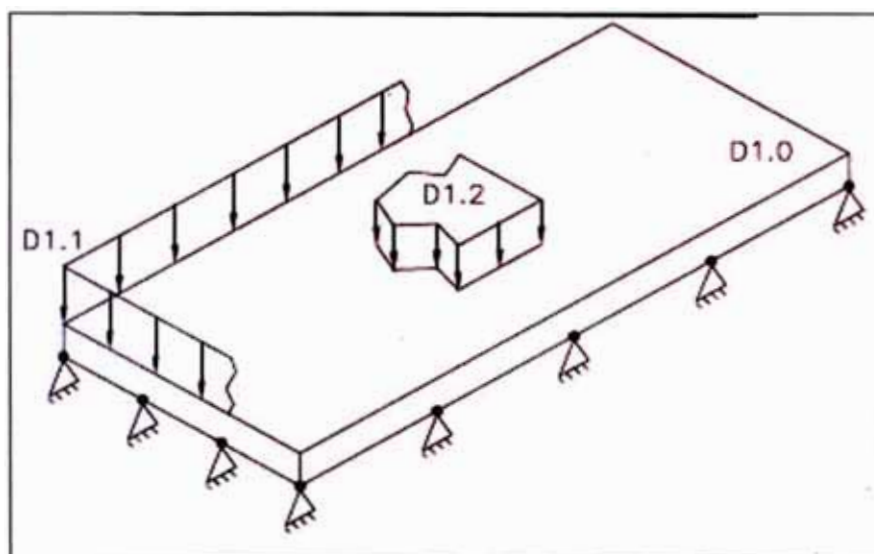


Fig.4.3 Cargas de diseño de piso de sala eléctrica

Donde:

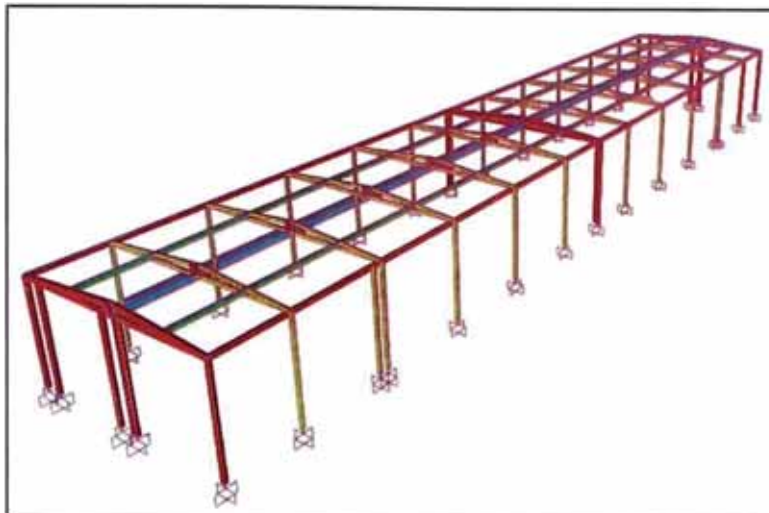
D1.0 : Peso de los perfiles y la plancha de piso.

D1.1 : Carga de diseño de módulos.

D1.2 : Peso de paredes y techo.

- **Análisis de paredes:** Las paredes estarán diseñadas para soportar el peso de las cargas. Peso de los perfiles estructurales y la plancha de cobertura de pared, la carga sobre el cielo raso producto de las bandejas porta cables y ductos de aire

acondicionado. La Fig. 4.4 señala el detalle de la estructura de las paredes, donde se fijaran las planchas y el material aislante de las paredes.



**Fig. 4.4** Estructura de paredes

- **Análisis de la estructura del techo:** El diseño del techo está preparado para soportar las siguientes cargas:

Peso propio de paneles de cobertura para cielo raso y techo.

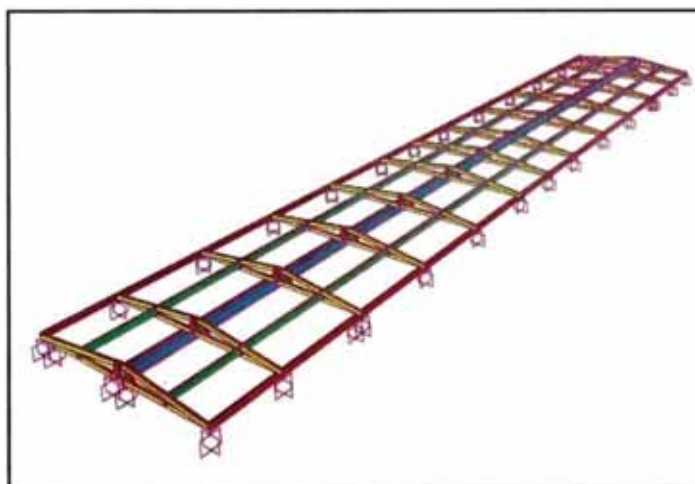
Carga de la nieve distribuida sobre toda la superficie de la cobertura (N/m<sup>2</sup>).

Carga del viento a presión y a succión(N/m<sup>2</sup>).

Peso de las bandejas porta cables.

Peso de los perfiles estructurales y las plancha de cobertura de techo.

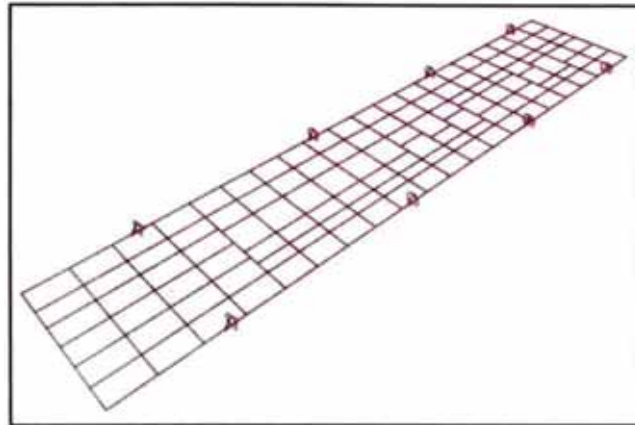
La fig. 4.5 muestra la estructura del techo de una sala eléctrica, donde se fijarán las planchas externas, material aislante, cielo raso y perfiles para el soporte de bandejas porta cables.



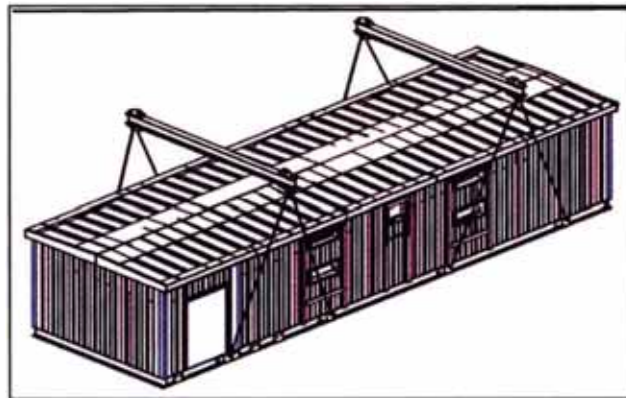
**Fig. 4.5** Estructura de techo

**Análisis de izaje de sala eléctrica:** Dependiendo del largo y el peso del módulo se determina la cantidad de puntos u orejas de izaje, para este caso ilustrativo tenemos un módulo soportado por 8 puntos.

En las Fig. 4.6 y 4.7 se indica la posición de las orejas de izaje donde se fijarán los soportes para el izamiento de la sala y el detalle de como izar la sala eléctrica mediante eslingas de acero, estrobo y yugos respectivamente.



**Fig. 4.6** Condiciones de contorno – 8 yugos u orejas



**Fig. 4.7** Esquema de izaje

- **Resultados de cálculo estructural:** Los cálculos estructurales son realizados por un ingeniero mecánico utilizando los software's Diamonds / SAP2000 / Sildworks. Obteniendo los siguientes resultados:
  - Reacciones en puntos de soporte.
  - Diagrama de momentos flectores.
  - Diagrama de fuerzas cortantes.
  - Deflexión.

