



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Diseño y manufactura de una  
concentración de bases de  
medición**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecánico.**

**P R E S E N T A**

Oscar Oswaldo Sánchez Sánchez

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Jesús Manuel Dorador González.



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**

---

*Agradecimientos.*

*A la familia.*

*“Tres agradecimientos especiales, el primero a Roció, mi madre, mujer a quien le debo la vida, el pilar más grande de la familia y a quien le estaré eternamente agradecido por todo el amor incondicional que me ha dado y por los valores que en mí ha inculcado, siempre impulsándome a llegar más y más lejos. El segundo agradecimiento es a Paola, mi hermana, la persona que me ha llenado de fortaleza en los momentos más complicados, la persona que ha brindado sus consejos y su apoyo incondicional a cada instante. El último agradecimiento lo mando directo al cielo y es en memoria de Oscar, mi padre, a quien le estaré eternamente agradecido por nunca dejarnos solos a pesar de que su misión con nosotros haya concluido, sé que él estaría sumamente orgulloso de ver lo lejos que he llegado y de compartir conmigo este día que solo se vive una vez, lo prometido es deuda, no sé cómo agradecerles tanto amor que han dado, los amo”*

*A mis maestros.*

*A todos y cada uno de los profesores y catedráticos que me ayudaron a forjarme como Ingeniero, que como profesores depositaron su confianza en mí y en lo lejos que se puede llegar con perseverancia y dedicación, quienes me enseñaron que la Ingeniería es una rama tan bella y noble, siempre al servicio de la sociedad. Gracias por ser mis maestros de vida y darme invaluable lecciones, por el conocimiento y las herramientas que hoy en día forman parte de mi identidad como Ingeniero.*

*A la facultad de ingeniería.*

*Por darnos como alumnos la oportunidad de aprender en tus aulas y laboratorios, a tus bibliotecas, recinto lleno de ventanas al mundo en cada anaquel, lugar para congregarse a estudiar por excelencia, a tus pasillos en los que reí, llore, sentí estrés y que recorrí en innumerables ocasiones, sin embargo lo que más extraño de ti no es nada de lo antes mencionado, lo que más extraño de ti es esa sensación de felicidad que me causaba el estar allí.*

*A la universidad.*

*La máxima casa de estudios de este país, quien me acogió con brazos abiertos desde que ingrese a la nacional preparatoria hace ya un par de años, lugar donde he crecido intelectual y espiritualmente, permitiéndome observar desde una ventana abierta el mundo entero, mi segunda casa, mi segunda madre que el día de hoy retoza de alegría al ver que uno más de sus hijos cierra este ciclo en la vida, no sé cómo agradecerte por tanto que me has dado, Gracias por todo UNAM.*

*“Por mi raza hablara el espíritu”*

*1° de Noviembre de 2017*

---

## 1. Introducción.

El presente trabajo se expone para evidenciar la labor desarrollada como ingeniero en la empresa Instalaciones Tecnológicas Aplicadas®. Describe la forma en la que se realizó un tablero eléctrico que aloja una concentración de medidores de 200 A con un interruptor de principal de 1600 A, dando las principales características que deben tener, tanto los elementos confinados en su interior, como los elementos especialmente acondicionados y diseñados para este proyecto, con algunos valores prestablecidos por los organismos reguladores como son ANCE y CFE de carácter nacional y UL internacional.

Al ser elementos regulatorios, estos tienen la obligación de normalizar los parámetros mínimos y máximos para que un elemento tenga un correcto funcionamiento durante su tiempo de vida útil.

Las concentraciones de medidores son ampliamente utilizadas en todos los sectores con designación industrial, residencial y comercial, sin dejar de mencionar que su disposición es indispensable de forma legal ya que este mide el consumo de energía eléctrica en un inmueble para su posterior pago. El tipo de medidor puede tener una gran variación dependiendo de dónde se implemente.

La importancia de la realización de una concentración de medidores se centra primordialmente en el sector comercial e industrial, cuyo consumo de corriente nominal puede ir de los 0 A a los 200 A en un circuito trifásico, esto debido a la gran cantidad de equipos que energizan como: luminarias instaladas en tiendas comerciales, refrigeradores, bombas, elevadores, escaleras eléctricas, entre muchos otros dispositivos que consumen energía eléctrica.

La concentración de medidores es un tablero de distribución de baja tensión, el cual tiene un rango de operación de 600 VCA como máximo y una corriente nominal de 1600 A. Como es de esperarse, este tablero tiene un sistema de conducción por medio de un *bus* de barras trifásico de cobre que evita el tener una engorrosa cantidad de cables que delimitan el espacio útil del tablero y un neutro ambos *bus* al cien por ciento y una tierra física al treinta por ciento de la capacidad nominal de *bus* de barras principal.

Al arreglo de barras considerado en este trabajo se le otorgó una densidad de carga de  $1600 \frac{A}{in^2}$ , permitiendo utilizar barras de canto curvo con dimensiones estándar sin tener que disponer de un fabricante especial para la elaboración del *bus* principal.

Será descrita la forma en la que fueron empleadas las partes diseñadas así como la forma en la que estas se ensamblan en el tablero; se diseñó la geometría de las barras de cobre que se emplearon en el *bus* así como la justificación de las distancias y trayectorias con base en las normas vigentes aplicables.

---

## 2. Objetivos.

### Objetivo general.

Diseñar una concentración de medidores trifásica de baja tensión, susceptible de tener acoplamiento mecánico y eléctrico con la disposición de poder alojar un interruptor termo magnético de una intensidad nominal máxima de 1600 A con circuitos derivados de distintas capacidades.

### Objetivos particulares.

- La concentración de medidores debe cumplir con normas impuestas por la Asociación de Normalización y Certificación, ANCE tanto en forma mecánica como eléctrica.
- La concentración de medidores debe cumplir con normas impuestas por la Comisión Federal de Electricidad, CFE, tanto en forma mecánica como eléctrica.
- La concentración debe tener la versatilidad de utilizar interruptores termo magnéticos de baja tensión ABB® como circuitos derivados.
- En caso de mantenimiento, la concentración debe contar con la posibilidad de poder acceder al *bus* de barras para un reapriete de las terminales de conexión, remplazo de conductores por deterioro o bien por una inspección de las autoridades, limitando el acceso del usuario sin autorización por su seguridad o bien para evitar el uso indebido de alimentadores, conexiones y equipos de distribución y alimentación.
- Utilizar la menor cantidad de componentes que no agreguen valor al producto final (tornillería innecesaria, tuercas, pernos, remaches o chapa metálica) sin dejar a un lado la estética, funcionalidad y normatividad con la que se debe cumplir.
- Tener individualidad en cada medidor, es decir no tener que interrumpir o manipular el medidor de otro usuario por mantenimiento preventivo o correctivo a otro medidor colocado dentro de la misma concentración.
- Las concentraciones debe tener la capacidad de poder ser colocadas en serie, alimentadas de un mismo *bus* de barras principal, energizado por el interruptor principal.
- Los tableros de medición deben tener un grado de protección NEMA 1 o equivalente.

## 3. Descripción de la empresa.

*Instalaciones Tecnológicas Aplicadas S. A. de C. V.* ® es una empresa de *Grupo Intecsa* ® que participa con éxito en el mercado brindando soluciones a la industria de las instalaciones eléctricas en media y baja tensión desde hace 18 años en nuestro país, además de Guatemala, Honduras, El Salvador y República Dominicana, logrando el reconocimiento de nuestros clientes, lo que nos ha permitido un crecimiento constante en nuestra organización.

Principalmente se dedican a la transformación de la materia prima, destinándola a diferentes áreas de producción eléctrica según sea la necesidad y así ofrecer una amplia variedad de productos para proveer y optimizar las instalaciones, brindando la mejor alternativa con un acabado 100% mexicano cumpliendo con los más altos estándares de calidad que impone la norma ISO-9001-2008, a la cual han sido acreedores desde el año 2014 y a la fecha, garantizando calidad en todos los productos y servicios que brindan.

Entre los principales productos que ofrece *Instalaciones Tecnológicas Aplicadas S. A. de C. V.* ® encontramos una gran variedad de perfiles de barras de cobre como conductores, electro ductos de diferentes tamaños y perfiles,

zapatas de diversos tamaños y calibres con diferentes recubrimientos, pararrayos, ensamblaje y fabricación de tableros de media y baja tensión integrando equipo industrial ABB ®.



Fig. 3.1 Imágenes extraídas del catálogo de productos de Instalaciones Tecnológicas Aplicadas S. A. de C. V. ®, en las cuales podemos apreciar de izquierda a derecha zapatas estañadas, transformadores de control y electro ductos.

Respecto al área de fabricación de tableros, se ensamblan pequeños gabinetes con interruptores de capacidades que varían de los 25A hasta los 6300A en media y baja tensión, utilizando únicamente componentes ABB ®, equipos, soporteria, interruptores, conectores y derivaciones. La figura 3.2 y 3.3 ejemplifican lo dicho anteriormente.



Fig. 3.2 Subestación de media tensión de 6300A en la cual se aprecia el arreglo de barras y soporteria.

Los equipos eléctricos instalados cuentan con una gran cantidad de certificaciones a nivel internacional lo que garantiza su funcionamiento bajo las condiciones de operación establecidas en el diseño, contando con una gran cantidad de equipos que brindan versatilidad en su ensamblaje como se aprecia en la fig. 3.3 el ensamblaje de un arrancador empleando únicamente equipos ABB ®.



Fig. 3.3 Conexión de la bobina de un arrancador utilizando equipo ABB®

Los tableros y los procesos metalmecánicos en chapa metálica conforman las principales actividades de la empresa generando una gran cantidad de productos que integran en sus tableros como soluciones a sus necesidades, fabricando paneles y soportería como se aprecia en la Fig, 3.4 en un tablero ArTu L® de la gama modular de tableros ABB®.



Fig. 3.4 Tablero de baja tensión modelo ArTu L® ensamblado con todos sus componentes ABB®, interruptores, alimentación, soportería y gabinete.

### Organigrama.

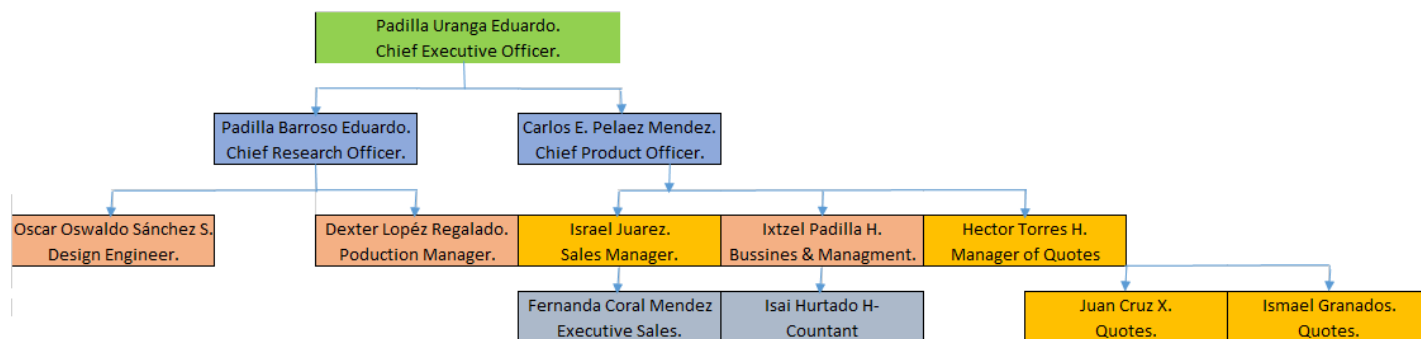


Fig. 3.5 Organigrama de la planta.

Dentro del organigrama mi posición en específico es justo debajo del Chief Research Officer, quien es la persona a la que directamente le reporto; avances y problemas que atañen al desarrollo del producto, así como las posibles soluciones a los mismos.

El perfil del ingeniero de diseño demanda tener conocimientos en áreas específicas de la Ingeniería Mecánica como lo son: Mecánica de materiales, Procesos de manufactura, Transferencia de calor, CAD & CAM, Metalurgia física, Metrología y Materiales no metálicos entre otras. Se debe tener un buen nexo entre la manufactura y el diseño, conociendo las limitantes del primero para acotar los alcances del segundo y viceversa.

El ingeniero de diseño debe tener conocimiento actualizado a las demandas del mercado, respaldado por un previo estudio de la competencia como un referente del producto a desarrollar y los componentes comerciales más recientes y más adecuados que se deseen integrar en el producto.

---

Se debe ser analítico y previsor en la gran mayoría de los casos. Sin embargo, desde un punto de vista totalmente personal, se debe tener una tolerancia a la frustración debido a la gran cantidad de cambios que pueden surgir a lo largo del proceso de diseño de un producto ya que en muchas ocasiones el diseño de un producto tiende a ser iterativo generando un sentido de inconformidad durante el trayecto y hasta su conclusión.

Dentro de las actividades a realizar se encontraban principalmente:

- Atender los problemas que presentaba la producción que fuesen susceptibles de ser resueltos con el diseño de una parte mecánica o estructural.
- Aplicar reingeniería a productos o elementos ya existentes dentro de la gama de productos y soluciones que posee la compañía.
- Generar nuevos productos con base a la demanda del mercado y la existencia de soluciones para la industria de los tableros eléctricos.
- Supervisar el proceso de manufactura de chapa metálica doblada en frío, corroborando las dimensiones obtenidas con las del diseño, así como durante el proceso de pintura y posterior ensamblaje por parte de los trabajadores.

