DISEÑO Y FABRICACION DE TABLEROS DE DISTRIBUCION EN BAJA TENSION – PROYECTO SUBESTACION EDIFICIO BANCO AGRARIO DIRECCION GENERAL -

STEPHANY PARRA ALEMÁN

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERIA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2016

DISEÑO Y FABRICACION DE TABLEROS DE DISTRIBUCION EN BAJA TENSION – PROYECTO SUBESTACION EDIFICIO BANCO AGRARIO DIRECCION GENERAL -

STEPHANY PARRA ALEMÁN

Informe de pasantía realizado para obtener el título de:
Ingeniera Mecánica

Consejo Curricular Tecnología e Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERIA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2016

1 TITULO

Diseño y Fabricación de tableros de distribución en baja tensión - Proyecto subestación edificio Banco Agrario –

2 RESULTADOS ALCANZADOS

El BANCO AGRARIO DE COLOMBIA llevará a cabo la adecuación del Edificio de Dirección General localizado en la carrera 8 N° 15-43 de la ciudad de Bogotá D.C. Esta estructura será objeto de reforzamiento estructural para actualizarla a la norma sismo resistente vigente, y paralelamente se realizaran todas las obras necesarias de instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias, ventilación mecánica y aire acondicionado, sistemas de control y monitoreo, acabados internos, mobiliario, recuperación de elementos de fachada, espacio público, etc. Las adecuaciones de las instalaciones eléctricas que se realizarán objetivo principal de este informe comprende el diseño de los tableros de baja tensión alimentados en la subestación. En términos generales, los tableros eléctricos son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente y en cumplimiento con la normatividad vigente para calidad operación y seguridad de las personas así como de las instalaciones en general.

Por consiguiente, es primordial comenzar por resumir el proceso completo por el cual los tableros del proyecto de la subestación pasan, para lograr su fabricación y entrega final al cliente el BANCO AGRARIO.

Se describe el proceso en general y el proceso especifico por producto, para conocer posteriormente su efectividad para la compañía PROELECTRICOS S.A.S y que se debe mejorar en caso de presentar falla alguna, en cuanto a tiempo y material los cuales inciden en el costo final, ya que es uno de los objetivos para la compañía, así como brindar efectividad en los tiempos de entrega, calidad en el producto y ganancia económica para ambas partes.

2.1 PREDISEÑO

Esta es la primera etapa del proceso, es la etapa comercial en la cual la compañía recibe de parte del cliente diferentes especificaciones y condiciones de partida tales como grado IP, corriente de corto, temperatura de diseño, condiciones ambientales del sitio de instalación, acceso al tablero y un plano unifilar (ver anexo 1) definido como:

Un diagrama unifilar es una representación gráfica de una instalación eléctrica o de parte de ella. El esquema unifilar se distingue de otros tipos de esquemas en que el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de dichos

conductores. Acompañado de los símbolos de los esquemas de protección control y demás, además de las características de cableado que están inmersas en este unifilar. Típicamente el esquema unifilar tiene una estructura de árbol.

Teniendo la información completa por parte del cliente, el ingeniero eléctrico a cargo realiza un plano unifilar (ver anexo 2) acorde al entregado por el cliente que normalmente contiene todo el proyecto junto, y lo secciona en tableros independientes o en conjuntos dependiendo el caso, acorde también a las capacidades y estándares de la compañía además del material y marcas de equipos que satisfagan todos los requerimientos.

Para finalizar esta etapa, es entregada la planimetría o plano civil del área donde se instalarán una distribución aproximada de los tableros físicos como se muestra a continuación (imagen 1 y 2):