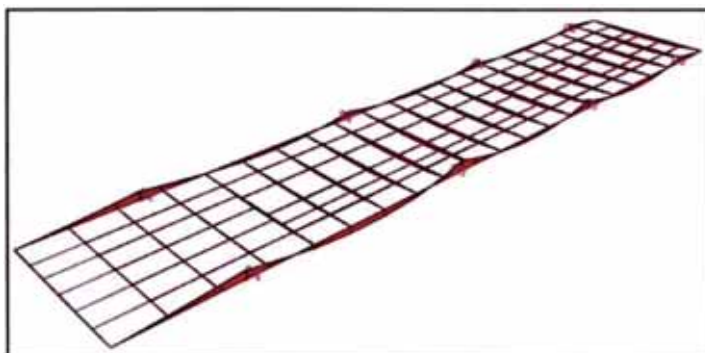


Diagrama de momentos flectores, fuerzas de corte y deflexión para perfiles con mayor sollicitación.

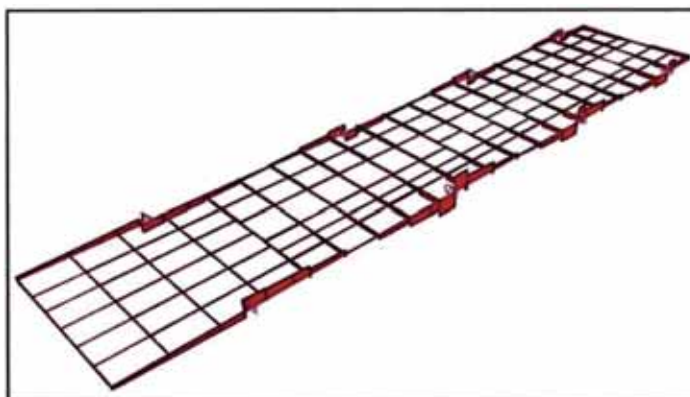
Resumen de cargas para los perfiles con mayor sollicitación.

Resultados de análisis de puntos de izaje.

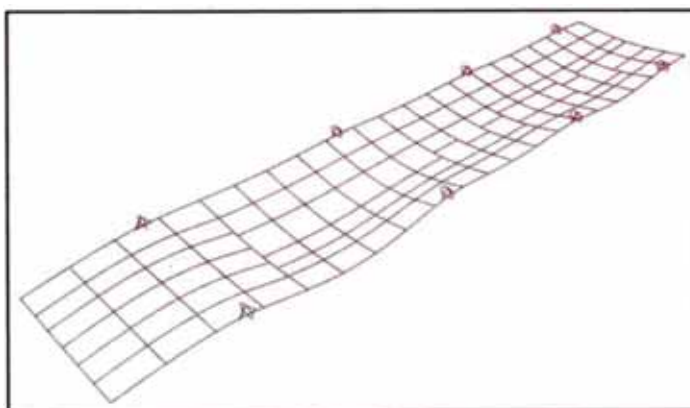
La Fig. 4.8 , 4.9 y 4.10 muestran los resultados obtenidos del cálculo hecho a la plataforma de la sala eléctrica donde muestra los resultados del diagrama de momentos flectores, diagrama de fuerzas cortantes, diagrama de plataforma deformada, aplicando las fuerzas necesarias respectivamente.



**Fig. 4.8** Diagrama de momentos flectores



**Fig. 4.9** Diagrama de fuerzas cortantes



**Fig. 4.10** Diagrama de plataforma deformada

## b) Cálculo de iluminación

- **Criterios de análisis:** Para realizar el cálculo de iluminación se requieren las siguientes especificaciones y criterios:
  - Características dimensionales.
  - Disposición y dimensiones de equipos y accesorios dentro de la sala eléctrica.
  - Reflexión lumínica de las paredes, suelo, techo, puertas y equipos.
  - Factor de mantenimiento de las luminarias.
  - Nivel de Iluminación promedio (Lux), requerido por el cliente a una determinada altura desde el piso.
  - Tipo de luminaria.
- **Normatividad aplicada:** Para el cálculo de iluminación tomamos como referencia las especificaciones del cliente y las recomendaciones de la normativa nacional y de IESNA (Illuminating Engineering Society of North America). [14]
- **Software utilizado:** DIALUX
- **Procedimiento de cálculo:** La primera etapa es la realización de un plano en 3D de la sala eléctrica usando el software autocad. También son necesarias las especificaciones de las luminarias a utilizar. La Fig. 4.11 detalla el modelamiento en 3D de una sala eléctrica mostrando el rango de iluminación de paredes y en las Fig. 4.12 y 4.13 se muestran las especificaciones de las luminarias y las características técnicas de la luminaria, valoración de deslumbramiento respectivamente.



Fig. 4.11 Diseño 3D de sala eléctrica

**Philips TCW060 2xTL-D36W HF**  
**N° de artículo:**  
**Flujo luminoso de las luminarias: 6700 lm**  
**Potencia de las luminarias: 72.0 W**  
**Clasificación luminarias según CIE: 88**  
**Código CIE Flux: 37 67 87 88 63**  
**Lámpara: 2 x TL-D36W/840 (Factor de corrección 1.000).**



Fig. 4.12 Especificaciones de luminaria



Valoración de deslumbramiento según UGR											
p Techo		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
p Paredes		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
p Suelo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local		Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
X	Y										
2H	2H	18.3	19.6	18.8	20.1	20.6	16.2	17.5	16.6	17.9	18.4
	3H	20.7	21.8	21.1	22.3	22.8	17.3	18.5	17.8	19.0	19.5
	4H	21.9	23.0	22.4	23.5	24.0	17.7	18.8	18.2	19.3	19.9
	8H	23.0	24.1	23.6	24.6	25.2	17.9	18.9	18.4	19.5	20.0
	12H	23.6	24.6	24.1	25.1	25.7	17.9	18.9	18.5	19.5	20.0
4H	2H	18.9	20.0	19.4	20.5	21.0	17.3	18.4	17.8	18.9	19.4
	3H	21.5	22.4	22.0	23.0	23.5	18.7	19.6	19.2	20.2	20.8
	4H	22.9	23.7	23.4	24.3	24.9	19.2	20.1	19.8	20.6	21.2
	8H	24.2	25.0	24.8	25.6	26.3	19.5	20.3	20.1	20.9	21.5
	12H	24.9	25.6	25.5	26.2	26.9	19.6	20.3	20.2	20.9	21.6
8H	2H	25.6	26.2	26.2	26.8	27.5	19.7	20.3	20.3	20.9	21.6
	4H	23.1	23.9	23.7	24.5	25.1	20.1	20.9	20.7	21.5	22.1
	6H	24.8	25.4	25.4	26.0	26.7	20.8	21.4	21.4	22.0	22.7
	8H	25.6	26.2	26.3	26.8	27.5	21.0	21.6	21.7	22.2	22.9
	12H	26.5	27.0	27.2	27.6	28.4	21.2	21.6	21.8	22.3	23.0
12H	4H	23.1	23.8	23.8	24.4	25.1	20.4	21.1	21.0	21.7	22.3
	6H	24.9	25.4	25.5	26.0	26.8	21.2	21.8	21.9	22.4	23.1
	8H	25.8	26.3	26.5	26.9	27.7	21.6	22.1	22.3	22.7	23.5
	Variación de la posición del espectador para reparaciones S entre luminarias										
	S = 1.0H		+0.1	-0.1			+0.1	-0.1			
S = 1.5H		+0.2	-0.2			+0.2	-0.3				
S = 2.0H		+0.3	-0.4			+0.4	-0.6				
Tabla estándar sumando de construcción		BK11					BK14				
Índice de deslumbramiento corrigido en relación a 5700lm Flujo luminoso total		8.7					3.2				

Emisión de luz 1:

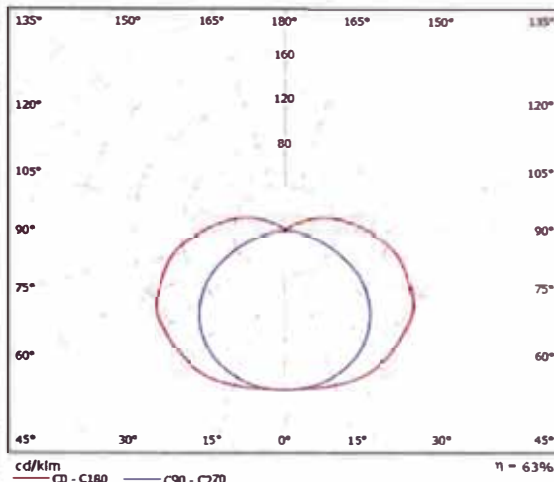


Fig. 4.13 Características de luminarias

- **Resultados obtenidos del cálculo:** Utilizando el software DIALUX obtenemos la disposición y cantidad de luminarias además de los siguientes resultados:
  - Nivel de iluminación promedio a la altura de trabajo requerida.
  - Áreas con Luminancia mínima en suelo, techo y paredes.
  - Áreas con Luminancia máxima en suelo, techo y paredes.