#### 4. Antecedentes.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) como organismo que tiene las funciones de generar, transmitir, distribuir y comercializar el servicio de energía eléctrica en México, es el principal promotor del sistema de medición de energía eléctrica, el cual está enfocado a mejorar sustancialmente los métodos de trabajo tradicional, haciendo más eficientes las maneras en que se realizan los procesos de la medición del consumo[1] bajo resguardo que dicta el marco normativo actual aplicable a los sistema de medición y distribución de energía eléctrica.

Actualmente las bases de medición de reconocidas marcas internacionales como EATON®, SCHNIDER®, IUSA®, o empresas nacionales como RILEZ® manufacturan sus propias bases de medición ya sean monofásicas (neutro, tierra y fase) o trifásicas (neutro, tierra y 3 fases), las cuales deben cumplir con la norma CFEGWH00-11 nacional y las normas internacionales UL414, UL4861 y para las bases de medición modulares las normas aplicables son CFEGWHOO-11 nacional y UL50, UL67, UL414 internacionales vigentes respectivamente.

Otras compañías como ELECTRICAL SUPPORT® y las ya también mencionadas en el párrafo anterior se dedican a integrar las bases de medición en un tablero eléctrico también conocido como concentración de medidores el cual también posee normas aplicables como; NMX-J-118/2-ANCE-2007 y NMX-J-515-ANCE-2014.

#### 5. Definición del problema.

La principal exigencia del proyecto es diseñar un producto integrando equipo ABB® e EATON® tomando en cuenta parámetros y características de competición ya preestablecidos por el mercado. Una característica importante de este producto es que sería la primera concentración de medidores en el mercado que incluye un interruptor de 1600 A y en esa misma columna se pueden integrar bases de medición, es decir, no necesita un gabinete exclusivo para el interruptor. Bajo estas condiciones el problema se acotará, simplificando la geometría, si bien las dimensiones no son normadas el cómo se confinaran todos los elementos en su interior forma totalmente parte del problema.

#### 6. Metodología.

## 6.1 Alcances del problema.

El proyecto demanda la integración de equipos de desconexión ABB® con cargas que requieren una intensidad de corriente en un rango que varía de los 25 A hasta los 200 A como valor máximo dependiendo las condiciones de la carga, incorporando bases de medición EATON® cuyo valor de corriente nominal máximo es de 200 A. En la tabla comparativa 6.1 podemos ver características técnicas bases de medición de distintos fabricantes del mercado actual.

Marca	$I_n$ [A]	$V_m$ [V]	AWG	Mordazas	NEMA
EATON	200	600	300MCM	7	3R
SCHNIDER	225	600	300MCM	7	3R
IUSA	125	600	300MCM	7	3R
RILEZ	200	480	250MCM	7	3R

Tabla 6.1 Parámetros técnicos de bases de medición trifásicas de diferentes fabricantes.

Como era de esperarse las 4 marcas cuentan con parámetros similares según dicta la norma mexicana CFEGWH00-11. La cual nos define como base de medición “Gabinete circular, cuadrado o rectangular provisto con terminales tipo mordaza para conectar firmemente las terminales tipo bayoneta de un medidor de enchufe tipo S, como medio de conexión a los conductores del circuito. El gabinete puede ser para instalar: un medidor, conjunto de medidores o con alojamiento para transformadores de corriente” [2].

## 6.2 Normatividad aplicable a la bases de medición.

La norma CFEGWH00-11 nos dicta las condiciones de operación de las bases de medición las cuales fueron enlistadas como sigue:

- Las bases de medición deben ser diseñadas para operar con un valor máximo del 125% de la corriente nominal.
- Las dimensiones de la base de medición deben cumplir con las establecidas en la tabla 1 del Anexo A.
- La tensión nominal de operación de la base debe ser de 600 V.
- La corriente nominal de operación debe ser de 20 A, 100 A ó 200 A.
- La clase de aislamiento debe ser de 600 V.
- Deben tener dimensiones específicas en función del número de terminales (5, 7 o 13), numero de hilos (3 o 5) y valor de corriente nominal.
- Las mordazas deben tener un sección transversal mínima, capaces de alojar un cable en función de la corriente nominal y el material del que este conformado el conductor. Consultar tabla 2 del Anexo A.
- El material de las mordazas debe poseer resistencia mecánica necesaria que permita soportar sin deformaciones un serie de 25 conexiones y desconexiones de las bayonetas, sin presentar oxidación, corrosión (par galvánico (1)) al estar en contacto con las bayonetas del medidor.
- Las bases de 4 y 5 terminales pueden ser circulares, cuadradas o rectangulares. Las de 7 terminales deben ser de forma rectangular y las de 13 terminales pueden ser de forma cuadrada o rectangular.
- Los gabinetes deben contar con un sistema de recubrimiento anticorrosivo, con un acabado de color gris claro y deben cumplir con las pruebas descritas en el anexo B de pruebas del presente trabajo.



- Los gabinetes de bases circulares deben estar hechos de aluminio mientras que gabinetes cuadrados y rectangulares deben estar hechos de chapa metálica.
- Las bases cuadradas y rectangulares para acometida aérea deben tener en su parte superior una entrada roscada para la instalación de tubo *conduit*. Adicionalmente, contar con discos desprendibles en las dos caras laterales, cara inferior y cara posterior; así mismo, deben contar con un orificio de drenaje en la cara inferior de 3 a 6 milímetros de diámetro. Consultar tabla 3 del Anexo A.

### 6.3 Elección de la base de medición.

Puestas sobre la mesa las características normativas con las que debe cumplir una base de medición para poder ser comercializada, observamos que las bases de medición que cumplen no sólo con la normativa mexicana CFEGWH00-11, sino también con otras de carácter internacional y para los propósitos específicos de este proyecto son SCHNIDER® e EATON®, las cuales tienen similitudes y diferencias; sin embargo EATON® aventaja a su competencia debido a que las dimensiones de su bases de medición que se ilustran en la tabla 6.2 son menores, lo que nos permite tener un tablero de distribución más compacto, disminuyendo otros costos que se presentaran posteriormente sin poner en riesgo la calidad del producto final.

Catálogo	Dimensiones en mm			Masa
	Largo	Altura	Fondo	Kg.
<b>CHM3100</b>	224	306	119	3,950
<b>CHM3200</b>	291	359	119	5,200
<b>1006745CH</b>	310	513	108	9,600

Tabla 6.2 Dimensiones para bases de medición trifásicas EATON®.

El código que podemos encontrar en el catálogo tiene una breve descripción que diferencia un producto del otro, información que se incluye en la tabla 6.3 respectivamente.

Tabla 6.3 Dimensiones para bases de medición trifásicas EATON®

Catálogo	Descripción
<b>CHM3100</b>	Base para Watthorimetro de 100 Amps. 7 Mordazas no incluye conector.
<b>CHM3200</b>	Base para Watthorimetro de 200 Amps. 7 Mordazas no incluye conector.
<b>1006745CH</b>	Base para Watthorimetro de 13 terminales, trifásica 20 Amps.



Fig. 6.1 Imágenes extraídas del catálogo de bases de medición EATON®, la cual de izquierda a derecha son una base de medición trifásica de 200 A y la otra una base de medición monofásica de 100 A respectivamente.

#### 6.4 Normatividad aplicable a los tableros de distribución.

De acuerdo a las definiciones que podemos hallar en el glosario de la norma UL67 aplicable a tableros de distribución de energía, un tablero se define como “*un recinto diseñado para poder ser auto soportado o empotrado y está provisto de un marco, recubrimiento grueso o un revestimiento en el que una o varias puertas abatibles están o pueden colgarse*” [3].

Un tablero de distribución deber ser elaborado con base en una corriente máxima ya sea en directa o en alterna en RMS, un rango de frecuencia bajo el cual un dispositivo puede estar funcionando ininterrumpidamente bajo condiciones de operación específicas.

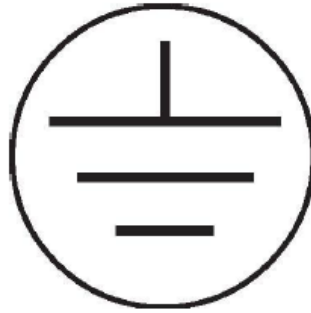
Las características técnicas que debe tener un tablero bajo los estándares de la norma internacional UL67 se enlistan a continuación:

- Deben ser especificados los rangos de corriente alterna, número de fases y la frecuencia 50 Hz o 60 Hz o bien si la frecuencia esta fuera de ese rango.
- El rango de voltaje debe ser colocado en una parte visible sin tener que alterar el cableado o partes interiores, el cual como valor máximo de tensión para el que será diseñado será de 600 V.
- El rango de corriente de un tablero es el máximo valor de corriente que puede ser suministrado a través del *bus* principal de alimentación, el cual debe ser escogido teniendo en cuenta que todos los dispositivos conectados a él operan al 100% de su capacidad nominal.
- Las dimensiones internas del tablero para la acometida y la alimentación deben ser adecuadas en caso de que se utilicen conductores de aluminio o cobre, ya que la densidad de corriente de estos dos materiales tiende a variar en un 30% uno respecto del otro.
- Se requiere marcar un tablero con la frase “Corriente de corto circuito” y su rango de amperes en corriente simétrica RMS, la cual indica bajo estas condiciones los dispositivos de desconexión como interruptores, desconectores, seccionadores, etc, que serán capaces de dar apertura al circuito y la estructura del *bus*

---

principal del tablero resistirá las fuerzas magnéticas generadas por la corriente de falla que pasa a través de ellas.

- Los tableros que tienen integrados Watthorímetros no son evaluados durante el desempeño de la prueba de corriente de corto circuito.
- La corriente de corto circuito del tablero debe ser igual o menor a la del interruptor o desconectador integrado de menor capacidad de corto circuito.
- El tablero debe estar provisto de medios de desconexión del servicio y con la protección contra sobre corriente adecuada.
- Tableros con una tensión de operación de al menos 150 VCA y una corriente nominal circulando en el *bus* principal igual o mayor a 1000 A deben proporcionar una protección contra falla a tierra para la desconexión del servicio.
- Debe existir un nodo de conexión del neutro y la tierra en caso de que ambos estén aislados a menos de que ambos estén conectados a un punto común como lo es la estructura del tablero.
- Debe tener un grado de protección adecuado enfocándose en las condiciones ambientales a las que se verá expuesto el tablero.
- Tener una especial consideración si la alimentación, cableado interno o a la salida de algún circuito se empleara aluminio como conductor ya que este requiere una mayor sección transversal para poder tener la misma ampacidad que dicho conductor en cobre, datos que deben ser claramente especificados si este empleará aluminio o cobre como material conductor en la placa de datos del tablero ya sea en las terminales de conexión o bien exceptuando estas.
- La temperatura de operación promedio del tablero será de 60 °C considerando cables cuyo calibre este en el rango de 14-1 AWG y 75 °C como máximo para cableados cuyo calibre sea 1/0 kcmil o mayor, indicando la temperatura de operación en la placa de datos de tablero.
- Las barras del *bus* principal, así como las barras del *bus* de derivación deberán ser correctamente identificadas tanto en una configuración horizontal como en una vertical, con un reconocimiento visible del faseo L1-L2-L3 y neutro N o bien A-B-C y N donde las tres primeras letras del abecedario denotan la fase y la N el neutro del circuito.
- El tablero debe tener una barra de tierra instalada o bien en caso de que esta no esté integrada en el tablero esta debe de incluirse junto con un manual de instalación el cual debe contener por lo menos un tipo identificación de los siguientes tres ya normalizados: el cable que esté conectado a esta barra debe ser color verde con amarillo, en el diagrama de cableado debe incluirse la leyenda “Terminal de tierra del equipo” y finalmente debe incluirse el símbolo de tierra el cual es mostrado en la Fig 6.1



GROUNDING SYMBOL  
(IEC417, Symbol 5019)

Fig. 6.2 Imagen del símbolo de tierra extraído de la norma UL67 de la sección de equipo de tierra.

- Los interruptores integrados en el tablero deben contar con la posición de encendido, apagado y apertura por desconexión automática, On, Off y Reset respectivamente, posiciones que deben ser visibles para los operadores en todo momento.
- Las terminales de conexión que estén acopladas a una barra conductora y que se encuentren conectadas en paralelo deberán estar debidamente bien soportadas por un barril aislador que aporte una rigidez estructural adecuada, esto con el fin de obtener una buena respuesta mecánica ante un corto circuito en dichas terminales.
- Las terminales de conexión deben portar en algún lugar visible el máximo calibre admisible en formato AWG o bien en milímetros cuadrados.
- Los conductores que se utilicen en el cableado de la acometida, cableado interno o cableado a la carga deben tener el espacio suficiente para un radio de curvatura adecuado acorde al calibre, material y número de hilos, esto con el fin de evitar esfuerzos mecánicos indeseados, calentamientos por reducción de área transversal debido a la deformación o pérdidas en la capacidad de conducción del cable; información que se encuentra en la tabla 1 del Anexo B.
- El tablero debe estar segregado con respecto a las barras energizadas, limitando el acceso sólo a personas calificadas, además de ser necesario incluir en un lugar visible la leyenda “Este tablero se colocará donde sólo sea accesible a personas calificadas”.