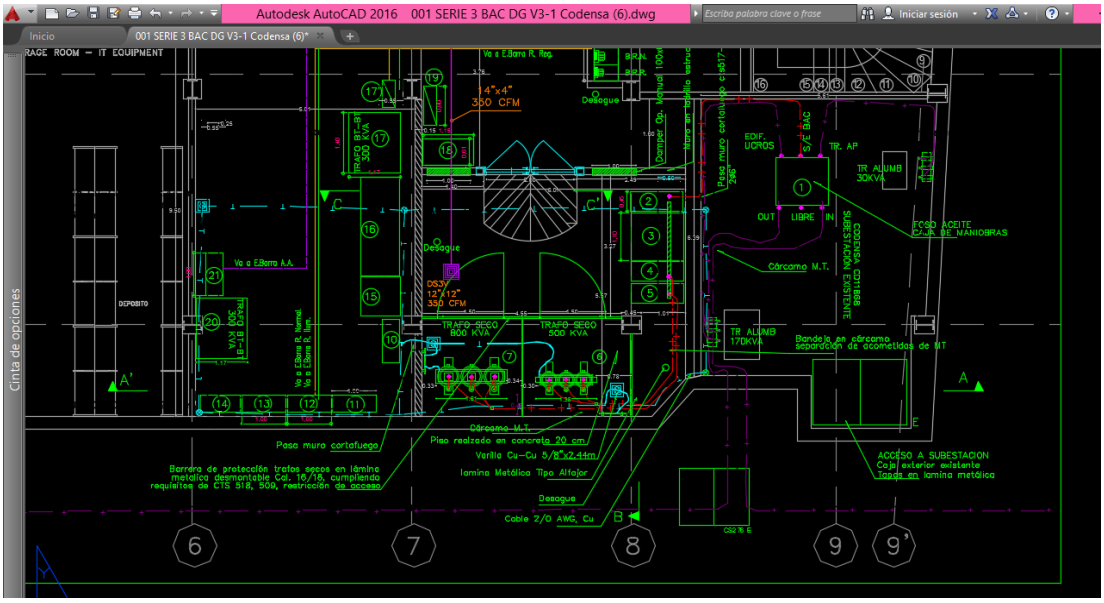


Imagen 1. Distribución de planta o planimetría entregada por el cliente.

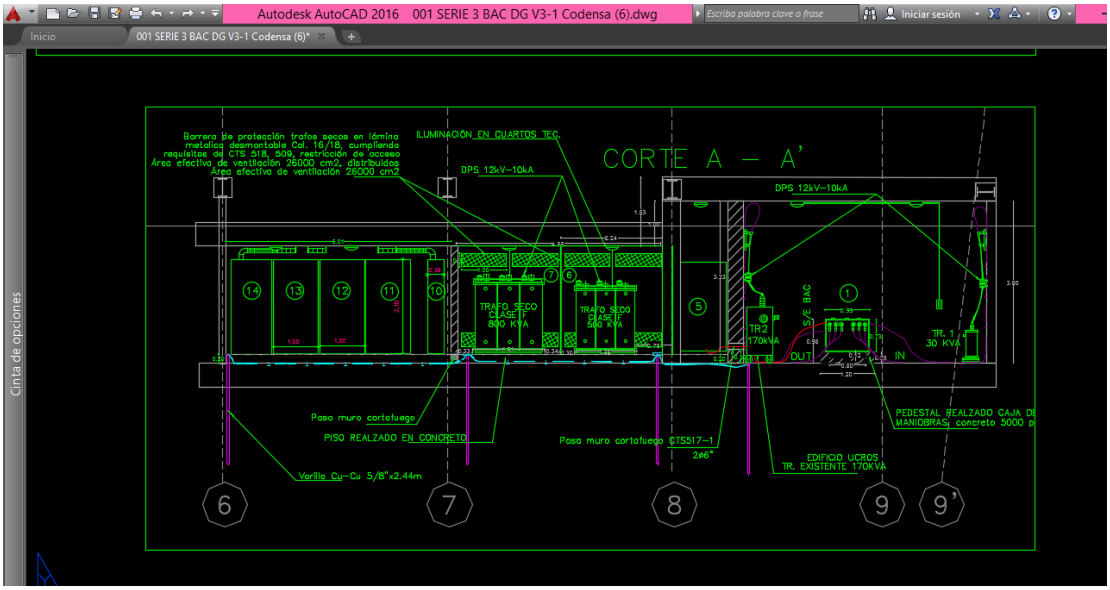


Imagen 2. Distribución de los tableros en vista frontal entregada por el cliente.

A partir de aquí y en conjunto con el plano unifilar eléctrico se desarrolla un plano de aprobación mecánico donde se configuran físicamente los equipos con dimensiones generales de las envolventes es decir las partes metalmecánicas cada uno de los tableros. Este plano es realizado en 2d en el software Autocad[1], estos planos, tanto el mecánico como el eléctrico son enviados al cliente para su aprobación final.