En la Fig. 4.14 se muestran los resultados obtenidos del cálculo de iluminación indicándose las áreas de iluminación según el nivel de luminosidad (lux) a distintos niveles del piso a lo largo y ancho de la sala eléctrica.

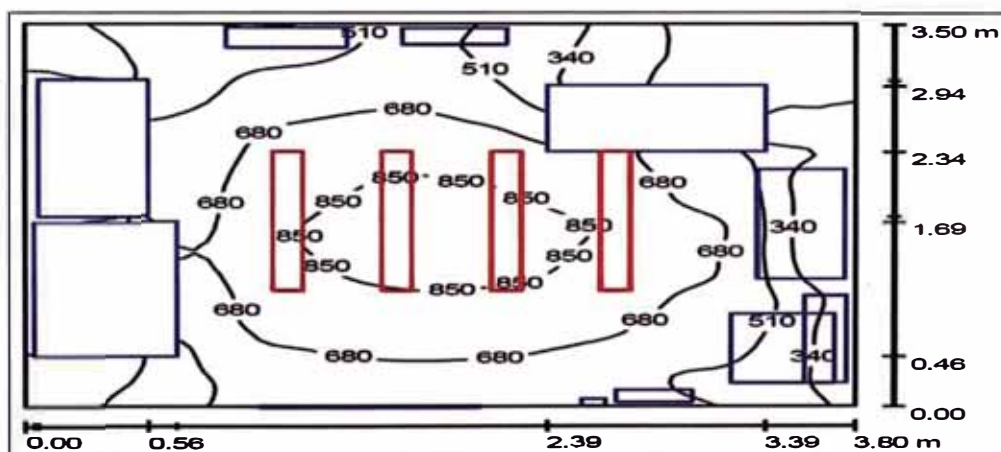


Fig. 4.14 Resultados del nivel de iluminación promedio

c) Cálculos para sistema de presurización y aire acondicionado

- **Criterios de análisis:** Es necesario mantener las condiciones ambientales adecuadas para el correcto funcionamiento del equipamiento de la sala eléctrica. Las salas eléctricas contienen diversos equipos que disipan calor, haciendo fundamental

el enfriamiento incluso en invierno, teniendo así la temperatura de operación adecuada para que trabajen a la máxima eficiencia. Otro factor importante es mantener una presión interna mayor a la externa, para evitar el ingreso de polvo u otros agentes a la sala, para esto se requiere un sistema de presurización. [15]

- **Procedimiento de cálculo:** El primer paso es el cálculo de la carga calorífica dentro de la sala. Existen los siguientes factores:
  - Carga disipada por iluminación. (kw).
  - Carga disipada por equipos dentro de la sala (kw), cada tipo de equipo tiene una disipación distinta.
  - Carga de calor disipada por las personas que operan dentro de la sala, en función del nivel de ejercicio físico (kw).
  - Traspaso térmico (kw).
- **Transferencia de calor por paredes y techo:** El traspaso térmico es la transmisión de la energía a partir de una localización a otra, como consecuencia de una diferencia de temperatura. Se calcula la trasmisión térmica para las paredes, suelo, techo y puertas .Teniendo en cuenta los espesores y materiales del recubrimiento; para el caso de las salas eléctricas el traspaso térmico es mínimo porque cuentan con un recubrimiento de material térmico.
- **Presurización:** El interior de la sala deberá tener una sobre presión interna mayor a 0.12"de agua con respecto al aire exterior; para evitar el ingreso de polvo o cualquier otro agente contaminante que pueda dañar los equipos.
- **Conclusiones y resultados:** Teniendo en cuenta todos los factores se procede a determinar la cantidad, capacidad, ubicación y modelo de los equipos de aire acondicionado y presurización para mantener las condiciones ambientales internas adecuadas según los estándares y el requerimiento del cliente. El sistema de control del aire acondicionado funciona a través de termostatos y el sistema de presurización a través de sensores de presión en la habitación.

#### 4.3. Proceso constructivo

La construcción de la sala eléctrica básicamente consta de 2 etapas, que son la fabricación mecánica de sala y la fabricación eléctrica. Para comenzar con la integración electromecánica la estructura de la sala deberá estar completamente terminada para un óptimo desarrollo. A continuación se detallan los procesos de fabricación.

##### 4.3.1 Fabricación mecánica

La fabricación mecánica consta de distintas etapas como son el habilitado de elementos, la fabricación de la plataforma base, fabricación de paredes, fabricación de estructura de techo, montaje de cielo raso, montaje de techo, fabricación de accesos y

pasarelas externas. [16]

Además controles de calidad y verificaciones para determinados procesos.

**a) Perfiles:** La primera etapa comienza con la recepción de las piezas necesarias para la fabricación de la estructura metálica.

Posteriormente se realiza una verificación de calidad de los materiales, que incluye un control dimensional y del estado físico de las piezas, además de los certificados de calidad respectivos proporcionados por la empresa proveedora. Las piezas metálicas vienen en distintas formas y espesores según el requerimiento.

- Vigas tipo H.
- Canales tipo C.
- Ángulos.
- Tubos cuadrados.
- Planchas, acero.
- Planchas de acero laminado en frío y caliente de 1.5mm para pared y techo exterior

Las Fig. 4.15 y 4.16 muestran los perfiles para la fabricación de la plataforma donde serán montados los equipos de la sala y la aplicación de pintura anticorrosiva a la plataforma, respectivamente.



**Fig. 4.15** Perfiles



**Fig. 4.16** Capa de pintura base, 3 mills de espesor

**b) Fabricación de plataforma principal de la sala:** La fabricación de la plataforma se realiza para cada módulo independiente, posteriormente los módulos son ensamblados para conformar la sala eléctrica.

**c) Procedimiento de construcción de plataforma base:** El primer paso para la construcción de la plataforma es el armado de la viga perimetral del módulo. Este proceso consta de los siguientes pasos:

- Izamiento de vigas H para formar el perímetro que será soportado por caballetes o trípodes con capacidad de soportar la sala completamente fabricada y equipada.
- Nivelado de la estructura con equipo topográfico.
- Verificar cuadratura.
- Verificar separación entre uniones a soldar.
- Apuntalamiento de uniones: Para aplicar los puntos de soldadura se utiliza electrodo revestido.
- Aplicación de soldadura corrida teniendo en cuenta técnicas y criterios para evitar deformaciones de la estructura.
- Enderezado de estructura.

El mismo procedimiento se aplica para el resto de perfiles (ángulos y canales C), primero son debidamente posicionados y nivelados, luego se procede a apuntalarlos para finalmente aplicar la soldadura lineal en las uniones.

En las Fig. 4.17 y 4.18 se puede apreciar la plataforma de base soldada entre los perfiles en su conjunto y el montaje de las planchas en el piso fijadas a la plataforma respectivamente.