### 6.5 Especificaciones técnicas de los componentes del tablero.

El tablero debe integrar entre sus componentes un interruptor termo magnético trifásico caja moldeada Tmax T7S ABB como interruptor principal cuya capacidad máxima de amperaje sea de 1600 A con terminales delanteras para alojar hasta 4 cables de  $120...240 \text{ mm}^2$  (250...500 Kcmil) de cobre o aluminio por fase, con *toggle* de accionamiento y liberación de estado sólido con protección tipo PR231/P-LS/I, capacidad interruptiva de 50 KA, tensión de operación de 690 VAC de acuerdo a los estándares que dicta la norma IEC 60947.

Como interruptores derivados, debe integrar interruptores termo magnéticos caja moldeada serie SACE XTmax ABB® cuya capacidad de amperaje oscile en un rango de los 25 A hasta los 200 A; siendo más específicos se emplearán los modelos SACE XTmax XT1 y XT3 debido a las similitudes geométricas y operativas que existen entre ellos:

- Los interruptores termo magnéticos trifásicos ABB® serie SACE Tmax XT1 tienen valores preestablecidos de fábrica que delimitan intensidad y capacidad interruptiva a la que pueden operar cada uno de ellos, las cuales oscilan de los 25 A - 125 A y de los 25 KA - 65 KA respectivamente, con terminales delanteras para alojar 1 cable de 50...95 mm<sup>2</sup> (14 AWG...3/0 Kcmil) de cobre, con *toggle* de accionamiento y tensión de operación de 690 VAC de acuerdo a los estándares que dicta la norma IEC 60947.
- Los interruptores termo magnéticos trifásicos ABB® serie SACE Tmax XT3 tienen valores preestablecidos de fábrica que delimitan intensidad y capacidad interruptiva a la que pueden operar cada uno de ellos, las cuales oscilan de los 125 A - 250 A y de los 25 KA - 40 KA respectivamente, con terminales delanteras para alojar 1 cable de 185...240 mm<sup>2</sup> (4/0 Kcmil...400 Kcmil) de cobre y aluminio, con *toggle* de accionamiento y tensión de operación de 690 VAC de acuerdo a los estándares que dicta la norma IEC 60947.

<b>Comparativa de los interruptores termo magnéticos utilizados en el tablero.</b>			
<b>SACE Tmax XT1</b>		<b>SACE Tmax XT3</b>	
Ancho	76.2 mm	Ancho	105 mm
Alto	130 mm	Alto	150 mm
Profundidad	70 mm	Profundidad	70 mm
Masa	1.1 kg	Masa	1.7 kg
Frecuencia de operación	50-60 Hz	Frecuencia de operación	50-60 Hz

Tabla. 6.4 Tabla comparativa entre características geométricas y técnicas entre el modelo SACE Tmax XT1 y XT3.

Una vez especificados los equipos de desconexión, es necesario conjuntar la base de medición que se implementará y por la cual se justifica el contenido del apartado 6.3 del presente trabajo.

Para poder iniciar la parte descriptiva del diseño mecánico que se implementó como solución a la concentración de medidores es necesario hacer mención de las especificaciones técnicas vigentes y aplicables que resguarda la norma NMX-J-118/2-ANCE-2007 [4] titulada “*Tableros – Tableros de distribución de baja tensión – especificaciones y métodos de prueba*”.

## 7. Resultados.

Los resultados obtenidos serán documentados basándonos en las especificaciones técnicas de la norma NMX-J-118/2-ANCE-2007 [4] antes mencionada abarcando los puntos aplicables al diseño mecánico de los tableros de distribución de baja tensión.

---

## 7.1 Protección contra corrosión.

Las partes de hierro y acero en cajas envolventes, paredes y barreras, los resortes y otras partes de las cuales puede depender la operación mecánica para la que fueron diseñados, deben fabricarse en acero inoxidable o protegerse contra la oxidación por medio de un barnizado, galvanizado, amalgamación con zinc o por medios equivalentes.



Fig. 7.1 Recubrimiento anticorrosivo por medio de pintura electrostática, en la imagen se aprecia dos tonalidades de ANSI 61 de izquierda a derecha ANSI 61-30748 y ANSI 61-1085 respectivamente.

Las demás partes que componen el tablero de distribución están fabricadas en chapa de acero galvanizado rolado en caliente ( 700-1400 °C ) o también conocido como acero con capa de óxido ferroso alto en *wustita*. Este recubrimiento producto del proceso de manufactura se materializa como cristales mixtos que se forman por óxido ferroso (FeO) y óxido ferrosferico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [5].



Fig. 7.2 Imagen del acero cristalizado por su proceso de conformado en caliente.

## 7.2 Ensamble mecánico

Una pieza metálica con cuerda para recibir un tornillo debe tener el espesor suficiente para permitir que se alojen por lo menos dos cuerdas completas del tornillo. Un remache, tornillo, perno o sujetador de un envolvente de lámina

de metal debe tener un diámetro al menos 50 % mayor que el espesor terminado de la lámina de metal, en la cual se usan los sujetadores.



*Fig. 7.3 (1) La parte remachada del tablero corresponde a la sujeción del techo y del piso que unen al gabinete como si fuese una sola pieza.*

El gabinete utiliza lámina calibre 18, lo que quiere decir que tiene un espesor de 1.21 mm; por lo tanto el remache que une ambas láminas debe tener por lo menos un diámetro de 3.63 mm, lo cual es cierto ya que está utilizando un remache cuyo diámetro es de 4.375 mm o su equivalente en pulgadas  $\frac{7}{16}$  in, antes de la expansión y se cumple con esta parte que dicta la norma.

### **7.3 Puertas y cubiertas.**

Una puerta no debe exceder un área de  $1,12 m^2$  o un peso de 27 kg, a menos que fuese equipada con medios para levantamiento o bisagras.

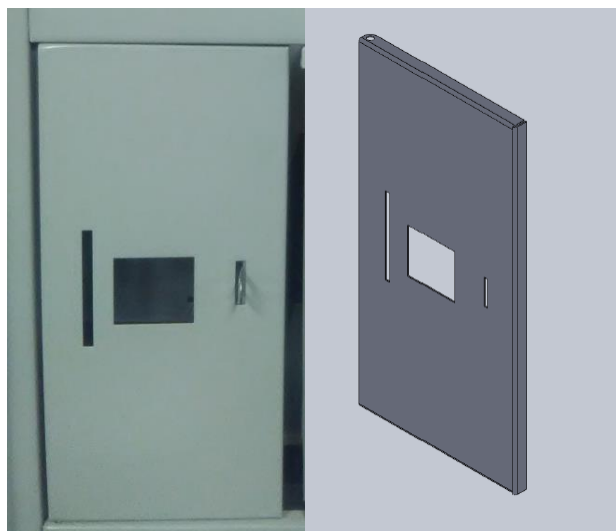


Fig. 7.4 Puerta de interruptores derivados que tiene abertura para el candeeo reglamentario por CFE, bisagra en el costado inferior y superior de la puerta así como visibilidad para el usuario y que este pueda constatar el estado del interruptor (izquierda puerta manufacturada y derecha modelo 3D)

Si la puerta tiene acceso inmediato a una zona viva (energizada) debe existir una distancia de aislamiento en función de la tensión de operación la cual puede se muestra en la tabla 7.1

Tensión involucrada.		Espaciamiento mínimo entre partes vivas de polaridad opuesta.				Espaciamiento mínimo a través del aire y sobre superficie entre partes vivas y partes de metal puesto a tierra	
		A través del aire		Sobre superficie			
Mayor que	Máximo	mm	in	mm	in	mm	in
0	130	12,5	0,5	19	0,7	12,5	0,5
130	250	19	0,7	31	1,2	12,5	0,5
250	600	25	1,0	50	2,0	25 (a)	1,0
(a) Pueden usarse un espaciamiento a través del aires no menor que 12,5 mm:							
1) En un interruptor automático o desconector, diferente a un desconector de acción rápida.							
2) Entre partes vivas de una base para instalar un medidor y un metal puesto a tierra.							
3) Entre un metal puesto a tierra y el neutro de un tablero de distribución de tres fases cuatro hilos.							

Tabla. 7.1 Distancias de aislamiento mínimas entre partes vivas (energizadas) y partes metálicas envolventes o con polaridad opuesta.

Las puertas metálicas y envolventes cumplen con una pulgada de aislamiento en aire de partes vivas (fases y neutro) del tablero lo que nos permite cumplir con este lineamiento.

Una puerta, frente o cubierta templada, acanalada, con pestañas o reforzada de manera similar puede emplear un metal con un espesor no menor de 1.35 mm si es de acero o bien 1.91 mm en caso de tratarse de aluminio, cobre o latón, lo cual como criterio de diseño se abordó desde el inicio ya que estos paneles fueron diseñados en chapa



---

metálica calibre 16 es decir 1.52 mm de espesor. Para mayor información de calibres se adjuntó una tabla de calibres en el Anexo C de este trabajo.

Este mismo criterio se aplicó en el diseño de las barras de cobre del *bus* principal así como en el *bus* de barras de los circuitos derivados. Las barras horizontales obedecen al *bus* principal el cual está el 100% de su capacidad nominal mientras que las barras verticales están al 50% de la capacidad nominal del *bus*.



Fig. 7.5 Arreglo de barras de cobre elegidas posteriormente a su cálculo.

Las barras horizontales así como las verticales son barras estándar de 2 in por 0.25 in de espesor con una densidad de carga superficial asignada de  $1600 \frac{A}{in^2}$ ; con este valor obtenido de una interpolación de valores que proporciona el proveedor se determinó que la capacidad de corriente que puede conducir una barra de 2 in por 0.25 in es de 800A, obedeciendo una expresión matemática la cual gobierna la intensidad de conducción de un medio continuo, la cual está siendo considerada para un material isotrópico, sin ninguna deformación plástica en todo su trayecto a excepción de la que se necesitó para su fabricación bajo condiciones de temperatura ambiente de 20°C y convección libre.

$$I = \|\hat{L}\|S_0$$

En donde:

- $I$  es la intensidad en el conductor.
- $\hat{L}$  es el vector de densidad de carga.
- $S_0$  es la sección transversal del conductor variable o constante.

A su vez podemos descomponer al vector  $\hat{L}$  en su como el producto de otras dos cantidades.

$$\hat{L} = \rho \hat{v}$$

Donde:

- $\rho$  es la densidad de carga de en un punto.
- $\hat{v}$  es el campo de velocidades en ese punto.

Para nuestro caso particular el área transversal es constante y obedece a la siguiente expresión matemática.

$$S_0 = r(2a + r(\pi - 4))$$

Donde:

- $a$  es el lado más grande la sección transversal de la barra.
- $r$  es el lado más corto de la sección transversal de la barra ( $r$  denota un radio).

Dada que es una solera de cobre la cual por efectos de fabricación posee una sección transversal constante denotada por  $S_0$ , asumiremos las siguientes hipótesis para minimizar la complejidad del modelo:

- Que el campo de velocidades de los electrones en cualquier punto es constante.
- El material es isotrópico, es decir las propiedades físicas y mecánicas del material no variarán en forma local.
- El vector densidad de carga se considerará constante por lo que se empleara únicamente su norma.

Dada estas hipótesis podemos asumir que la densidad de carga puede ser representada por un escalar y denotado por la letra griega  $\rho$  y por la función de área  $S_0$ .

El valor que se le asignará a la densidad de carga será  $1600 \frac{A}{in^2}$ , valor obtenido de una interpolación lineal de los valores de corriente nominal que el proveedor asigna a sus productos finalizada su fabricación, por lo que la intensidad de corriente sólo dependerá de los factores geométricos de la barra, donde el nuevo parámetro  $\psi$  inmerso en la ecuación representa la intensidad de corriente cuyo valor será de  $800 A$  para nuestro caso en particular.

$$\rho(r(2a + r(\pi - 4))) = \psi$$

Dado que la ecuación anterior es una función de dos variables se utilizará el criterio de los multiplicadores de Lagrange para obtener el valor óptimo de ambas variables y de esa forma tomar la decisión de la geometría del elemento conductor.

Primero es necesario determinar la función Lagrangeana para poder hallar los puntos críticos dentro de la misma.

$$F(x, \lambda) = f(x) + \sum_{j=1}^m \lambda_j g_j(x)$$

Los puntos estacionarios se determinan resolviendo la divergencia de la función Lagrangeana igualada exactamente con cero.

$$\nabla F(x, \lambda) = \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial x_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial F}{\partial x_n} \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial x_1} + \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial g_j}{\partial x_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial F}{\partial x_n} + \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial g_j}{\partial x_n} \\ g_1 \\ \vdots \\ g_m \end{bmatrix} = 0$$

Resolviendo el sistema de  $m + n$  ecuaciones se obtendrá los puntos estacionarios del sistema donde se localizarán los máximos o mínimos locales.