2.2 DISEÑO

Una vez se da la aprobación por parte del cliente de los planos enviados se da inicio a la etapa de diseño formalmente de la parte eléctrica y de la parte mecánica, en esta se trabaja a la par y en conjunto con ingeniería eléctrica para garantizar los generales y detalles del diseño del suministro. Con esto, es primordial hacer referencia al estudio de ventilación y temperatura que hace el ingeniero eléctrico correspondiente a cada tablero. Sin embargo, no es el área focal del presente informe pero se menciona porque hace parte del proceso, a continuación se presentaran imágenes del software utilizado del proveedor de los equipos eléctricos (la corporación multinacional ABB líder en ingeniería eléctrica), que sigue los lineamientos de la norma técnica RETIE – Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas-.

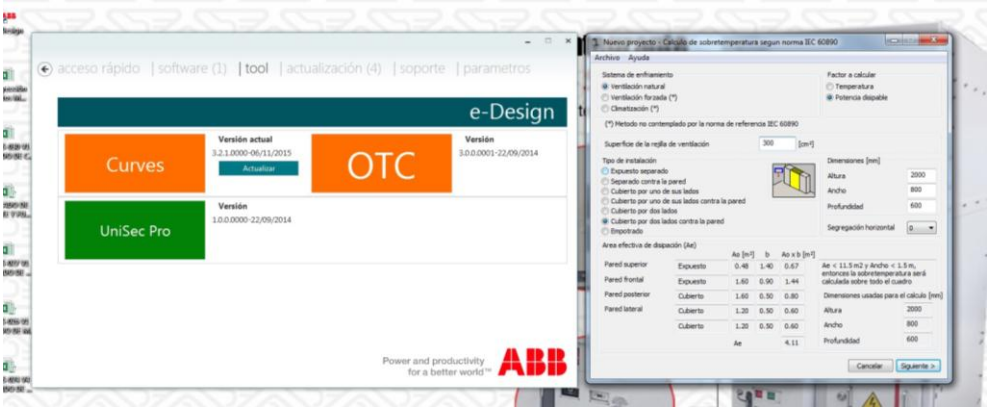


Imagen 3. Software para estudio de ventilación y temperatura de los tableros.

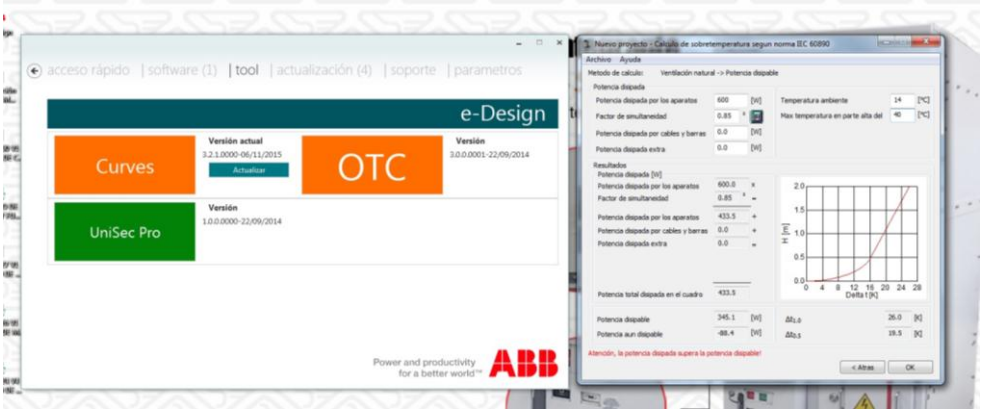


Imagen 4. Software (vista de resultados) para estudio de ventilación y temperatura de los tableros.

1. ***Autodesk AutoCAD*** *es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D*

Cumpliendo los lineamientos de la norma IEC 60890 (DETERMINACION DE ELEVACION DE TEMPERATURA EN TABLEROS ELECTRICOS). Su objetivo principal es determinar si el tamaño de los tableros eléctricos es adecuado para la instalación de equipos en su interior, teniendo en cuenta factores como temperatura externa de instalación de tableros. Esta norma ayuda a calcular el incremento de temperatura dentro del tablero cuando el tablero no tiene ventilación forzada.