**Fig. 4.17** Plataforma base soldada



**Fig. 4.18** Montaje de plancha de piso

**d) Armado de paredes:** El armado de las paredes se realiza a nivel del suelo y posteriormente se izan y colocan sobre la plataforma base.

El proceso de armado de paredes se puede realizar en paralelo a la fabricación de la plataforma. El proceso comienza con el soldeo de la estructura de pared formada por tubos cuadrados, primero son debidamente nivelados para después ser apuntalados.

A continuación se colocan las planchas plegadas de 1.5 mm de espesor y se aplica soldadura corrida en las uniones. La Fig. 4.19 detalla el armado de las paredes de la sala eléctrica antes de ser fijadas en su posición final. Las Fig. 4.20 y 4.21 muestran izamiento de las paredes montándolo y fijado con soldadura entre paredes y plataforma y la instalación del material aislante de las paredes, que brindará aislamiento térmico respectivamente.



**Fig. 4.19** Armado de pared



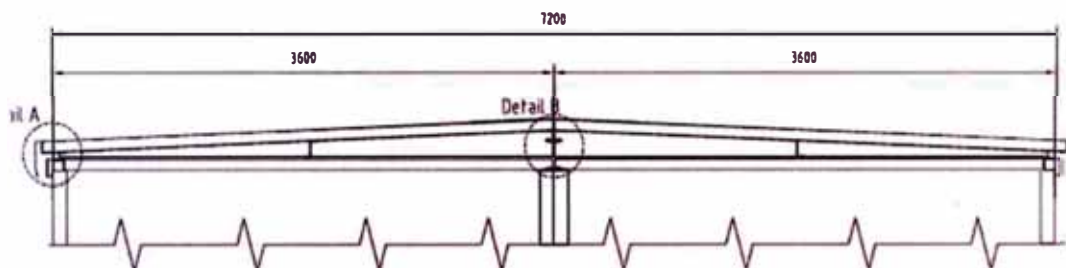
**Fig. 4.20** Izamiento de pared





**Fig. 4.21** Forro térmico de lana de roca mineral

**e) Construcción de estructura de techo y recubrimientos:** La construcción del techo comienza con el montaje de los soportes principales, que están conformados por tubos cuadrados de acero ASTM A-36/ ASTM A-500. La Fig. 4.22 muestra los detalles de la estructura del techo donde se fijará la plancha exterior, termo panel aislante y el cielo raso y la Fig. 4.23 y 4.24 indican la disposición del cielo raso ya fijados a la estructura del techo y la disposición del panel del techo en su conjunto, respectivamente.



**Fig. 4.22** Estructura de techo



**Fig. 4.23** Disposición de cielo raso



**Fig. 4.24** Disposición de panel de techo

**f) Calados en techo, pisos y paredes:** Una vez fabricadas las paredes el techo y el suelo se puede dar paso a realizar los cortes correspondientes para los calados para accesos de cables y ductos según diseño. La Fig. 4.25 señala el detalle del calado en piso para el acceso de cables, tuberías y ductos por donde ingresarán y saldrán los cables de control y fuerza. [17]



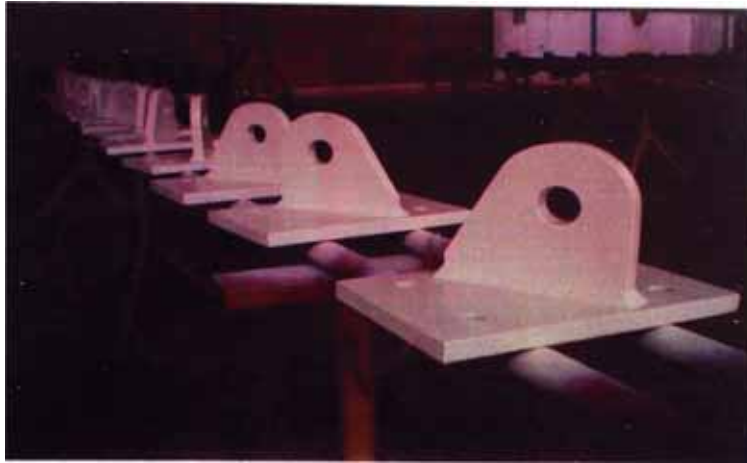
**Fig. 4.25** Detalle de calado en piso

**g) Instalación de orejas de izaje:** Las dimensiones y propiedades del material de las orejas de izaje se definen en el cálculo estructural de ingeniería teniendo en cuenta todas las cargas que actúan sobre ellas.

El material es sometido a diversas pruebas de control de calidad mecánicas, que son certificadas. Otro punto importante es la calificación de los soldadores.

Se aplica una soldadura eléctrica con electrodo recubierto para después realizar la prueba de ultrasonido para verificar la continuidad de la soldadura. Las Fig. 4.26 y 4.27 muestran las orejas para el izaje de sala de donde se conectarán los estrobos y mediante

eslingas de izará la sala y la instalación de la oreja de izaje en su posición final, respectivamente.



**Fig. 4.26** Orejas de izaje



**Fig. 4.27** Oreja de izaje emperrada

**h) Plataformas de circulación externas:** El diseño de las plataformas de acceso se elabora de acuerdo a la distribución de la Sala.

Las plataformas son fabricadas con el mismo tipo de acero que la Sala eléctrica, y los procedimientos de fabricación son similares. La estructura de la plataforma está conformada por canales tipo C de acero ASTM A-36.

Sobre la estructura se coloca el piso industrial (rejillas), las rejillas están conformadas por varillas y platinas soldadas en forma de reticulado.

La rejilla o "Grating" está preparada para soportar cargas de acceso de personal y cargas temporales de equipos. En la Fig. 4.28 se observa las plataformas, escaleras y barandas para los accesos a la sala eléctrica por donde transitará el personal que opera la sala eléctrica.



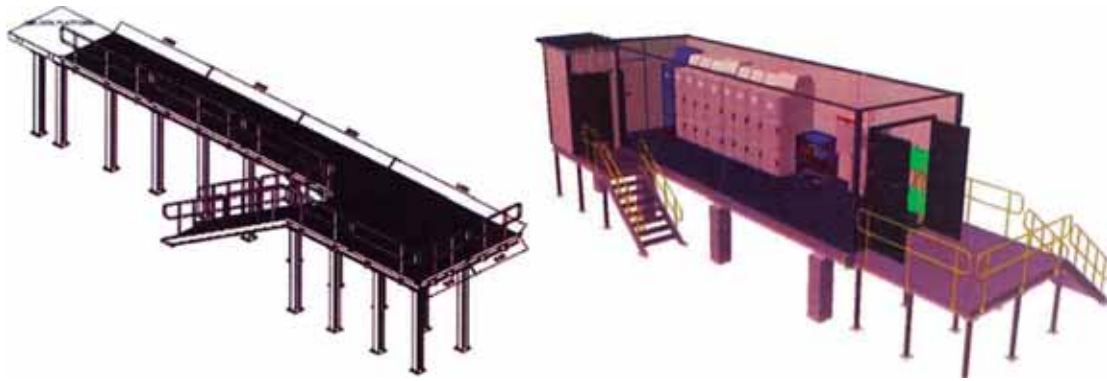


Fig. 4.28 Plataformas de circulación externas

#### 4.4. Integración Eléctrica

En esta etapa la estructura de la sala ya se encuentra culminada y lista para empezar el montaje electromecánico de equipos, así mismo la integración eléctrica de todo el equipamiento de la sala eléctrica. A continuación se detallan el proceso de la integración eléctrica. [18]

##### 4.4.1 Montaje de accesorios

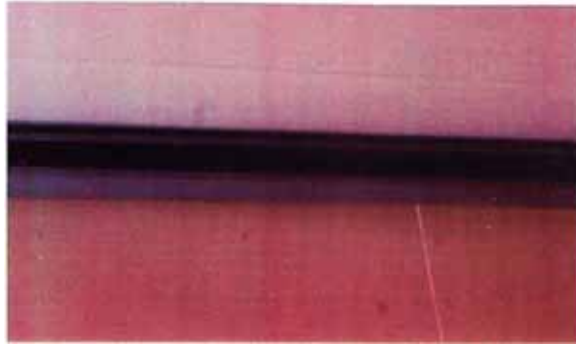
El ensamble eléctrico comienza con el montaje de los siguientes accesorios:

- Wire Way (canaletas metálicas para cables de alumbrado y tomacorriente).
- Sistema de bandejas portacables.
- Tubería conduit, para bajada de cables de alumbrado, tomacorrientes y cable a tierra.