Las funciones fueron designadas como  $F(a, r)$  elegida como función a optimizar y  $g(a, r)$  como función de restricción.

$$F(a, r) = 2(a + r(\pi - 2)) \quad ; \quad g(a, r) = \rho \left( r(2a + r(\pi - 4)) \right) - \psi$$

La función Larangeana conformada por estas ecuaciones será la siguiente.

$$L(a, r) = 2(a + r(\pi - 2)) - \lambda \left[ \rho \left( r(2a + r(\pi - 4)) \right) - \psi \right]$$

Una vez aplicado el método de los multiplicadores de Lagrange se obtuvieron los siguientes resultados que serán analizados para corroborar cual es el resultado óptimo.

$$\lambda \rightarrow -\frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\rho}\sqrt{\psi}}, a \rightarrow -\frac{2\sqrt{\psi}}{\sqrt{\pi}\sqrt{\rho}}, r \rightarrow -\frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{\pi}\sqrt{\rho}} \quad \dots (1)$$

$$\lambda \rightarrow \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\rho}\sqrt{\psi}}, a \rightarrow \frac{2\sqrt{\psi}}{\sqrt{\pi}\sqrt{\rho}}, r \rightarrow \frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{\pi}\sqrt{\rho}} \quad \dots (2)$$

Las tercias de posibles soluciones que se obtuvieron son las mostradas arriba (1) y (2), la primera será descartada por obvias razones ya que los parámetros geométricos no pueden tener valores negativos bajo ninguna condición, por lo que nos reservaremos a la solución (2); en decimales la solución óptima de una barra de cobre para las condiciones antes impuestas fue de.

$$a \rightarrow 0.7979 [in] \quad ; \quad r \rightarrow 0.399 [in]$$

La cual tiene una conducción precisa para 800 A; sin embargo esa barra no es usual en el mercado por lo que la barra más parecida es de  $a = 1 [in], r = \frac{3}{8} [in]$  la cual valuada en  $G(a, r)$  nos da como resultado 1006.86 A, encontrándose sobre el rango de operación y es admisible dicho modelo de barra.

Sin embargo existen otras soluciones que satisfacen la ecuación de área dada bajo las condiciones de densidad y corriente impuestas, adquiribles de forma comercial. Cabe mencionar que la masa de estos elementos conductores tiene un reflejo inmediato en el costo y por ende se propondrán tres alternativas.

r [in]	a [in]	I [A]	M [kg]	$\left[\frac{\text{Costo}}{\text{m}}\right]$
0,1875	1,5	851,71	3,08	\$415,14
0,1250	2	848,54	3,06	\$413,59
0,2500	1,25	814,16	2,94	\$396,83
0,3989	0,7979	800,00	2,89	\$389,93

Tabla. 7.2 Tabla de soluciones propuestas con barras comerciales y la obtenida de los multiplicadores de Lagrange.

De las barras propuestas la que presenta mejores valores en masa, ampacidad y costo es la barra de 0.125 in por 2 in lo cual fue definitorio en el cálculo de la barra, sin mencionar que es comercial, sin embargo la obtenida por los multiplicadores es la que tiene el menor costo y la intensidad requerida. Cabe mencionar que el método de los multiplicadores de Lagrange podría habernos otorgado una mejor respuesta de haber sujeto la función de perímetro a condiciones más adecuadas para el problema teniendo en cuenta que la densidad de carga en la barra no es homogénea por tratarse de un sistema que opera con corriente alterna, alterando la densidad de corriente en la sección transversal del conductor.

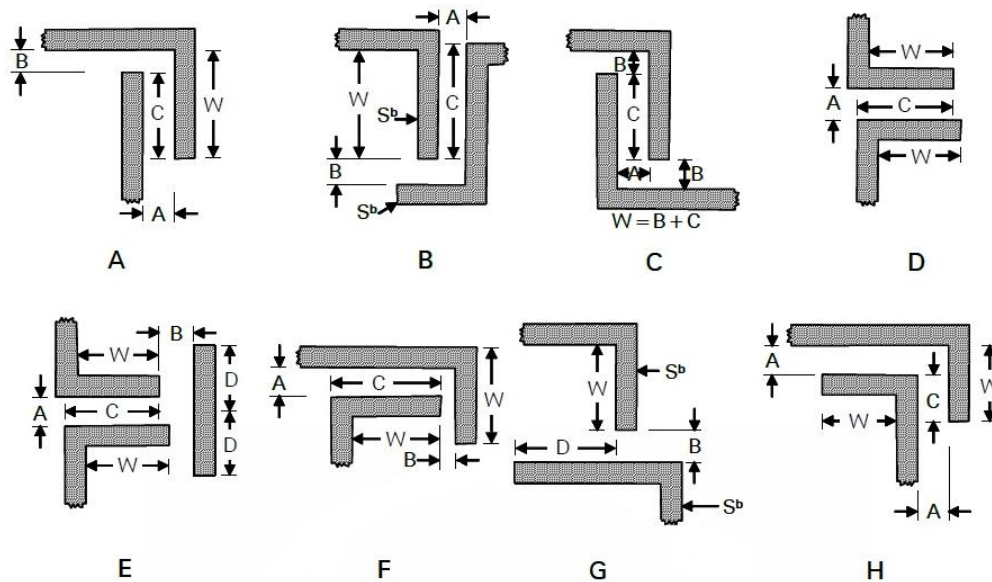


Fig. 7.6 Configuraciones de puertas de chapa metálica con dimensiones especificadas imagen extraída del anexo de figuras de la NMX-J-235/1-ANCE-2008.

En el tablero se incluyen solo la configuración de puerta tipo B y E, la primera se da entre todos los paneles y la envolvente principal y la segunda se da entre la separación de los paneles entre sí. Las cotas ya prestablecidas de acuerdo a la norma aplicable y que se muestran en la tabla 7.2, con más precisión; utilizamos la configuración B1 y la E.

Figura	W	A	B	C	D
	Ancho mínimo de la pestaña mm	Espaciamiento máximo entre partes mm	Distancia máxima mm	Traslape mínimo mm	Extension mínima de la barrera mm
A	12,7	3,2	3,2	11,1	-
A	19,1	4,8	4,8	15,9	-
A	25,4	6,4	6,4	22,2	-
B	12,7	3,2	3,2	11,1	-
B	19,1	4,8	4,8	15,9	-
B	25,4	6,4	6,4	22,2	-
C	12,7	4,8	4,8	6,4	-
C	19,1	6,4	6,4	11,1	-
D	12,7	2,4	-	11,1	-
E	12,7	3,2	3,2	11,1	6,4
F	12,7	3,2	6,4	11,1	-
G°	12,7	-	0,8	-	12,7
H	6,4	3,2	-	4,8	-
a	Para determinar si un envolvente con pestaña cumple con este requisito, debe medirse la distancia entre la parte plana de la cubierta - fuera del radio, moldura, refuerzo o similares - y una orilla recta colocada a través de dos pestañas, en cualquier punto.				
b	Tolerancias - menos de 1,6 mm				
c	El equipo del envolvente debe colocarse en el lado de la extensión D de la barrera que esta opuesta a la distancia B				

Tabla. 7.2 Construcción de cubiertas y puertas con pestaña.

#### 7.4 Sujeciones.

Cada puerta debe incluir un cerrojo o un tornillo prisionero. El tornillo prisionero debe ser operable manualmente o por medio de una herramienta convencional. El tornillo debe ser del tipo simple un cuarto de vuelta o media vuelta, o del tipo de muchas vueltas.



Fig. 7.7 Tornillo de fijación tamaño M6 es posible de retirar con una herramienta convencional.

Los módulos del tablero cuentan con pestañas a 90° para su refuerzo estructural, de igual forma brindan la opción de ser removida con una herramienta sencilla como puede ser un destornillador.



*Fig. 7.8 Panel ciego para interruptor con dos puntos de fijación a la envolvente.*

Cubierta elaborada de chapa metálica cuyo fin principal es impedir el acceso a *bus* de barras principal que esta energizado con el fin de evitar accidentes o mal uso de los servicios propios limitando el acceso solo a personal autorizado.

#### **7.5 Uso como equipo de acometida.**

En un tablero de secciones múltiples debe designarse una sección o interior del tablero de distribución marcado para uso de equipo de acometida, debe proporcionarse con protección contra sobre corriente y con medios de desconexión para los conductores de acometida. Tanto la construcción con desconexión individual como la desconexión múltiple deben ser tomadas en cuenta.



*Fig. 7.9 El gabinete de acometida es el situado en la extrema izquierda.*

El gabinete de acometida fue dotado de un patrón de barrenado para poder colocar las barras de la acometida en una forma tal que se pueda estandarizar el producto. La forma de acometer son por vía aérea o terrestre con tres aperturas para tubería de acero galvanizado de 4 pulgadas permitiendo el poder acometer con 12 conductores de calibre 500 Kcmil o 300  $mm^2$  , información sobre calibres puede ser consultada en la tabla 1 del Anexo C.

## 7.6 Disco Desprendible.

Parte de una pared de un envolvente de metal fabricada de forma que pueda retirarse fácilmente por medio de un martillo, desarmador o pinzas, al momento de su instalación, con el fin de proporcionar un orificio para el montaje de un dispositivo auxiliar o una canalización, cables o accesorios como se muestra en la figura 7.10



*Fig. 7.10 Orificio de acometida para alojar un tubo Conduit de 4 pulgadas, junto con disco removible con un destornillador.*

Las aperturas para tubos o conectadores roscados en los envolventes deben ser de tales dimensiones y forma que el tubo se inserte fácilmente, permitiendo que la boquilla del tubo o contratuerca se fijen de manera adecuada. La cubierta debe quitarse fácilmente, pero no desprenderse durante el manejo normal.



*Fig. 7.11 La parte superior e inferior de la envolvente fueron provistas con placas de metal desprendibles para alojar una tubería de 4 pulgadas, como lo dicta la norma un orificio circular de 117.88 mm de diámetro.*

## 7.7 Envolvente.

Recinto, recipiente o carcasa construido para proporcionar un grado de protección al personal contra contacto accidental con el equipo encerrado y para proporcionar un grado de protección al equipo encerrado contra condiciones ambientales específicas.

Entre los objetivos particulares de este trabajo se encontraba el desarrollo de un gabinete NEMA 1 o bien su equivalente en occidente IP 23 el cual bajo la norma de NMX-J-235/1-ANCE-2008 [6] nos menciona que una envolvente tipo NEMA 1 es construida para uso interior con el fin de proporcionar un grado de protección al personal contra contacto accidental con el equipo encerrado y para proporcionar un grado de protección al equipo encerrado contra la caída de tierra.

NEMA/IP	IP23	IP30	IP32	IP55	IP64	IP65	IP66	IP67
1	X							
2		X						
3					X			
4							X	
4X							X	
6								X
12				X		X		
13						X		

Tabla. 7.3 Comparación entre el grado de protección NEMA contra IP.

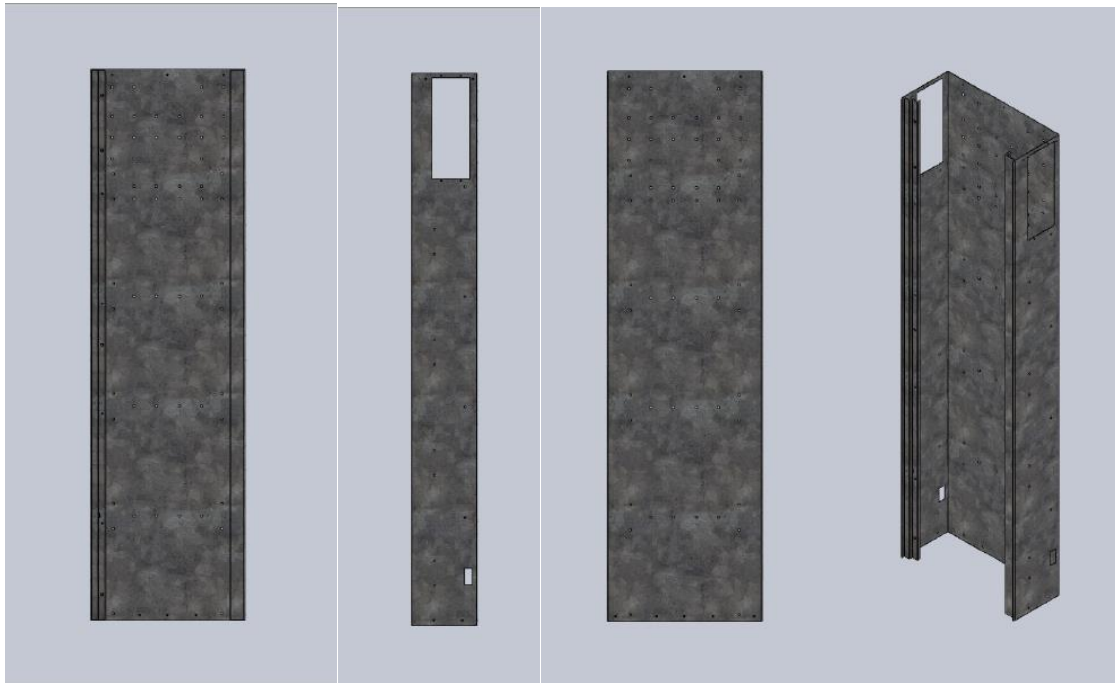


Fig. 7.12 Gabinete de principal para acometida, columna principal y columnas estándar.