En otro caso utilizamos programas ya desarrollados por proveedores como ABB, con los resultados que entrega el software e-Design, se puede comprobar si el dimensionamiento inicial del tamaño del tablero requerido por el cliente es el correcto o si debe ser modificado de acuerdo a las distancias de seguridad, y que tipo de ventilación debe llevar el tablero para que los equipos y el barraje funcionen correctamente, si debe ser forzada o puede ser natural (en la imagen 5 muestra un montaje del ventilador usado en la puerta).

Imagen 5. Ventilación forzada montaje.

De manera que para comenzar con el diseño mecánico y partiendo de todo lo mencionado anteriormente, se requiere el unifilar actualizado (ver anexo 2) para luego realizar el modelado de los tableros 3d en el software mecánico llamado SOLIDWORKS 2016. Los tableros se dividieron de acuerdo a su uso dentro de la subestación como por ejemplo la transferencia o el sistema de aires acondicionados, etc. Además se codificará con una OP (orden de producción) de acuerdo a las normatividades de la compañía PROELECTRICOS S.A.S y en consecuencia se formalizara el proceso de fabricación de cada uno de los tableros.

Las consideraciones para el diseño mecánico requeridas por el cliente, estos datos se diligencian en un check list o formato **R-PRO-021 V1 PORTADA LANZAMIENTO DE PROYECTOS** (ver anexo 3) por el comercial responsable, entre ellas se encuentran:

- El sentido de apertura de la puerta (dependiendo de la ubicación del tablero).
- Puertas en vidrio.
- Lámpara interna en la sección del control.
- Sensor de cierre de la puerta para encendido de la lámpara.
- Color de la pintura del tablero (RAL 7035) y la puerta del tablero Bomba contra incendio roja (RAL 3020) para fácil reconocimiento.
- Techo desmontable para el ingreso de las acometidas. – instalación eléctrica que se construye desde las redes de distribución hasta las instalaciones del usuario, punto de conexión -.
- Los tableros debidamente marcados para su correcta utilización.

Imagen 6. Montaje del sensor.

Imagen 7. Marcación del tablero

- Los tableros poseen una placa de especificaciones técnicas que es instala visible y característica de los tableros Proelectricos.

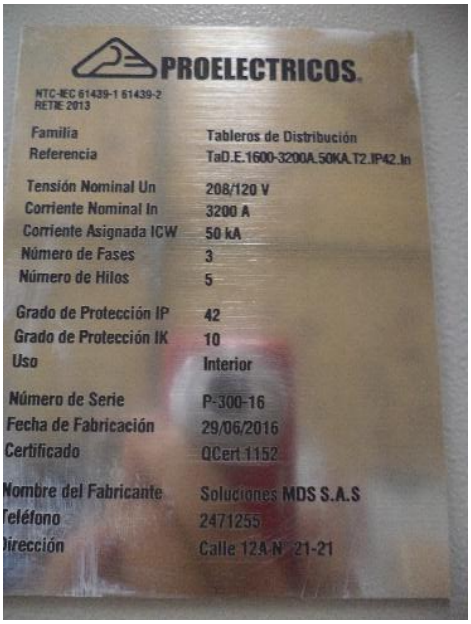


Imagen 8. Placa de características del tablero

- Debe especificarse material y calibres para llevar el control en el consumo de los materiales. Cada pieza se diseña con un "factor K" de seguridad que asegura la minimización de errores por temas de calibres y radio producido por las herramientas de doblez.

- A medida que se va generando las piezas en el programa de diseño, se va generando sub-ensambles y el ensamble final de las partes en el Software, para asegurarse de que todas las partes van cazando y las propiedades asignadas son las adecuadas. Este proceso también nos ayuda a determinar que piezas pueden hacer falta por tener presentes o variaciones que se deban realizar.

- Como se puede observar en la imagen 8 hay un punto muy importante para el diseño del tablero: su envolvente, esta requiere garantizar el grado IP (protección contra ingreso) respecto a los agentes ambientales y humanos externos a los dispositivos eléctricos. En este caso el IP requerido es el 42 significa: el número 4 – protegido contra cuerpos solidos de 1 mm de diámetro o mayores – y el número 2 – Protegido contra "goteo" en direcciones verticales e inclinadas hasta 15° de la vertical (entre 75° y 105°) –. Por consiguiente es un tablero para uso interior, con esto se podrá elegir el método de sujeción entre las piezas su tornillería puede ser galvanizada no necesariamente inoxidable y si es necesario o no usar soldadura.