En el diseño de ingeniería realizado previamente, está definida la distribución de las bandejas, wire way, luminarias, tomacorrientes e interruptores. La Fig. 4.29 y 4.30 indican la instalación ya habilitación del wire way por donde irá el cableado de servicios auxiliares y finalmente el wire way instalado en su posición final respectivamente.



Fig. 4.29 Instalación de wire way



**Fig. 4.30** Wire way instalado en sala eléctrica

**a) Instalación del sistema de bandejas portacables:** El montaje de soportaría metálica y accesorios de fijación para bandejas portacables se realiza mediante abrazaderas para soporte de bandejas y luminarias (unistrut). Los soportes van empernados a los paneles de cielo raso utilizando autorroscantes. La Fig. 4.31 y 4.32 muestran los soportes de las bandejas portacables fijados al techo mediante riel unistrut y las bandejas porta cables horizontales, verticales y curvas instaladas en la sala eléctrica, respectivamente. La Fig. 4.33 muestra el detalle de las tuberías conduit por donde suben y bajan los cables de interconexión con los equipos de la sala y las cargas exteriores.



**Fig. 4.31** Soporte de bandejas porta cables



**Fig. 4.32** Bandejas porta cables instalados



**Fig. 4.33** Montaje de tuberías conduit

#### 4.4.2 Instalación de alumbrado y tomacorrientes

El cálculo de iluminación se realiza en la etapa de ingeniería, donde se determina el tipo de luminarias y la distribución.

**Procedimiento:** El proceso inicia con el montaje de las canaletas para cables, seguido se emperran las luminarias al canal unistrut; luego se conectan las tuberías conduit según planos.

Se procede a montar el panel de iluminación, los interruptores y las cajas de pase para luminaria externa e interna.

Se realiza el aterramiento de wire way y finalmente se realiza el cableado y conexión del sistema de alumbrado. La Fig. 4.34 y 4.35 indican el detalle de instalación de las luminarias dentro de la sala eléctrica respetando las distancias y cantidades resultado del cálculo de iluminación y los interruptores para el control de luminarias, respectivamente.

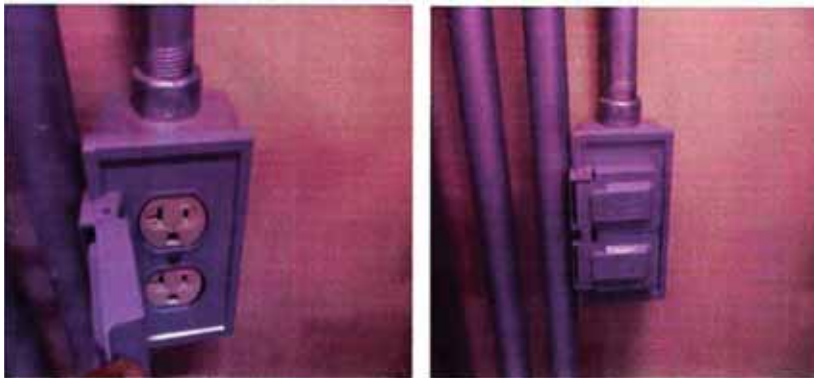


**Fig. 4.34** Instalación de luminarias



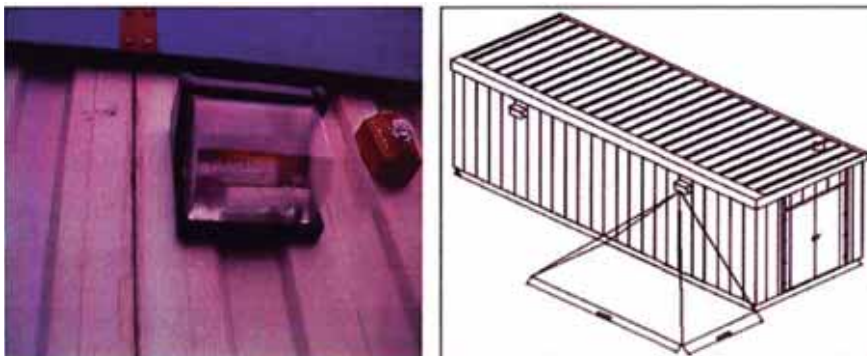
**Fig. 4.35** Interruptor para luminaria

**Tomacorrientes:** Los tomacorrientes se instalan según se diseñó en la etapa de ingeniería y su controles desde el tablero de servicios auxiliares. La Fig. 4.36 señala los tomacorrientes industriales, con grado de protección mecánica y su protección de contacto instalado en la sala eléctrica.



**Fig. 4.36** Tomacorriente

**Montaje e instalación de luminaria exterior:** El tipo de luminarias y la distribución se determina durante la etapa de ingeniería. Para el caso del proyecto toromocho se utilizan luminarias de 2x42W y un nivel de iluminación externo de 50 lux. En la Fig. 4.37 se indica la luminaria exterior montada al exterior de la sala, controlada por un interruptor horario desde el panel de iluminación y también se muestra el alcance de luminosidad.



**Fig. 4.37** Luminaria exterior

**Montaje de luminarias de emergencia:** La ubicación de las luminarias de emergencia se determina en la etapa de ingeniería. El equipo debe cumplir las siguientes especificaciones:

- Mínimo de 50 Lux al nivel del piso.
- 90 minutos de autonomía.
- Uso industrial.
- Certificado UL.
- Aptos para trabajar a las condiciones ambientales requeridas.

En la Fig. 4.38 se muestra la luminaria de emergencia del tipo industrial y de 60 minutos de autonomía de iluminación a plena carga para la sala eléctrica.



**Fig. 4.38** Luminaria de emergencia

#### **4.4.3 Instalación de equipos dentro de sala eléctrica**

Para realizar el ingreso de equipos previamente tenemos que tener el área de ingreso despejada, las paredes pintadas, las bandejas montadas y los calados terminados. Además se debe de revisar un protocolo que contenga la medición de dimensiones de acuerdo a planos, verticalidad de paredes, cuadratura y nivel de piso.

**a) Procedimiento de traslado y anclaje de equipos:** Como paso previo, la empresa contratista debe realizar un protocolo de inspección de las condiciones de los equipos.

Basándonos en los planos y el criterio técnico, desarrollamos un plan para el orden de entrada e instalación de los equipos.

Teniendo definido el orden de entrada procedemos a realizar un marcado de la ubicación de cada equipo. Los equipos son introducidos a la sala utilizando un montacargas. En las Fig. 4.39 y 4.40 se muestran el procedimiento de ingreso de equipos mediante montacargas, grúas manuales y soportes así mismo, la ubicación final de equipos según layout de sala, respectivamente. La Fig. 4.41 indica el montaje electromecánico de los equipos a la base de la sala, fijados mediante pernos de grado y 3 puntos de soldadura. [21]