El gabinete que se diseñó contemplaba distancias de aislamiento, respecto del *bus* de barras que atraviesa tanto el gabinete de acometida como el del interruptor principal y sus derivaciones. Ese espacio está destinado para que al menos 8 barras de cobre (2 por fase y neutro) de 2 in por 0.25 in puedan atravesar sin problemas contemplando la distancia mínima de 1 pulgada con aire como elemento dieléctrico.

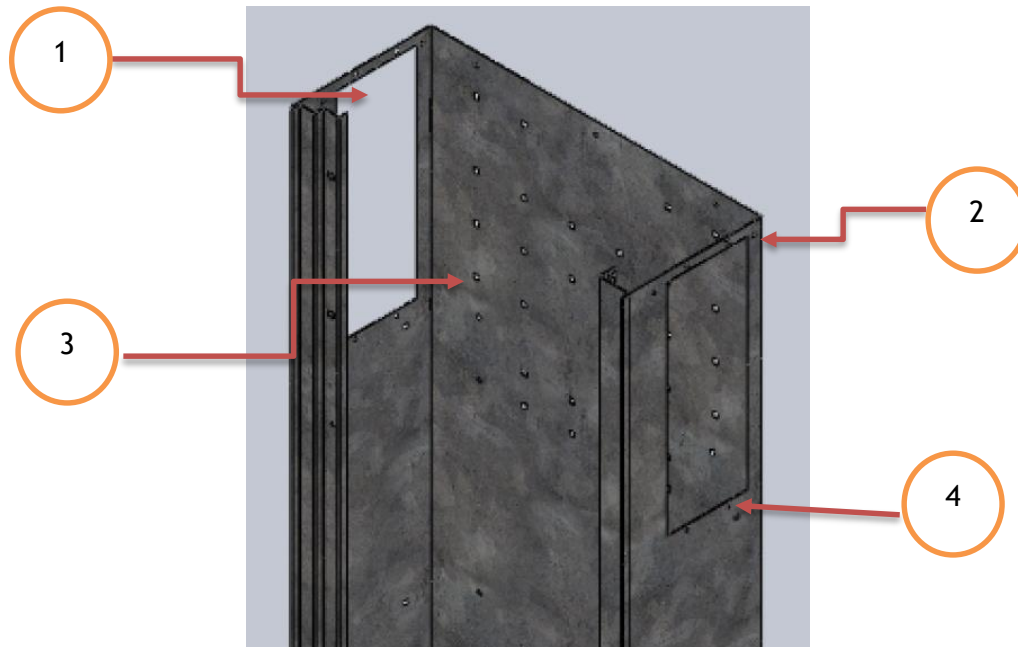


Fig. 7.13 Parte superior de la envolvente principal del tablero.

Los puntos que se marcan con números en la Fig. 7.13 se enlistan con su respectiva descripción en la siguiente tabla.

No. listado.	Descripción
1	Orificio para interconexión de gabinetes.
2	Patrón de barrenado para poder ensamblar a la envolvente pisos y techos con remache.
3	Patrón de barrenado para estandarizar la posición de los aisladores en el arreglo de barras con separaciones específicas para dar como distancia entre cantos de las barras de 30mm como mínimo.
4	Barrenos para tornillo trilobular para cubrir módulo de interconexión. Al utilizar este tornillo no es necesario tener cuerda donde se colocara ya que dada su forma cónica, este va creando cuerda conforme va avanzando a través del material.

Tabla. 7.4 Descripción de los barrenos de la parte superior de la envolvente principal.

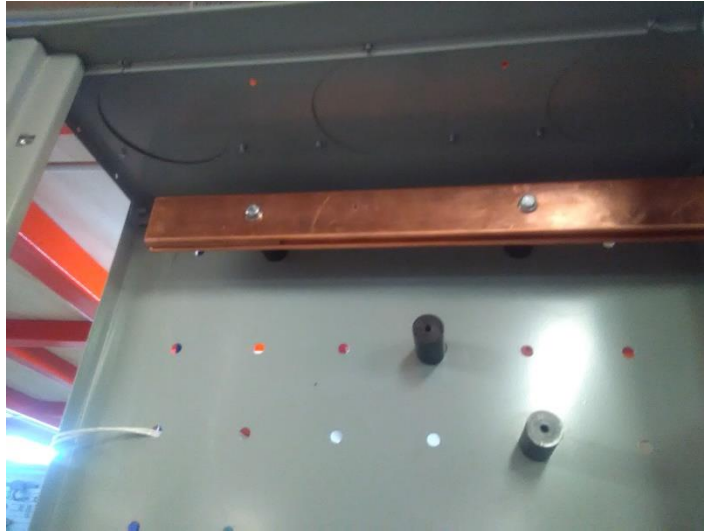


Fig. 7.14 Patrón de barrenado con aisladores ensamblados en su interior y el bus de neutro colocada justo en la parte superior, en la imagen también se pueden apreciar los orificios de remaches y cubre módulo de interconexión.

La principal función de ese patrón fue establecer distancias requeridas y estipuladas según establece la NOM-001-2012 [7] en el capítulo 3 métodos de alambrado y materiales en su artículo 312 “Gabinetes, cajas de desconexión y bases para medidores”; apartado B especificaciones de construcción subsección 312-11 Separación, “Cuando la tensión no excede de 250 volts, debe existir un espacio libre de por lo menos 15 milímetros entre las paredes, la parte posterior, la división de las canales, si son metálicos, o la puerta de cualquier gabinete o caja de desconexión y la parte expuesta portadora de corriente más próxima de los dispositivos montados dentro del gabinete. Esta separación se debe incrementar por lo menos a 2.5 centímetros para tensiones de 251 a 600 volts”.



Fig. 7.15 En la imagen se aprecian las barras soportadas sobre cilindros aisladores donde la distancia entre barras se estandarizo y obedece a la NOM-001 además de estar en función de la posición de estos elementos aislantes.

## 7.8 Mirillas de observación.

El material utilizado para una mirilla de observación que forma parte de la envolvente debe ser fácilmente asegurable, de manera que no pueda desplazarse en servicio y debe proporcionar protección mecánica de las partes encerradas, las cuales deben cumplir con lo siguiente:

- a) Prueba de inflamabilidad – flama de 127 mm de acuerdo con NMX-J-017-ANCE.
- b) Pruebas de resistencia al impacto tanto a temperatura ambiente como en frío. Un elemento representativo debe ser soltado desde 0.9 m de altura un total de tres ocasiones e impactarse sobre una superficie de roble de 25mm de espesor, además de recibir tres impactos con una esfera sólida de acero de 51mm de diámetro cuya masa debe ser de 565 gr, impactando en tres puntos diferentes de la envolvente en caída libre y sujeta como si fuese un péndulo para un impacto radial.
- c) Prueba de resistencia a la compresión, donde el elemento debe ser colocado sobre una superficie rígida y fija en la posición recomendada por el fabricante y esta debe soportar durante un minuto una carga perpendicular de 445 N mediante un aplicador plano de 105mm x 254 mm.
- d) Prueba de esfuerzo al alivio de moldeo. Una muestra representativa del material aislante debe permanecer por 7h en el horno a una temperatura 10 °C mayor que la temperatura máxima registrada durante su proceso de fabricación sin presentar ablandamiento, deformación, escama o distorsión después de su enfriamiento.

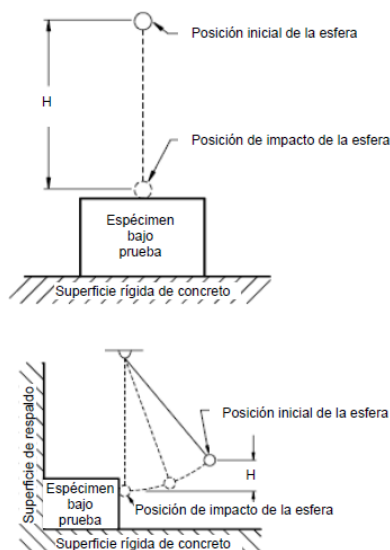


Fig. 7.16 imagen extraída del anexo de Figuras de la NMX-J-235-1-ANCE, donde se aprecia la forma en la que debe ser montada la prueba de impacto.

Para resolver el problema de la mirilla de observación se diseñó una cubierta que para cuestión de prototipado rápido se fabricó mediante manufactura aditiva en ABS con el propósito de cumplir dos objetivos:

- 1) El acceso a manipular el *toggle* de un interruptor debe estar restringido, exclusivamente para un individuo autorizado.

- 2) El individuo que este frente al tablero tiene la posibilidad de ver el estado en el que se encuentre el interruptor, es decir, posición de encendido, apagado o *reset* ya que el material del que se conformó esta pieza para su fabricación en serie es de policarbonato.
- 3) La mirilla debe tener la posibilidad de colocarse con el porta candados del interruptor como medida de seguridad en caso de mantenimiento en el lado de la carga.
- 4) La mirilla debe tener la altura necesaria para que el radio de giro del *toggle* no tenga problemas al cambiar de posición en caso de ser necesario con la cubierta puesta.

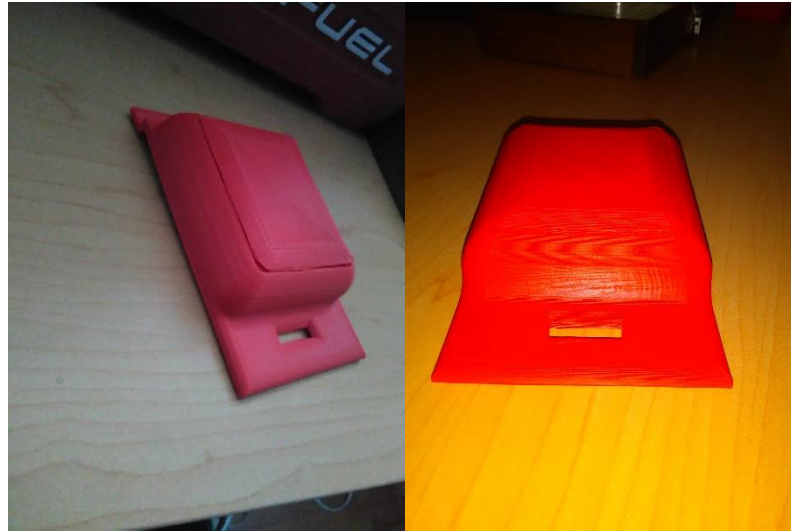


Fig. 7.17 Mirilla fabricada con manufactura aditiva en plástico ABS.

La mirilla posteriormente fue manufacturada mediante un proceso de termo formado con un molde maquinado en aluminio, en policarbonato, material cuyas propiedades mecánicas exceden por mucho las especificaciones requeridas en las pruebas, aun antes de la deformación plástica.

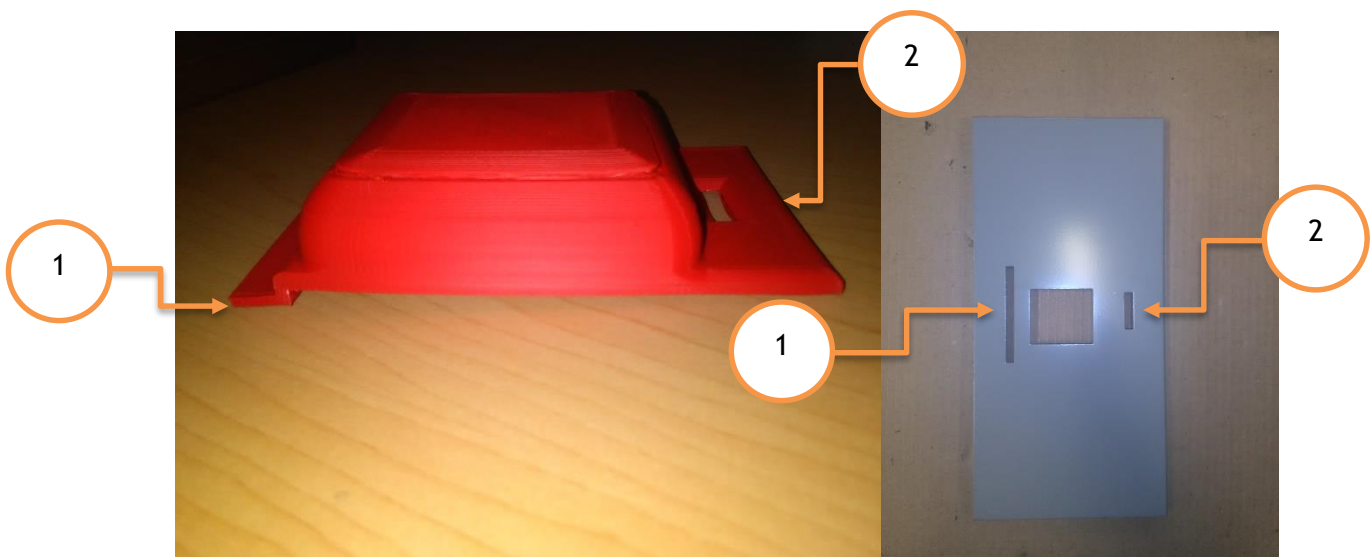


Fig. 7.18 Izquierda mirilla de ABS, derecha módulo de cobertura del interruptor, la etiqueta de la mirilla empata con la de mismo número en la puerta.



Fig. 7.19 Molde maquinado en aluminio, se manufacturo utilizando una fresadora CNC.