- Los equipos eléctricos usados son costosos y dada la corriente a la cual va a estar sometido una vez este en uso el tablero, es indispensable que solo el personal adecuado y calificado manipule el tablero así que todos deben de contener esos equipos tablero, por este motivo y por la normatividad vigente todos los tablero tendrán un frente muerto

que separará y protegerá de cualquier contacto accidental con las partes energizadas por parte de personal no calificado su función también es visualizar el frente de los equipos solo y estrictamente los necesario. Lo mismo para el compartimiento de control solo se permitirá la salida de pulsadores de emergencia on/off y monitores puntuales.

- Los tableros llevan en su base el anclaje al piso es decir son fijos no poseen rodachinas (tableros autosoportados).

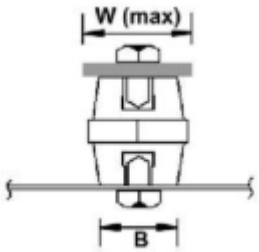
2.2.1 DISEÑO DEL BARRAJE

El diseño del barraje comprende también una parte muy importante del diseño del tablero, Porque alimenta todos los equipos al interior del tablero y hace que la corriente necesaria para el funcionamiento fluya por el circuito, reemplazando la labor del cable. Ya que dependiendo sea el caso y debido a que la capacidad de transporte de la barra de cobre es mucho mayor, comparado con el cable tradicional, de esta manera se logra transportar grandes cantidades de corriente de manera más efectiva ocupando un volumen mucho menor con la barra de cobre que si se usara cable convencional es por ello que el diámetro del cable usado sería muy grande al punto de ser casi inmanejable por sus radios de curvatura mínimo que cada calibre requiere.

Los barrajes para conducción de corriente son de cobre de alta pureza y alta conductividad, en el momento de dimensionar el barraje se tiene en cuenta la capacidad de corriente máxima que circulara por él, es decir la corriente nominal, esta corriente no puede ser mayor a su capacidad de conducción, este valor de corriente nominal determina la sección transversal de la barra, y de ser necesario si se una o varias por fase.

Otro factor que determina el tamaño del barraje es el calibre de la acometida, o en pocas palabras el calibre de los cables que irán conectados a ella para garantizar que al usar el terminal adecuado para el cable el área de contacto sea la adecuada.

Según la norma NTC 3475 la capacidad de corriente de los barrajes de fase no debe ser menor que la proyectada para las acometidas del tablero. Todos los barrajes, incluido el del neutro y el de tierra se deben montar sobre aisladores. Estos están fabricados en resina poliéster reforzado y su instalación se muestra en la imagen 9 y el montaje de estos en la imagen 10.



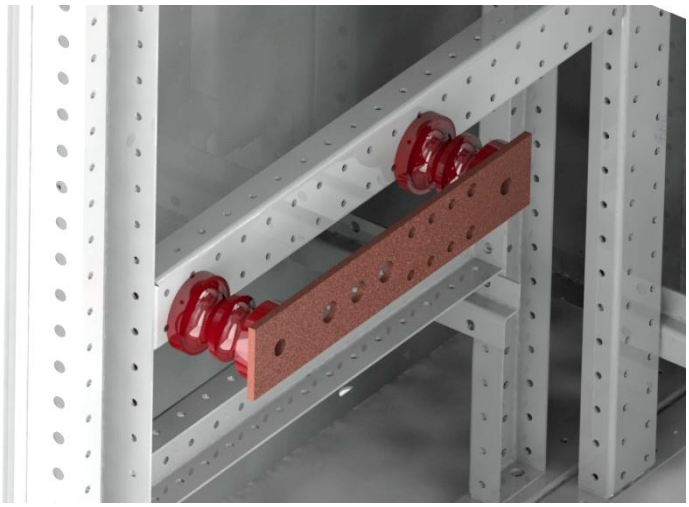


Imagen 9 y 10. Instalación de barras con aisladores.

La disposición de las fases de los barrajes en los tableros trifásicos, debe ser **A, B, C**, tomada desde el frente hasta la parte posterior; de la parte superior a la inferior, o de izquierda a derecha, vista desde el frente del tablero. Ver imagen 11.

Imagen 11. Vista del montaje característico del barraje.