**Fig. 4.39** Ingreso de equipos



**Fig. 4.40** Ubicación de equipos



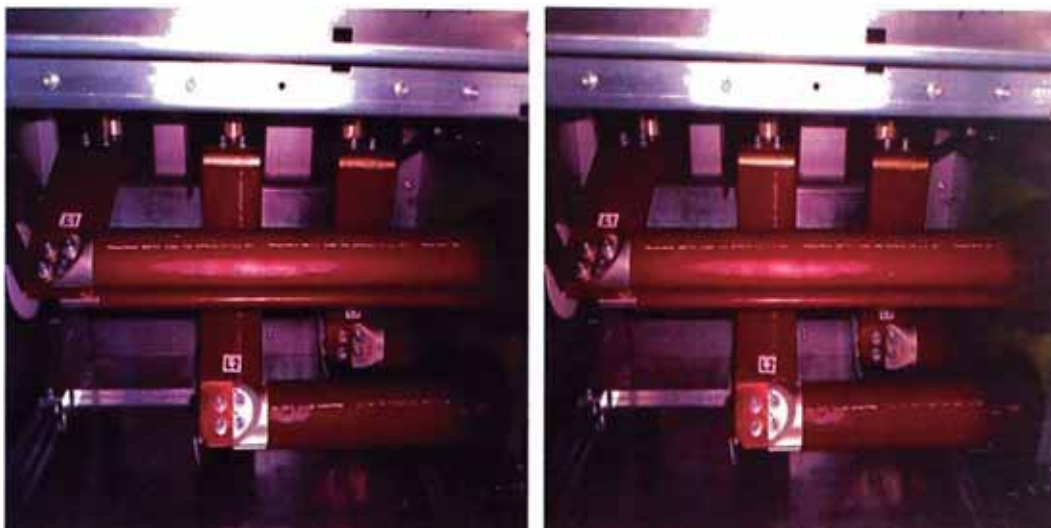
**Fig. 4.41** Montaje de equipos

**b) Conexión de barras:** Los equipos son anclados en su ubicación respectiva, debidamente alineados y nivelados. Seguido de eso realiza el empernado para fijar los equipos al suelo. [22]

Utilizamos pernos zincados de 12mm x 40mm clase 8.8. Se ajustan los pernos y se aplica tres puntos de soldadura a cada uno para fijarlos. Seguido, se procede a realizar el armado interno para cada equipo individualmente.

Se realiza la unión de cada celda a la barra principal (Bus Bar). Para la conexión entre barras se utilizan platinas de cobre. Se colocan las tapas para aislamiento de Bus Bar. Se fija la unión de barra entre módulos. En la Fig. 4.42 se muestra la instalación de

las barras principales de los equipos eléctricos, barras horizontales, barras verticales, separadores de barras y también el torqueo de los pernos que sujetan las barras.



**Fig. 4.42** Instalación de barras principales

Se realiza el aterramiento; las conexiones para el aterramiento son entre equipo y equipo y a cable de bajada a tierra. Los cables a tierra pueden ingresar por los calados en el piso o por las bandejas verticales según diseño.

#### 4.4.4 Sistema de aterramiento

La sala eléctrica tiene conectado un alambre de cobre que rodea todo el perímetro. La conexión con el pozo a tierra se realiza posteriormente en el sitio donde operará la sala. Todos los equipos ya sean de fuerza o control se encuentran aterrados.

**Aterramiento de equipos de fuerza:** Los equipos de fuerza como son CCM y Drives se conectan a través de barras de cobre entre equipos y a cables de bajada de tipo 4/0 AWG de color verde. En la Fig. 4.43 se indica el detalle de la instalación a tierra de los equipos a la barra de tierra mediante cables de cobre, y estos cables torqueados a la barra de tierra.



**Fig. 4.43** Cable a tierra en equipo de fuerza

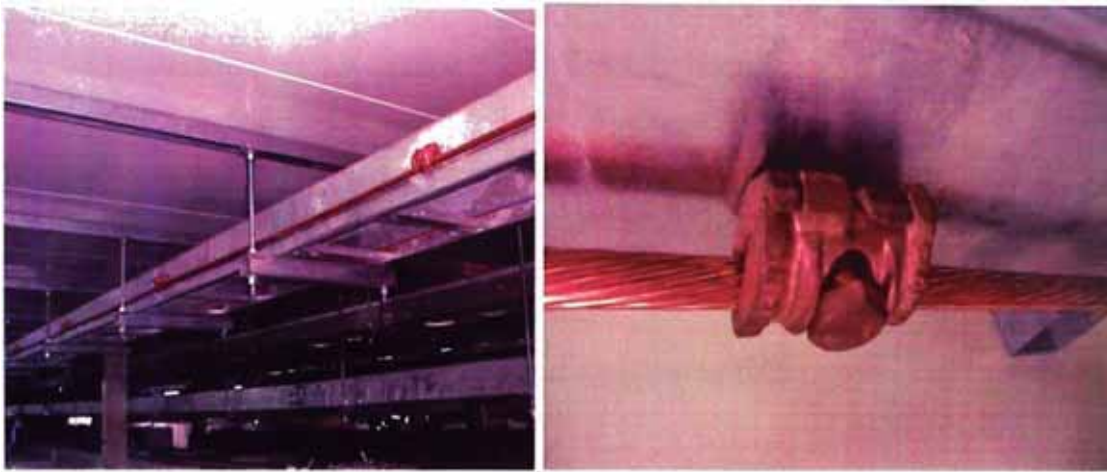


**Aterramiento de equipos de control:** Los equipos de control se encuentran aterrados a través de cables de tipo 6 AWG color verde.

**Aterramiento de bandejas y wire way:** Las bandejas de fuerza y control presentan conectado un cable desnudo de 2/0 AWG y el wire way un cable de 6 AWG.

Para fijar el cable a tierra a las bandejas se utilizan conectores de cobre tipo perno partido.

La Fig. 4.44 señala el detalle del aterramiento de las bandejas de cables de fuerza, mediante sujetadores de cobre y cable desnudo de cobre distribuido a lo largo de toda la bandeja.



**Fig. 4.44** Aterramiento de bandejas

Estos cables bajan a través de tuberías conduit y van unidos a las barras de conexión a tierra.

Todas las bandejas de los cables de fuerza deberán ser conectados a tierra mediante cable desnudo hacia las barras de tierra. La Fig. 4.45 detalla la conexión de los cables de tierra de todos los equipos, bandejas, tuberías conduit, etc. a las barras de tierra exteriores de la sala eléctrica mediante cables de tierra.



**Fig. 4.45** Cables de tierra

#### 4.4.5 Cableado y conexionado

El primer paso previo es la revisión del cableado interno por equipo, que incluye revisar los planos esquemáticos y medir la continuidad.

A continuación se procede a realizar el conexionado respetando el código de colores determinado por el cliente que puede ser basado en norma europea o americana.


**Plan de tendido:** El primer paso es la realización del metrado de cables basándonos en los planos y en la medición real en campo para poder realizar los cortes respectivos.

Para el corte se tiene en cuenta una reserva de 5% aproximadamente. Los cables no podrán ser empalmados, por tal motivo se elabora para aprobación un programa de cortes de cables que minimice los desperdicios.

**Cableado:** Basado en los planos y en el criterio técnico, se realiza el cableado comenzando por los cables de mayor calibre. Se realiza el cableado y conexionado de fuerza y control entre equipos y de equipos a tableros de distribución.

Para realizar el cableado se tiene en cuenta el código de colores proporcionado por el cliente. Para el proyecto Toromocho y según norma americana NEC todos los conductores en circuitos de 600v o menos se rigen con el siguiente código de colores. La Fig. 4.46 indica el código de colores a usar para cables de baja tensión en instalaciones industriales según la norma americana (NEC). [23]

400 V Power	231/400V Lighting
Phase A - Black	Phase A - Brown
Phase B - Red	Phase B - Orange
Phase C - Blue	Phase C - Yellow
Neutral - White	Neutral - White
Ground - Green	Ground - Green or bare wire



**Fig. 4.46** Código de colores

Los cables se instalan en bandejas en los tramos principales de distribución y en tuberías conduits hasta la ubicación de los equipos. En la Fig. 4.47 se muestra el recorrido y distribución de cables interconectados entre los equipos de la sala eléctrica, ordenados y peinados según sea el tipo, control o fuerza.