El molde tiene en el centro un patrón de barrenos que permiten generar una presión vacuométrica y que el policarbonato precalentado pueda adaptarse a la forma del molde, mediante la extracción de aire con un compresor por la válvula situada en su inferior.

### 7.9 Sujetadores.

Cualquier puerta o cubierta debe contar con medios para sujetarse con seguridad en su lugar, con tornillos de sujeción que aseguren la cubierta en su posición; deben ser designación M4 (tornillo métrico de 4mm de diámetro máximo de la rosca) o mayor. En este proyecto en particular se usaron tornillos M6 debido a la gran cantidad de piezas en *stuck*.



*Fig. 7.20 Las cubiertas tiene cuatro o dos puntos de fijación separados con las distancias establecidas por norma.*

Debe haber sujetadores a no más de 152 mm de cada una de las cuatro esquinas del envoltorio, donde el espacio mínimo entre sujetadores debe ser menor o igual a 610 mm.

Las partes de la envoltorio que sean sujetadas de manera permanente al envoltorio con dos o más sujeciones, tales como soldadura de arco o remaches. Debe haber cada una de estas sujeciones al menos cada 76.2 mm y debe haber una de estas sujeciones dentro de 38.1 mm de cada pestaña de la envoltorio.



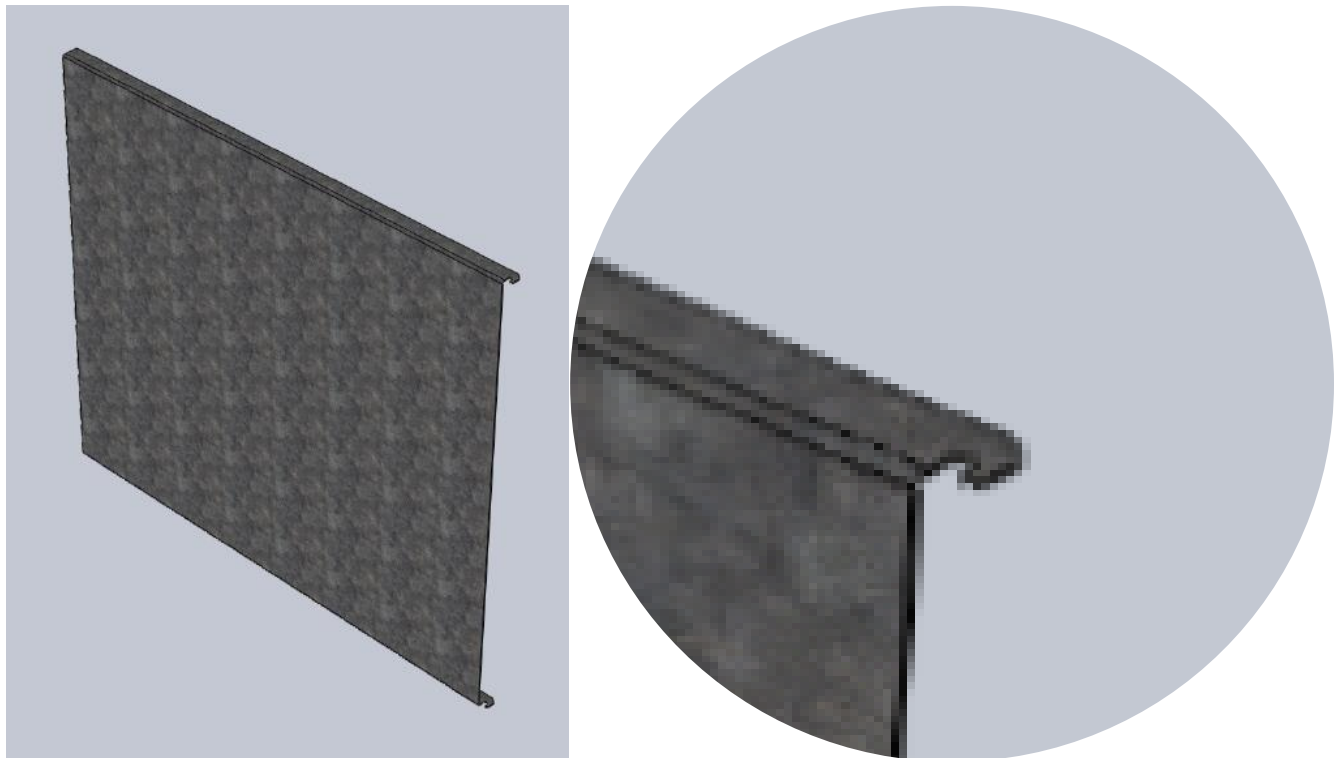
*Fig. 7.21 Puntos de fijación con remaches situadas a no más de 38.1 mm de las pestanas.*

## 7.10 Bisagras.

La bisagra de una puerta debe ser resistente para ejecutar su función prevista sin distorsión y debe sujetarse de manera segura:

- a) A dos o más puntos de la caja o estructura y a la puerta.
- b) Mediante un solo sujetador si se proporcionan medios adicionales, tales como una varilla o pestaña, para mantener alineada la bisagra si se tienen dos o más bisagras.
- c) Mediante soldadura para una bisagra no mayor que 25,4 mm siempre y cuando la bisagra permanezca en su lugar después de que la puerta se sometió a usos tales como los que se puedan presentar en servicio.
- d) Mediante otras construcciones de fijación que demuestran un comportamiento equivalente.

Una bisagra preformada consiste de una cinta de lámina de metal asegurada a, o parte integral de la caja o estructura, compuesta de manera que en conjunto con una ranura en la puerta forme la bisagra.



*Fig. 7.22 Bisagras preformadas desde su manufactura.*

Las bisagras preformadas se conformaron mediante proceso de punzonado, lo que conlleva que la puerta con todo y bisagras es una sola pieza, evitando así de esta forma punto de soldadura, remachado etc., como punto de unión.

### 7.11 Cerrojo y manijas.

Cada puerta debe proporcionarse con un cerrojo con diseño y construcción resistentes, con la excepción de envolventes con puerta, en los cuales se permiten sujeciones por medio de tornillos o cerraduras con llave en lugar del cerrojo.



*Fig. 7.23 Panel del interruptor principal T7 con bisagras preformadas y dos puntos de fijación mediante tornillo.*

En caso de los cerrojos con candado, este se utilizó en el cerrojo de los interruptores derivados como medida de seguridad en el servicio de los clientes, limitando el acceso sólo a ellos o bien alguien autorizado por ellos, consistió en un parte de chapa metálica unida directamente a la envolvente principal, uniendo la mirilla de protección a la chapa metálica de la puerta del interruptor.



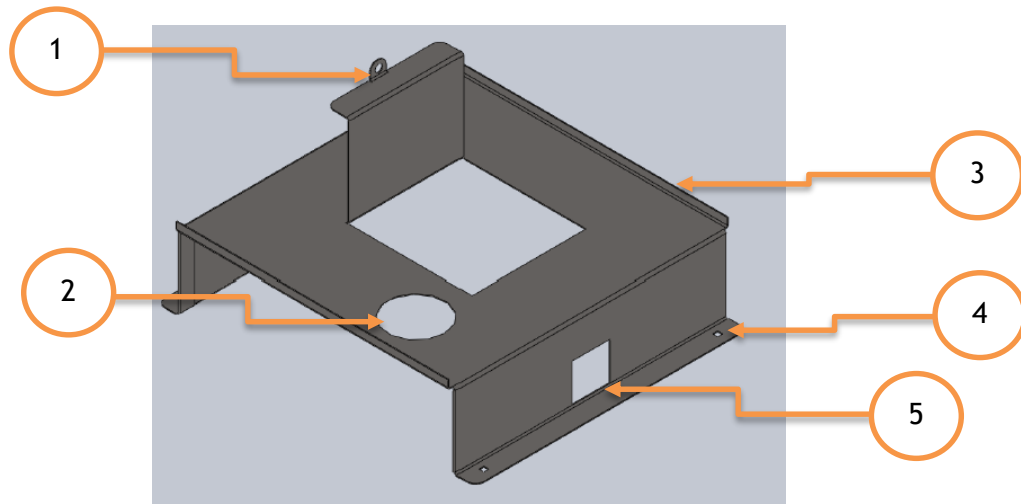


Fig. 7.24 Platina de fijación para el interruptor derivado 1) Porta candado para servicios derivados, 2) Knockhow para alimentación de la base de medidores, 3) pestaña para tener la base de medición en una sola posición, 4) punto de fijación a la envolvente con tornillo cabeza de coche y 5) orificio para tierra física.

La pieza mostrada en la Fig. 7.24 es la platina donde se soporta la base de medición así como el interruptor asociado a la base de medición, debajo de ella pasa el bus de barras derivado así como el cableado de alimentación de las bases de medición respetando las distancias de aislamiento impuestas por la norma NOM-NMX-001.



Fig. 7.25 Ensamble de puerta, platina de medidor y medidor dentro de la envolvente principal, se aprecia el knockhow para la alimentación de la base de medición todo empotrado en el kit para montaje de equipo de medición.

La base de medición se vio lo menos posible afectada en su integración al tablero, es decir, que no se le removieron partes de chapa metálicas a excepción de las designadas por el fabricante así como ningún punto de fijación que no dependiera de los barrenos preestablecidos por el fabricante, con el fin de no perder la garantía en la base de medición ni afectar su funcionamiento original.

### 7.12 Descripción técnica de las partes conformadas de chapa metálica.

Las partes de chapa metálica fueron conformadas por medio de un proceso de doblado en frío con maquinaria especialmente diseñada para este proceso. Se utilizaron rollos de hoja de acero galvanizado calibre 18, es decir, un espesor de 1.21 mm cortadas estratégicamente en secciones de 2008 mm de largo, altura de la envolvente principal y bajo la cual se configuraron todos los demás elementos estructurales del tablero cuyo propósito fue estandarizar el proceso de fabricación y reducir la merma lo menos posible.

#### Techo y piso de acometida.

Esta pieza cuenta con tres orificios con tapas circulares desprendibles y/o adheribles en la parte superior así como 7 puntos de fijación dotados por remaches los cuales unidos a la envolvente principal se unifican como una sola pieza.

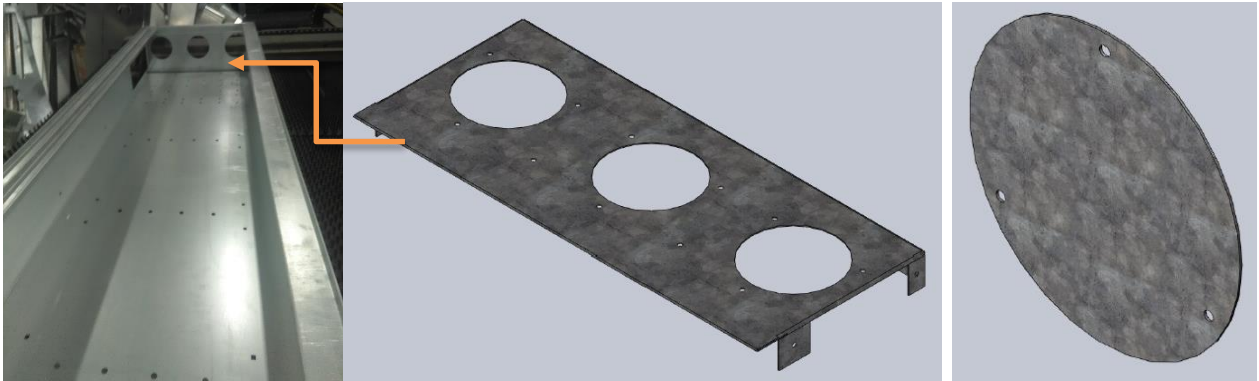


Fig. 7.26 Techo y piso de gabinete de acometida.

#### Pisos de gabinetes derivados o con interruptor principal.

Estos pisos (Fig. 7.27) no fueron dotados con la posibilidad de adaptar una canalización para tubo *conduit* debido a que el proyecto demandó un salida hacia la carga en la parte superior del tablero; la pieza fue dotada de orificios para remaches con 9 puntos de fijación para la envolvente principal, un planchado en la parte frontal del piso con un barreno encontrado en su superficie que permite colocar el perno que funge como bisagra en las puertas de los interruptores derivados.

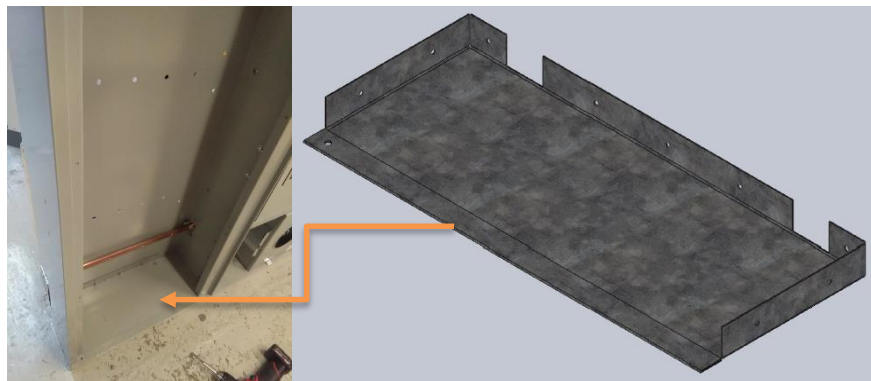


Fig. 7.27 Piso de gabinetes derivados o con interruptor principal.