Todas las partes externas del panel deben ser puestas sólidamente a tierra mediante conductores de protección y sus terminales se deben identificar con el símbolo de puesta a tierra.

La norma IEC 60890 nos presenta las tablas de selección de barras desacuerdo sección transversal y capacidad en Amperios. Con las que podemos determinar la cantidad y cuanto es su capacidad de corriente nominal en factor a la temperatura.

Se dividen en dos tablas, una que nos suministra la información para barrajes principales y la segunda para barrajes de conexión.

Table B.2: Operating current and power-losses of bare conductors, in vertical arrangement, without direct connections to apparatus

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Width x Thickness	Cross-section (Cu)	Maximum permissible temperature of the conductor 85 °C															
		Air temperature inside the enclosure around the conductor 35 °C								Air temperature inside the enclosure around the conductor 55 °C							
		50 Hz to 60 Hz AC				DC and AC to 16 2/3 Hz				50 Hz to 60 Hz AC				DC and AC to 16 2/3 Hz			
		operating current	power losses 1)	operating current	power losses 1)	operating current	power losses 1)	operating current	power losses 1)	operating current	power losses 1)	operating current	power losses 1)	operating current	power losses 1)	operating current	power losses 1)
mm x mm	mm²	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m
12 x 2	23,5	144	19,5	242	27,5	144	19,5	242	27,5	105	10,4	177	14,7	105	10,4	177	14,7
15 x 2	29,5	170	21,7	282	29,9	170	21,7	282	29,9	124	11,6	206	16,0	124	11,6	206	16,0
15 x 3	44,5	215	23,1	375	35,2	215	23,1	375	35,2	157	12,3	274	18,8	157	12,3	274	18,8
20 x 2	39,5	215	26,1	351	34,8	215	26,1	354	35,4	157	13,9	256	18,5	157	12,3	258	18,8
20 x 3	59,5	271	27,6	463	40,2	271	27,6	463	40,2	198	14,7	338	21,4	198	14,7	338	21,4
20 x 5	99,1	364	29,9	665	49,8	364	29,9	668	50,3	266	16,0	485	26,5	266	16,0	487	26,7
20 x 10	199	568	36,9	1097	69,2	569	36,7	1107	69,6	414	19,6	800	36,8	415	19,5	807	37,0
25 x 5	124	435	34,1	779	55,4	435	34,1	785	55,6	317	18,1	568	29,5	317	18,1	572	29,5
30 x 5	149	504	38,4	894	60,6	505	38,2	899	60,7	368	20,5	652	32,3	369	20,4	656	32,3
30 x 10	299	762	44,4	1410	77,9	770	44,8	1436	77,8	556	23,7	1028	41,4	562	23,9	1048	41,5
40 x 5	199	641	47,0	1112	72,5	644	47,0	1128	72,3	468	25,0	811	38,5	469	24,9	586	38,5
40 x 10	399	951	52,7	1716	88,9	968	52,6	1796	90,5	694	28,1	1251	47,3	706	28,0	1310	48,1
50 x 5	249	775	55,7	1322	82,9	782	55,4	1357	83,4	566	29,7	964	44,1	570	29,4	989	44,3
50 x 10	499	1133	60,9	2008	102,9	1164	61,4	2141	103,8	826	32,3	1465	54,8	849	32,7	1562	55,3
60 x 5	299	915	64,1	1530	94,2	926	64,7	1583	94,6	667	34,1	1116	50,1	675	34,4	1154	50,3
60 x 10	599	1310	68,5	2288	116,2	1357	69,5	2487	117,8	955	36,4	1668	62,0	989	36,9	1814	62,7
80 x 5	399	1170	80,7	1929	116,4	1200	80,8	2035	116,1	858	42,9	1407	61,9	875	42,9	1484	61,8
80 x 10	799	1649	85,0	2806	138,7	1742	85,1	3165	140,4	1203	45,3	2047	73,8	1271	45,3	1756	74,8
100 x 5	499	1436	100,1	2301	137,0	1476	98,7	2407	121,2	1048	53,3	1678	72,9	1077	52,5	1756	69,8
100 x 10	999	1982	101,7	3298	164,2	2128	102,6	3844	169,9	1445	54,0	2406	84,4	1552	54,6	2803	90,4
120 x 10	1200	2314	115,5	3804	187,3	2514	115,9	4509	189,9	1688	61,5	2774	99,6	1833	61,6	3288	101,0