**Fig. 4.47** Recorrido de cables

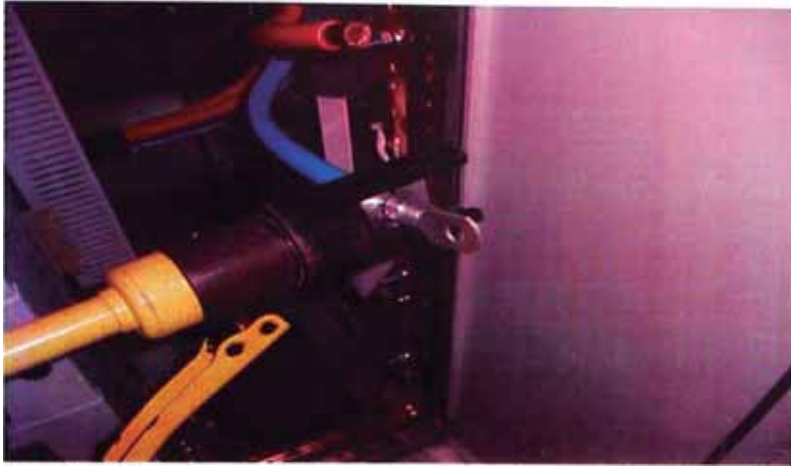
**Peinado de cables:** El tendido de cable sobre las bandejas se realiza por capas o camas comenzando por los cables más gruesos. Instalada la primera capa se procede a amarrar los cables con cintillos de amarre de PVC.

Las bandejas deben estar correctamente alineadas, no deben existir elementos cortantes en el recorrido de las bandejas a fin de evitar que no se dañe el cable. En las derivaciones el radio de curvatura no debe ser menor de 12 veces el diámetro total del cable para evitar que estos sean forzados.

**Terminaciones:** Para las terminaciones de cables se instalan terminales de cobre estañado de distintas medidas dependiendo el calibre de cable. Los terminales se ajustan utilizando una prensa terminal hidráulica. En las Fig. 4.48 y 4.49 se muestran los terminales de cables, la instalación de los terminales en los cables y el prensado de terminales de cables de fuerza de la sala respectivamente. La Fig. 4.50 muestra la instalación de mangas termo contraíbles en los cables.



**Fig. 4.48** Terminales de cables



**Fig. 4.49** Prensado de terminales



**Fig. 4.50** Mangas termo contraíbles

**Conexión y tagueo de cables:** Se realiza el conexionado de los terminales a los equipos y se tornea donde corresponde, utilizando pernos de grado y arandelas de presión. Se rotulan todos los conductores de fuerza y control.

Para el tagueo se fijan tarjetas numeradas en ambos extremos de cada cable instalado. Se utilizan como marcadores, mangas termo contraíbles.

Los números de identificación deberán ser aquellos indicados en las listas de cables. Esto será primordial para la correcta instalación de los cables.

En la Fig. 4.51 y 4.52 se muestra la conexión de cables entre equipos con su respectivo torqueo de pernos según lo amerite y el tagueo o señalización de los cables según diagramas funcionales, respectivamente. La Fig. 4.53 muestra el megado de cables para verificar el nivel de aislamiento. [24]





Fig. 4.51 Conexión de cables

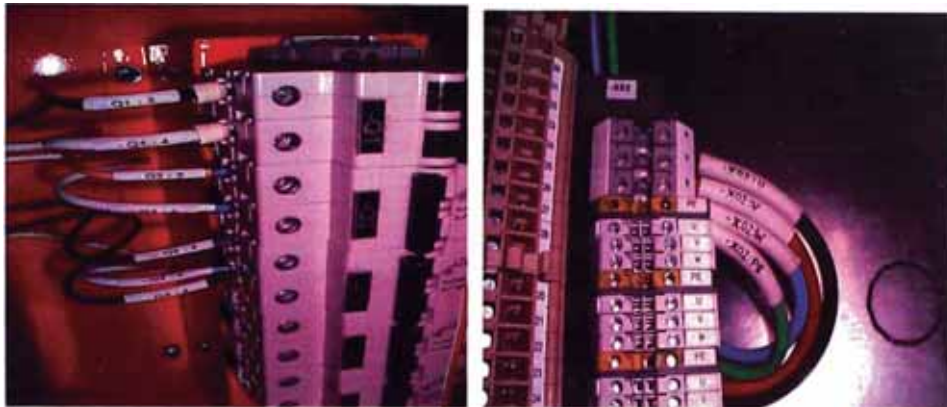


Fig. 4.52 Tagueo de cables

**Megado de cables:** Verificamos el aislamiento utilizando un megóhmetro.



Fig. 4.53 Megado de cables

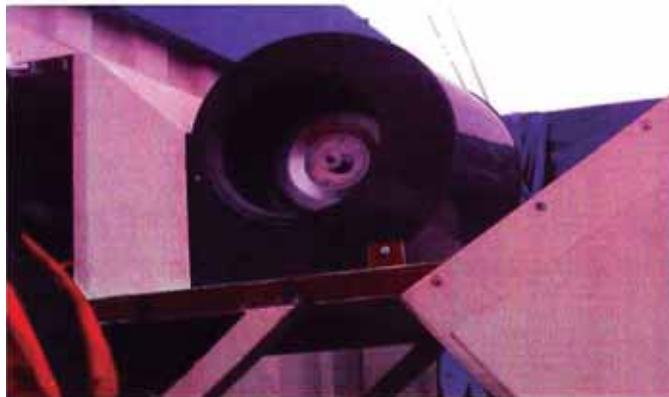
#### 4.4.6 Instalación del sistema de aire acondicionado y presurización

El sistema de presurización consta de panel de presurización, ventilador de presurización, sensores externos e internos. El procedimiento inicia con el montaje e instalación del panel de presurización, luego procedemos con el tendido de cables de

alimentación del panel y las salidas hacia los ventiladores y sensores. Se montan los ventiladores de presurización teniendo en cuenta las indicaciones y recomendaciones del manual del equipo.

A continuación se conecta el motor de ventilación a los cables de alimentación que vienen desde el panel de presurización a través de tuberías conduit. Se conectará los cables de fase y neutro a los cables negro y violeta del motor, según lo indicado en el plano. Los sensores de Presurización para la parte externa, se suministran acoplados con su tubería respectiva y su caja conduit tipo LB.

La manguera que viene del Tablero de Presurización deberá pasar por el interior del tubo flexible para conectarse al sensor. Luego se deberá asegurar los sensores en su posición final. Se está suministrando dos sensores, uno para detectar la presión máxima y otro para la mínima. Las Fig. 4.54 y 4.55 muestran el ventilador del sistema de presurización y los sensores del sistema montados al exterior de la sala, respectivamente. La fig. 4.56 indica el panel de control de sistema de presurización y sus indicadores de encendido y descarga; de donde se comandará al sistema.



**Fig. 4.54** Ventilador de presurización



**Fig. 4.55** Sensores de presión externa



**Fig. 4.56** Panel de presurización

#### 4.5 Pruebas FAT

Las pruebas FAT, son las pruebas hechas en fábrica. Las pruebas serán tanto a la estructura mecánica de la sala eléctrica y a todo el equipamiento eléctrico. También se realizan pruebas funcionales al sistema como tal: sala eléctrica. A continuación se detallan las pruebas realizadas.

##### 4.5.1 Pruebas mecánicas

Realizamos las mismas pruebas realizadas durante la etapa de aseguramiento de la calidad (control dimensional, pintura, soldadura, nivelación etc.).

**Control dimensional:** Verificar dimensiones de la sala de acuerdo a diseño. En la Fig. 4.57 se muestra la verificación dimensional de la estructura, según los planos mecánicos de la sala eléctrica.



**Fig. 4.57** Verificación de dimensiones de sala eléctrica

**Control de nivel:** Verificar nivel de alineamiento y verticalidad con topografía.

**Control de pintura:** Verificar código de color de pintura de acuerdo a especificaciones; prueba de espesor de pintura de acabado final; prueba de adherencia.



La Fig. 4.58 muestra la medición del espesor de pintura mediante el equipo necesario en los puntos críticos de la sala, para garantizar la protección superficial y la prueba de adherencia de pintura en puntos tomados azar.