### Panel slim para mantenimiento.

El panel *slim* para mantenimiento tenía una altura de 38 mm que, sumado a la altura de la base de medición, nos daba 400 mm contemplando tolerancias. La remoción de este módulo permitía el mantenimiento o reapriete de las terminales de alimentación de las base de medición. Cuenta con un punto de fijación a la envolvente por medio de un tornillo trilobular a la envolvente, un barreno cruzado para colocar el perno para la bisagra de puerta y en el extremo posterior una bisagra preformada con el mismo material del módulo.



Fig. 7.28 Panel Slim para mantenimiento.

### Panel para *bus* de barras e interruptor T7.

Los paneles tienen una geometría idéntica, sólo difiere la aplicación que se requiera, a) panel para interruptor T7 y b) panel para *bus* de barras se ilustran de izquierda a derecha respectivamente.

- Un panel de 400 mm de altura diseñado para cubrir la parte de la envolvente donde va colocado un interruptor principal T7, se diseñó con dos puntos de fijación para tornillo M6 cuya tuerca está empotrada en la envolvente principal y en el otro extremo tiene bisagras preformadas con material del panel; tiene la abertura para que el interruptor pueda sobresalir de su superficie incluyendo un patrón de barrenado necesario para el marco embellecedor del interruptor.
- Un panel que incluye todas las características del panel anterior con la notoria diferencia que este no tiene la apertura para el interruptor T7 evitando de esta forma que el *bus* de barras quede expuesto.



Fig. 7.28 Panel para bus de barras.

### Panel de interconexión

Un panel de diseñado con cuatro puntos de fijación a la envolvente mediante tornillos trolibulares cuya función es cubrir la parte que queda expuesta del *bus* de barras tras una interconexión sucesiva de tableros de medición.



Fig. 7.29 Modulo de interconexión.

### Panel para interruptor XT1-XT3.

Un panel diseñado para alojar en su interior a un interruptor modelo XT1 o XT3 según sea la necesidad del usuario. El panel tiene un orificio cuadrado para permitir que el interruptor salga y pueda ser operado, un barreno cruzado para la bisagra y dos aberturas longitudinales en su superficie para el candado y para integrarle la mirilla de observación.

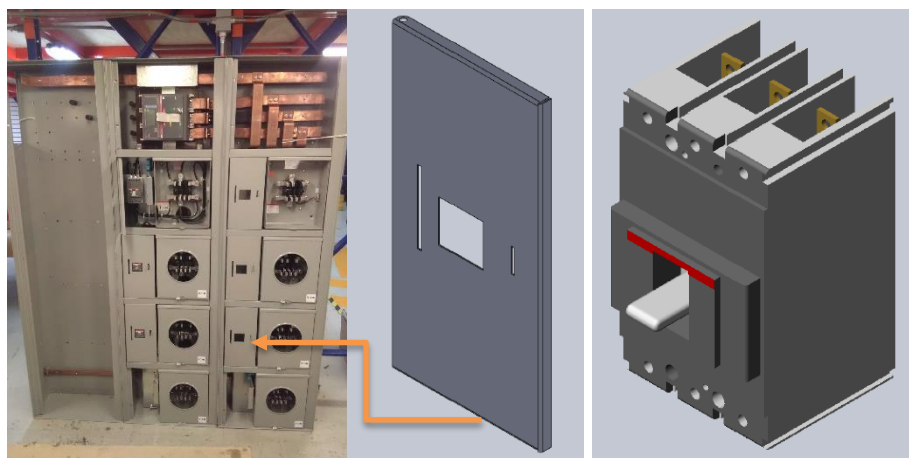


Fig. 7.30 Panel para interruptor XT1 Y XT3.

### Kit de instalación para interruptor T7.

El kit de instalación para interruptor T7 tiene sus puntos de fijación en la envolvente principal, tanto en el techo como en la pared, su geometría compleja es debido al arreglo de barras que pasan justo debajo de la platina. Tiene dos puntos de fijación con tornillo cabeza de coche en las extremidades inferiores y en la parte que está pegada al techo tiene una sujeción mediante tornillos trilobulares, así como los puntos de sujeción necesarios para el interruptor, los dobleces, así como sus dimensiones por las distancias dieléctricas necesarias antes mencionadas.

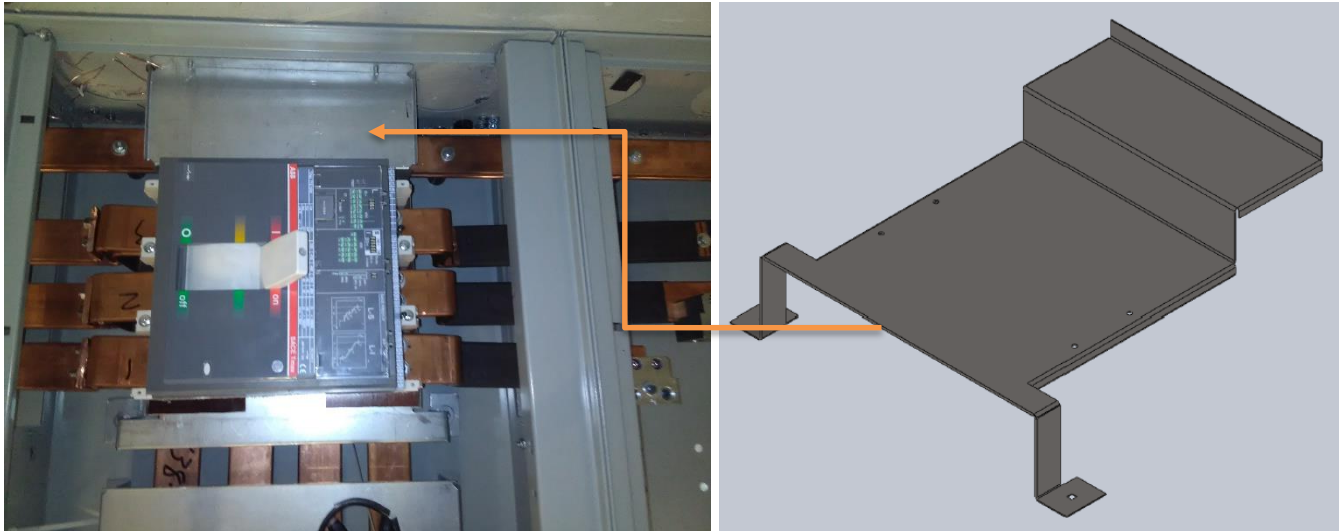


Fig. 7.31 Kit de instalación de interruptor T7.

### Kit de instalación para base de medición.

El kit de instalación para la base de medición tiene cuatro puntos de unión con la envolvente mediante tornillos cabeza de coche, un orificio para el cableado de la base de medición, y el portacandado para que el usuario pueda colocar un candado para su propio servicio.

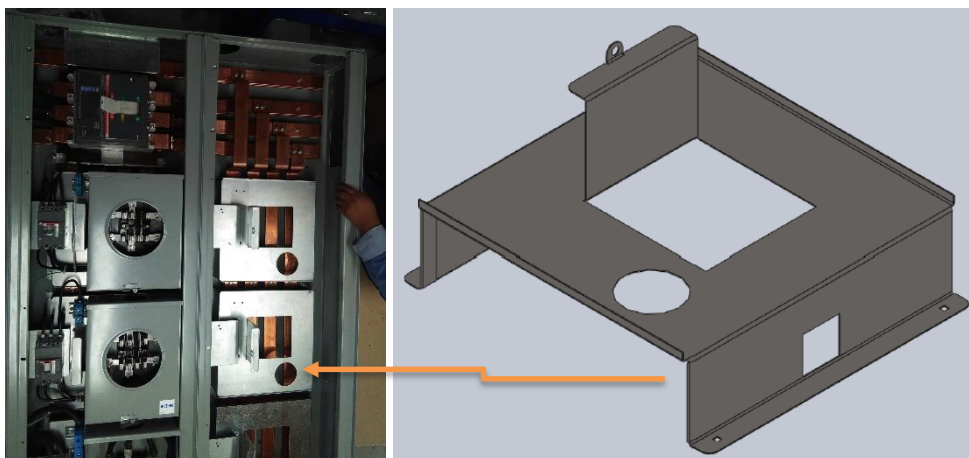


Fig. 7.32 Kit de instalación para la base de medición.

## Maquinaria empleada para manufactura.

### Punzonadora.

La empresa cuenta con un centro de maquinado con fresadoras y tornos CNC, una máquina de corte laser de metales, cortadora de agua, punzonadora, dobladoras hidráulicas de cortina y de mesa oscilante, de las cuales para la producción en cadena se empleó la punzonadora y la dobladora de mesa oscilante así como en lapsos más breves las dobladora de cortina.

La punzonadora fue determinante en el proceso de producción debido a su gran diversidad de herramientas, su fácil abastecimiento, y las grandes jornadas de trabajo a las que puede ser expuesta con una puesta en marcha más económica que otros procesos sin perder precisión.

La máquina empleada fue una Euromac® modelo ZX con un carrete de 6 herramientas en un carrusel tamaño estándar, geometrías que fueron suficientes para programar todos los puntos donde debía golpear la chapa para desprender las partes innecesarias.

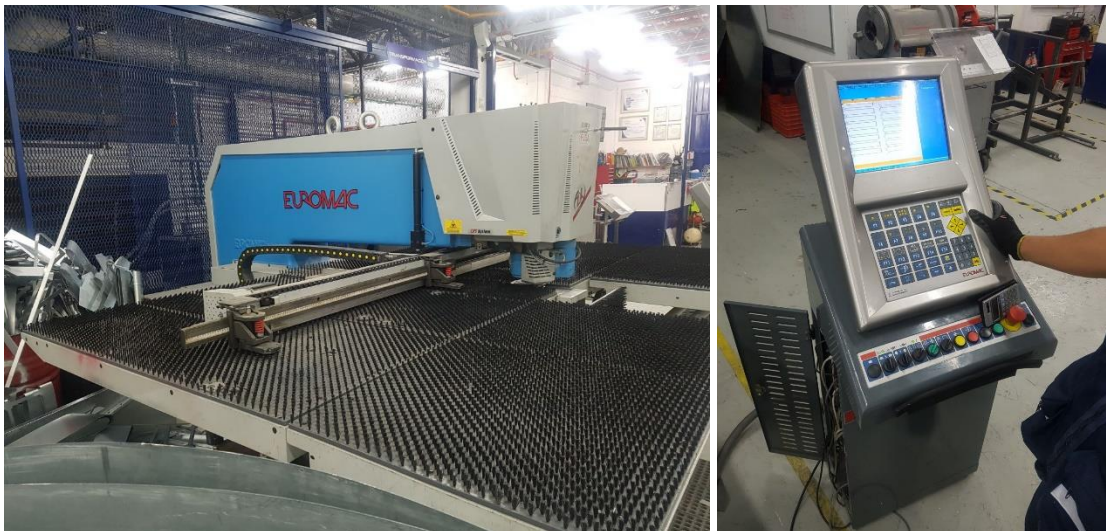


Fig. 7.33 Punzonadora Euromac® con su respectivo centro de control, cada pieza fue programa a pie de máquina. ■

La punzonadora no contaba con un software para exportar archivos digitales y esta interpretara las trayectorias que debía cortar. Debido a eso la programación tuvo que realizarse a pie de máquina, se llevó a cabo usando un desplegado de los modelos CAD para programar coordenada por coordenada, donde esta debía golpear la placa metálica, la máquina posee dos pinzas de sujeción que desplazan la chapa en cualquier trayectoria en todo un plano, permitiendo geometrías complejas de corte en la superficie.

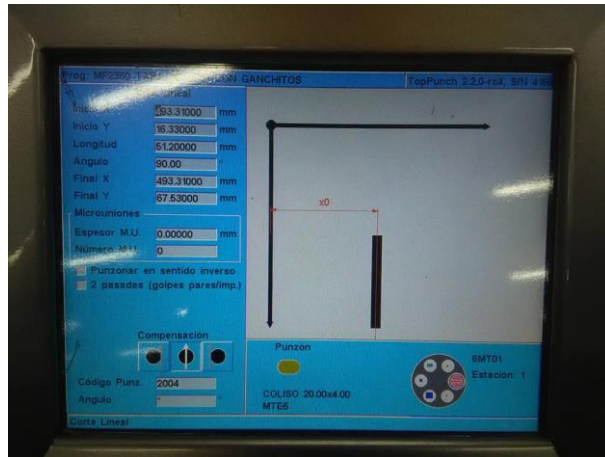


Fig. 7.34 Interfaz de programación del panel del control.

Todas las partes que conforman al tablero fueron programadas en esta máquina para hacer más eficientes los costos y disminuir tiempos muertos. Para programar esta máquina bastaba declarar un espacio de trabajo, los herramientales actuales en el carrusel y un espacio destinado para la maniobrabilidad de las pinzas de sujeción. Se podían anexar geometrías circulares, matrices de punzones, cortes longitudinales, rotaciones y otra gran cantidad de operaciones precargadas en el centro de control.