*) one conductor per phase **) two conductors per phase 1) single length

Table B.3 - Operating current and power-losses of bare conductors used as connections between apparatus and bus bars

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Maximum permissible temperature of the conductor 65 °C							
Width x Thickness	Cross-section (Cu)	Air temperature inside the enclosure around the conductor 35 °C 50 Hz to 60 Hz a.c. and d.c.				Air temperature inside the enclosure around the conductor 55 °C 50 Hz to 60 Hz a.c. and d.c.			
		operating current	power-losses 1)	operating current	power-losses 1)	operating current	power-losses 1)	operating current	power-losses 1)
mm x mm	mm^2	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m
12 x 2	23,5	82	5,9	130	7,4	69	4,2	105	4,9
15 x 2	29,5	96	6,4	150	7,8	88	5,4	124	5,4
15 x 3	44,5	124	7,1	202	9,5	102	4,8	162	6,1
20 x 2	39,5	115	6,9	184	8,9	93	4,5	172	7,7
20 x 3	59,5	152	8,0	249	10,8	125	5,4	198	6,8
20 x 5	99,1	218	9,9	348	12,7	174	6,3	284	8,4
20 x 10	199	348	12,8	648	22,3	284	8,6	532	15,0
25 x 5	124	253	10,7	413	14,2	204	7,0	338	9,5
30 x 5	149	288	11,6	492	16,9	233	7,6	402	11,3
30 x 10	299	482	17,2	960	32,7	402	11,5	780	21,6
40 x 5	199	348	12,8	648	22,3	284	8,6	532	15,0
40 x 10	399	648	22,7	1245	41,9	532	15,3	1032	28,8
50 x 5	249	413	14,7	805	27,9	338	9,8	655	18,5
50 x 10	499	805	28,5	1560	53,5	660	19,2	1280	36,0
60 x 5	299	492	17,2	960	32,7	402	11,5	780	21,6
60 x 10	599	960	34,1	1848	63,2	780	22,5	1524	43,0
80 x 5	399	648	22,7	1256	42,6	532	15,3	1032	28,8
80 x 10	799	1256	45,8	2432	85,8	1032	30,9	1920	53,5
100 x 5	499	805	29,2	1560	54,8	660	19,6	1280	36,9
100 x 10	999	1560	58,4	2680	86,2	1280	39,3	2180	57,0
120 x 10	1200	1848	68,3	2928	85,7	1524	46,5	2400	57,6

*) one conductor per phase
**) two conductors per phase
1) single length

2.2.2 CLASIFICACION DE LOS TABLEROS

En la tabla 1 se describe cada uno de los tableros con su codificación también se muestra las imágenes del correspondiente modelo en software de diseño.

CODIGO	TABLERO	DESCRIPCION	CANTIDAD
OP. 300-16	Tablero De Distribución De Potencia con Transferencia De 3200a. 220v - 65ka.	Tablero Auto Soportado De2000x1630x443 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	1

Imagen 12,13 y 14.Vistas del tablero modelado en el software

OP. 301-16	Tablero Ascensores. 300A /208V	Tablero Auto Soportado De2000x700x400 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	1

Imagen 15,16 Y 17. Vistas del tablero modelado en el software del tablero

OP. 302-16	Tablero de Aires acondicionados. 1000A / 208V	Tablero Auto Soportado De2000x800x600 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	1

Imagen 18,19 Y 20. Vistas del tablero modelado en el software del tablero

OP. 303-16	Transferencia Automática Para Bomba Contra Incendio. 65ka - 208v.	Tablero Auto Soportado De 1500x800x400 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	1

Imagen 21,22 Y 23. Vistas del tablero modelado en el software del tablero

OP. 304-16	Tablero General Baja Tensión (208 VAC)	Tablero Auto Soportado De 2000x1000x800 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	1

Imagen 24,25 Y 26. Vistas del tablero modelado en el software del tablero

OP. 305-16	Banco de Condensadores 160 KVAR. 220V. Totalizador en el TDG.	Tablero Auto Soportado De 1800x1200x600 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	1

Imagen 27,28 Y 29. Vistas del tablero modelado en el software del tablero

OP. 306-16	Tablero General y Transferencia 800A - 480V.	Tablero Auto Soportado De 2000x1300x800 IP42 Fabricado en lámina Acero CR Calibre 14 -16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	1