**Fig. 4.58** Medición de espesor de pintura y prueba de adherencia

**Prueba de hermeticidad:** Hermeticidad NEMA 4, sellado contra agua y polvo. Se realiza la prueba con una manguera aplicando chorro de agua en forma de lluvia sobre el techo paredes y puertas por 4 minutos. Posteriormente se ingresa a la sala y se verifica si existen filtraciones.

**Verificación de soldadura:** Se verifican todos los puntos de soldadura para garantizar el óptimo funcionamiento de la sala eléctrica. Se tiene en cuenta los siguientes puntos:

- Verificación de procedimientos de soldadura.
- Verificación de soldadores homologados.
- Inspección visual de soldadura.
- Verificación de documentos que certifican la realización de pruebas con tintes penetrantes y ultrasonido.

#### **4.5.2 Pruebas eléctricas**

El procedimiento empieza con la verificación de planos, dossier de calidad y protocolos. El proceso de pruebas se realiza en fábrica.

**Inspección general:** Se verifica visualmente las instalaciones de la sala eléctrica teniendo en cuenta los siguientes puntos de verificación:

- Verificar ubicación de equipos de acuerdo a plano.
- Datos de equipo de acuerdo planos y especificaciones.
- Prueba de torque de equipos.

**Puesta a tierra:** Todos los equipos de fuerza y control; así como como accesorios deben estar aterrados.

**Bandejas porta cables y ductos para cables:** Se verifica visualmente el recorrido de las bandejas porta cables teniendo en consideración los siguientes puntos de verificación:

- Inspección visual para verificar si se ha realizado limpieza dentro de la bandeja antes del cableado.
- Verificar que accesorios cumplan con el estándar.
- Verificar que no existan bordes afilados que puedan dañar el cable.
- Verificar conexión a tierra de bandejas.
- Verificar que se utiliza la tubería adecuada según especificaciones.
- Verificar si se encuentran instalados de acuerdo a planos.
- Accesorios de anclaje tal como se especifica.

**Verificación de cableado:** Se verifica el correcto cableado según planos eléctricos de diseño teniendo en cuenta lo siguiente:

- Verificar peinado, rotulado, tageado.
- Verificar calibre de cables según wire list y código de colores.
- Verificar cableado interno de equipos.

**Megado (medición de aislamiento):** Se verifica la continuidad de cable y el aislamiento. Se megan los cables y equipos.

**Control general de equipos:** Se verifica que los equipos estén acorde al diseño, su instalación según el layout de diseño y se tiene en cuenta lo siguiente:

- Inspección de torque de pernos.
- Verificar adecuada conexión a tierra de cada equipo.
- Verificar limpieza del equipo.
- Verificar correcto etiquetado de circuitos e interruptores.
- Pruebas de funcionamiento de equipos.
- Verificar apertura y cierre.
- Realización de pruebas específicas para cada equipo.

**Pruebas eléctricas de equipos:** Se verifica el funcionamiento de los equipos y el sistema integrado se tiene en cuenta lo siguiente:

- Verificar lógica de funcionamiento.
- Prueba de continuidad en conexionado.

Durante las pruebas FAT se realiza el punch list o lista de observaciones las cuales son corregidas y posteriormente verificadas por el cliente. La etapa de control de calidad

culmina con la liberación de la sala eléctrica por el cliente, para poder proceder con el embalaje y despacho.

#### 4.6 Presentación de resultados

Para la evaluación técnica y económica de la ventaja que tiene de usar una sala eléctrica prefabricada frente a una sala eléctrica de construcción con obras civiles se han contemplado 3 criterios que son los siguientes:

- Costo de construcción.
- Tiempo de fabricación y montaje en sitio.
- Seguridad y medio ambiente.

Para nuestro análisis consideramos el mismo equipamiento a usar para ambas salas eléctricas. Así mismo las mismas condiciones técnicas de requerimiento y las mismas condiciones ambientales donde se instalará la sala eléctrica. A continuación mostraremos una tabla comparativa entre una sala eléctrica prefabricada tipo container de estructura metal mecánica y una sala eléctrica de construcción de obra civil. En la Fig. 4.59 se muestra una sala eléctrica prefabricada, terminada en planta lista para ser embalada y despachada al lugar donde se instalará.



**Fig. 4.59** Sala eléctrica prefabricada en planta

En la TABLA N° 4.1 se muestra los resultados del análisis de usar una sala eléctrica prefabricada y una sala eléctrica en construcción de obras civiles.

**TABLA N° 4.1** Resultados de comparación de salas eléctricas

ITEM	DESCRIPCIÓN	SALA ELÉCTRICA Prefabricada tipo container \$ USD	SALA ELÉCTRICA En construcción de obras civiles \$ USD	COMENTARIOS
1	Equipamiento principal	400,000.00	400,000.00	
2	Equipos auxiliares	100,000.00	100,000.00	
3	Sala prefabricada (metal mecánica) 4000x1200x3800 (ancho x longitud x altura )	96,000.00	0	
4	Sala de obras civiles 5000x1400x4500 (ancho x longitud x altura )	0	210,000.00	Mayor dimensión para mismo equipamiento
5	Diseño de Ingeniera \$ 60 h/h	48,000.00	48,000.00	
6	Ingeniero residente \$ 60 h/h	18,000.00	36,000.00	Se considera relevos en campo
7	Ingeniero de seguridad \$ 60 h/h	10,000.00	20,000.00	Se considera relevos en campo
8	Técnicos para fabricación \$ 20 h/h	40,000.00	80,000.00	Se considera relevos en campo
9	Precomisionamiento	5,000.00	7,000.00	Traslado de personal
10	Puesta en marcha	10,000.00	14,000.00	Traslado de personal
11	Transporte	20,000.00	40,000.00	

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>747,000.00</b>	<b>955,000.00</b>
--------------------	-------------------	-------------------

<b>TIEMPO DE ENTREGA</b>	<b>20 SEMANAS</b>	<b>32 SEMANAS</b>
--------------------------	-------------------	-------------------

De la tabla anterior es claro que ahorramos en costo, optimizamos tiempo, se tiene mayor supervisión, lo que implica menos errores. Se garantiza la seguridad en los procesos puesto que por ser fabricado en planta se tiene mucho control en el tema de seguridad y medio ambiente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Es técnica y económicamente más eficiente implementar una sala eléctrica del tipo prefabricada de estructura metal mecánica frente a una subestación de construcción con obras civiles.
2. Se reduce el tiempo de fabricación e instalación en sitio usando una sala eléctrica prefabricada.
3. Las salas eléctricas son útiles y eficientes en cualquier sector de la industria y se puede diseñar una solución para las diversas condiciones ambientales de sitio.
4. Se reducen los riesgos y accidentes en el proceso de fabricación, así mismo los riesgos de impacto ambiental, puesto que tienen una alta supervisión en planta.
5. La sala eléctrica cubre las expectativas de los más altos estándares que exige cualquier sector de la industria al ser un diseño versátil, transportable, inteligente y automatizado.
6. La sala eléctrica brinda total control en los procesos propios de la producción de cada sector en el cual se aplican. Puesto que los equipos instalados en la sala son de tecnología de punta y con protocolos de comunicación entre ellos.

### Recomendaciones

1. Tener especial atención a las condiciones ambientales del sitio donde será aplicada e instalada la sala eléctrica. Esto es para que el diseño pueda cumplir con tales condiciones.
2. Un estudio de ruta de accesos al lugar donde será instalado la sala eléctrica será indispensable, puesto que con ello se podrá diseñar las dimensiones máximas de la sala.
3. Tener en cuenta la normativa aplicada para la integración de los equipos y seguir las recomendaciones del fabricante y las condiciones de sitio.
4. La capacitación constante del personal es necesaria para el aprovechamiento óptimo de la sala eléctrica.
5. La capacitación constante del personal es necesaria para el buen funcionamiento de la sala eléctrica.
6. Seguir las instrucciones del fabricante para el mantenimiento, preventivo de la sala eléctrica y su equipamiento.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**DIAGRAMA UNIFILAR DE SALA ELÉCTRICA MOLIENDA – PROYECTO**  
**INMACULADA**