### Dobladora.

Las dobladoras utilizadas fueron un par de dobladoras Cidane® de mesa oscilante o también llamadas basculantes con un grado de libertad que variaba de los 0° a los 153° como máximo para doblar chapa en una gran cantidad ángulos. Esta máquina contaba con la capacidad de intercambiar o remover dados de diferentes longitudes que apisonan la placa dando una gran versatilidad en el doblado de distintas piezas, un par de topes detrás de la cortina que permiten regular que tan adentro o afuera está la placa en función de las necesidades o cómo fue programada.

Las dobladoras también fueron programadas a pie de máquina con un panel de control incorporado en su costado, panel donde puedes especificar radios de curvatura, espesor del material y ángulo de doblez.



Fig. 7.35 Dobladora de mesa oscilante.

---

## 8. Conclusiones.

Un tablero eléctrico en sus múltiples etapas de desarrollo representa una ardua labor debido a la gran cantidad de elementos que lo conforman; tanto eléctricos como mecánicos y aislantes, siempre estando dentro de las tolerancias que delimitan las normas vigentes, teniendo en ocasiones una gran cantidad de requerimientos para una pieza y su correcto funcionamiento. Los objetivos iniciales del proyecto fueron claves ya que acotaron mucho el problema tanto en alcances como en necesidades que eran imprescindibles cubrir. Restricciones que fueron determinantes para tener una visión de lo que sería el producto final; sin embargo la ejecución tuvo una predominante sobre el diseño, el cual en numerosas ocasiones tuvo que adaptarse a las posibilidades de la máquina, sin dejar a un lado los objetivos ni las condiciones delimitadas por los organismos reguladores.

El diseño conllevó una extensa investigación de los fabricantes del mismo producto, tanto a nivel comercial, es decir, precio de venta al público y opciones de crédito, como en oferta técnica, rubros tomados en cuenta para acotar aún más los alcances del proyecto. Un parte aguas importante, que no omitiré en las conclusiones de este trabajo, es que sin duda el costo-beneficio final que se le otorgó al cliente, lo que impacto positivamente la aceptación del producto por parte del mercado, alcanzando ventas equivalentes a \$1,259,000 pesos en el primer mes posterior a la fabricación del prototipo.

La etapa de diseño del producto fue retroalimentada en diferentes instantes por diversas unidades de negocio para una toma de decisiones más asertiva, involucrando otras variables dentro del problema llámese cadena de suministros, manufactura, producción.

Este proyecto se realizó en una cantidad de tiempo relativamente corta, proyecto que conglomeró diferentes áreas y que como líder del proyecto, me permitió la toma de decisiones importantes en el área de diseño, insumos, tiempos de producción, manufactura, recubrimiento y ensamblaje en dicho orden cronológicamente hablando.

Los elementos que conformaron el prototipo del tablero fueron una columna de acometida, gabinete con interruptor principal y un gabinete derivado, el cual fue enviado a ANCE el día 2 de agosto del año en curso y fue certificado el 25 de agosto del mismo año superando diferentes pruebas eléctricas y mecánicas a las cuales fue sometido, otorgando a la compañía la posibilidad de tener un producto competitivo y certificado en el mercado, abriendo paso a una nueva ramificación en ese nicho de mercado.

Se consideró la manufactura como un punto holístico a lo largo de la trayectoria de elaboración de este producto, debido a las exigencias que este rubro impuso en el diseño y ensamblaje, sin mencionar que la manufactura fue un proceso iterativo debido a las irregularidades que presentaron durante los procesos de conformado, consecuencia de las características y limitaciones físicas de las máquinas, aunado al error que arroja contar con una producción que emplea personas como principal mano de obra y no con procesos automatizados, lo que conllevó a una propuesta bastante interesante que ponderaría la suma de los errores. El proceso por el cual se conformaron todas las piezas fue mediante punzonado lo que condujo a programar las coordenadas de las posiciones espaciales donde sería necesario remover material mediante este proceso como consecuencia de no contar con el software necesario para importar archivos digitales en un formato compatible con la máquina.

El error se minimizó en el instante en el que se le agregó una marca de doblez mediante un golpe extra en los puntos susceptibles de este proceso, lo cual significó una disminución en el tiempo de fabricación, aumentó en la precisión, estandarizó las piezas y se convirtió en un elemento visual del producto.



---

Las piezas no eran necesariamente susceptibles de ser fabricadas por proceso de punzonado, sin embargo cuando se finalizó el modelo prototipo, el cual se manufacturó utilizando como proceso de corte un *router* laser y una cortadora que expulsaba un delgado filamento de agua mezclado con arena a presión como elemento erosionante; sin embargo, la máquina más adecuada para un corte con la precisión y rapidez necesarias, considerando costo, tiempos muertos y versatilidad en el abastecimiento de material fue mediante punzonado, aportando agilidad en el proceso de producción de las piezas y en su traslado, aportando una mayor coordinación en la logística.

Una pieza que presento un problema muy singular ocurrió durante su instalación, situación que pudo haberse prevenido con las adecuadas medidas de precaución durante el ensamblaje, atornillando las barras de alimentación al interruptor principal utilizando tornillos con la longitud adecuada, como consecuencia inmediata de esta negligencia el *kit* de instalación del interruptor principal modelo SACE Tmax T7S presento deformaciones e irregularidades posteriores a su instalación en más de una ocasión, objetando en un razonamiento inicial que el error había sido de diseño a pesar de que los análisis de esfuerzos y deformaciones realizados en esa pieza demostraron que las sollicitaciones a las que estaba expuesto estaban por debajo de las necesarias para que fallase el material empleado, sin embargo aún bajo correctas condiciones de funcionamiento se aplicó un refuerzo estructural en dicha pieza, no obstante el problema se presentó una vez más, razón que obligo una revisión exhaustiva, deliberando que el detalle yacía en el área de ensamblaje.

El tablero es funcional, sin embargo he de reconocer que algunas piezas son susceptibles de un rediseño mecánico, cometario que fundamento con base en el último eslabón del proceso de fabricación, el ensamblaje, englobando la producción como un elemento importante dentro de un diseño, reflexión que permite adoptar un pensamiento sistémico y contemplar el diseño como un subsistema y no como el sistema global, siendo más objetivo, el proceso final debería ser hasta que el cliente instala su carga a un medidor y no al salir de producción, negligencia que omite una gran cantidad de corporaciones.

Me siento satisfecho con el producto final y como mi desempeño como líder del proyecto. Fue un ejercicio interesante para obtener y desarrollar habilidades útiles en la práctica profesional. Haber formado parte del diseño este producto desde el inicio hasta el final fue una experiencia enriquecedora para mi vida profesional y mi desarrollo personal.

A su vez, los conocimientos que adquirí durante mi formación como ingeniero y que me fueron de gran utilidad para la resolución y finalización de este proyecto fueron adquiridos en las asignaturas de CAD&CAM para el diseño y manufactura del molde, Dibujo Mecánico para los planos de fabricación, Metalurgia física por las características de los aceros empleados, Materiales no metálicos para materiales aislantes, Modelado de procesos de manufactura por la fabricación de la piezas de chapa metálica, Calculo vectorial en el cálculo de las barras y Transferencia de calor para cumplir con la disipación impuesta en las normas vigentes, etc. El proyecto demandó muchas áreas necesarias en la formación de un Ingeniero Mecánico.

Para finalizar las conclusiones me gustaría proponer dentro del temario de prácticas de procesos de manufactura la incorporación de simulaciones o prácticas en laboratorio que consistan en realizar un doblez en un elemento de chapa metálica, permitiendo a los alumnos medir y apreciar el cambio en las propiedades mecánicas posteriores a la deformación plástica, mediciones que puedan realizarse en forma directa o indirecta a escala microscópica mediante metalografía. Pienso que nos agregaría gran valor a la formación como Ingenieros Mecánicos, sobretodo porque la chapa metálica o lámina es ampliamente utilizada en la industria en un sinnúmero de aplicaciones de diferente índole.

---

En forma expresa enuncio mi solemne gratitud a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme brindado la oportunidad de forjarme como Ingeniero con conocimientos técnicos y humanistas en el interior de sus aulas y laboratorios; en este arduo, digno y grato camino de la ingeniería, cúpula donde convergen y se intersectan los problemas y soluciones que la sociedad demanda. Cuna de grandes profesionistas que ejercen con ética y moral en su incesante camino por dejar en alto el nombre de nuestra Universidad.

“La universidad al pueblo y el pueblo a la universidad.”

---

## 9. Bibliografía.

- [1] Universidad Tecnológica de la Mixteca, “*Sistema de medición remota de energía eléctrica*” Héctor Manuel Espinoza Ramírez, Huajuapán de León, Oaxaca, Noviembre, 2007.
- [2] Comisión Federal de Electricidad, Norma CFE GWH00-11 “*Bases para medidores tipo enchufe S*” México, Enero, 2011.
- [3] Underwriters Laboratories, “UL67 Panelboards”, Regulatory Services Department UL, 333 Pfingsten Road Northbrook, IL 60062, Enero, 2012
- [4] Asociación de Normalización y Certificación, “*NMX-J-118/2-ANCE-2007 Tableros – Tableros de distribución de baja tensión – especificaciones y métodos de prueba*”, México, 2007.
- [5] Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, “*Aceros especiales y otras aleaciones*” José Apraiz Barreiro, Bilbao, 1982.
- [6] Asociación de Normalización y Certificación, “*NMX-J-235/1-ANCE-2008 Enclosures for electrical equipment, non-environmental considerations*”, México, 2008.
- [7] Diario Oficial de la Federación, “*Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas*” Luz Aurora Ortiz Salgado, México, Junio, 2012.

10. Anexos.

**Anexo A. Características técnicas y geométricas de las bases de medición según la Norma CFEGWH00-11.**

Tabla 1. Dimensiones mínima de las bases de medición cuadrada y rectangular.

Capacidad de la base A	Dimensiones en mm								
	4 y 5 terminales.			7 terminales.			13 terminales.		
	Alto	Ancho	Fondo	Alto	Ancho	Fondo	Alto	Ancho	Fondo
20	-	-	-	-	-	-	470	300	100
	-	-	-	-	-	-	550 *	550 *	355 *
100	190	190	76	254	190	114	-	-	-
200	304	190	100	356	290	114	-	-	-

**Nota:** (\*) Base con espacio para alojar transformadores de corriente.

Tabla 2. Sección mínima de los conductores.

Capacidad de la base.	Sección transversal del conductor $mm^2$ (AWG y Kcmil)	
	Aluminio	Cobre
20	-	5,26 (10 AWG)
100	36,62 (2 AWG)	36,62 (2 AWG)
200	85,01 (3/0 kcmil)	85,01 (3/0 kcmil)

Tabla 3. Entradas roscadas.

Base		Tipo de acometida	Designación comercial en pulgadas.
Capacidad A	Terminales.		
100	4 y 5	Aérea	1 1/4
		Subterránea	2
	7	Aérea	1 1/4
		Subterránea	2
200	4 y 5	Aérea	2
		Subterránea	2 1/2
	7	Aérea	2 1/2
		Subterránea	3

## Anexo B. Pruebas de recubrimiento según la Norma CFEGWH00-11.

### Prueba de exposición a radiación ultravioleta en cámara de arco de carbón.

#### Preparación.

La base de medición se coloca dentro de la cámara de arco de carbón.

#### Procedimiento.

El procedimiento se lleva a cabo colocando las muestras de tal manera que estas queden en la horizontal a la radiación ultravioleta, con ciclos de 102 min de radiación, seguidos de 18 min de rocío y radiación durante las 500 h de exposición.

### Prueba de cámara de niebla salina.

#### Preparación.

Se debe utilizar otra base diferente a la utilizada en la prueba de radiación ultravioleta en cámara de arco de carbón.

#### Procedimiento.

La base se coloca en la posición normal de operación dentro de la cámara salina y se debe exponer durante un periodo de 600 h, siendo la solución del cloruro de sodio con una concentración del 5% siguiendo lo indicado en la norma NMX-D-122.

---

Al finalizar las pruebas ambas deben cumplir con lo que se requiere a continuación:

- a) Los recubrimientos de las bases ya intemperizadas tanto en radiación ultravioleta como niebla salina, no deben presentar:
- Ampollas.
  - Esgurrimiento de óxido.
  - Puntos de corrosión.
  - Desprendimiento.
  - Grietas
  - Cuarteaduras.
- b) Se aceptan decoloraciones o manchas no debidas a corrosión sobre el escurrimiento.
- c) Se debe medir la adherencia después de la intemperización en la cámara de radiación ultravioleta de acuerdo a la especificación CFE D8500-01 y la calificación debe ser mayor a 3.
- d) Las partes metálicas de contacto eléctrico no deben presentar puntos de corrosión ni escurrimiento de óxido.
- e) Incluir informe de pruebas con evidencia fotográfica antes y después de las pruebas y puntajes obtenidos

### Anexo C. Información técnica de componentes del tablero.

Tabla 1. Calibres de lámina.

Calibres de lamina.			
Calibre.	in	mm	$\frac{kg}{m^2}$
7	0,187	4,750	37,3
8	0,165	4,191	32,9
10	0,135	3,429	26,9
11	0,120	3,048	23,9
12	0,105	2,667	20,9
13	0,090	2,286	17,9
14	0,075	1,905	15,0
16	0,060	1,524	12,0
18	0,048	1,219	9,6
20	0,036	0,914	7,2
22	0,030	0,762	6,0
24	0,024	0,610	4,8
26	0,020	0,508	4,0
28	0,015	0,381	3,0