Imagen 30,31 Y 32. Vistas del tablero modelado en el software del tablero

OP. 307-16	Tablero de Servicios Generales Sótano 160A	Tablero Auto Soportado De 1500x600x400 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	1

Imagen 33,34 Y 35. Vistas del tablero modelado en el software del tablero

OP. 329-16	Tablero de Distribución PISO 13	Tablero Auto Soportado De 1200x1400x400 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	1

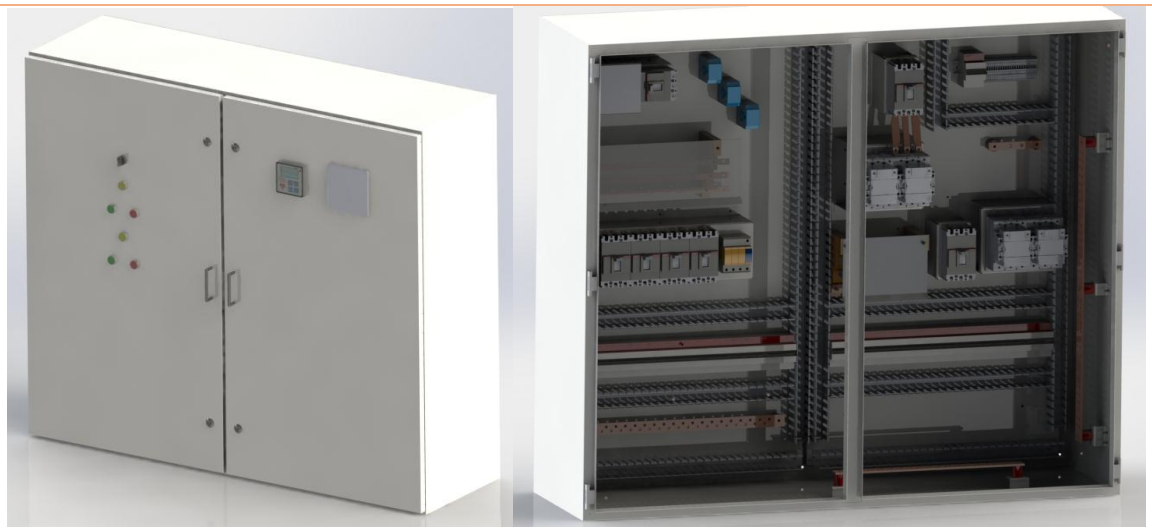


Imagen 36 Y 37. Vistas del tablero modelado en el software del tablero

OP. 330-16	Tablero de Distribución y transferencia manual PISO 9-11-12-5-6-3-4	Tablero Auto Soportado De 1200x1400x400 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	7
OP. 331-16	Tablero de Distribución y transferencia manual PISO 10	Tablero Auto Soportado De 1200x1400x400 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	1
OP. 332-16	Tablero de Distribución y transferencia manual PISO 7-8	Tablero Auto Soportado De 1200x1400x400 IP42 Fabricado en Lámina Acero CR Calibre 14-16 Uso Interior Pintura Electrostática Polyester Gofrada RAL7035	2

Imagen 38 Y 39. Vistas del tablero modelado en el software del tablero

Para hacer la verificación del diseño mecánico PROELECTRICOS posee un checklist que los ingenieros responsables deben llenar para minimizar errores de diseño, en el anexo 4 se visualizan los puntos más importantes que deben cumplir los diseños tanto eléctrico como mecánico.

El último paso del diseño mecánico son los planos de fabricación y de ensamble, estos tableros aproximadamente poseen entre 30 piezas los tipo cofre y 150 piezas los tableros de 2 columnas, teniendo en cuenta todo lo que corresponda a lamina es decir envolventes y soporteria, e incluyendo también las barras de cobre utilizadas para el conexionado interno entre equipos. Se siguen todas las normas técnicas de dibujo y los estándares de la compañía, en consecuencia en el presente informe solo se puede enseñar un breve resumen de los planos realizados para todo el proyecto (ver anexo 5) para no acaparar toda la atención en ellos se selección un tablero como ejemplo, y en la imagen 40 se presenta un plano general de ensamble del tablero OP 306-16.

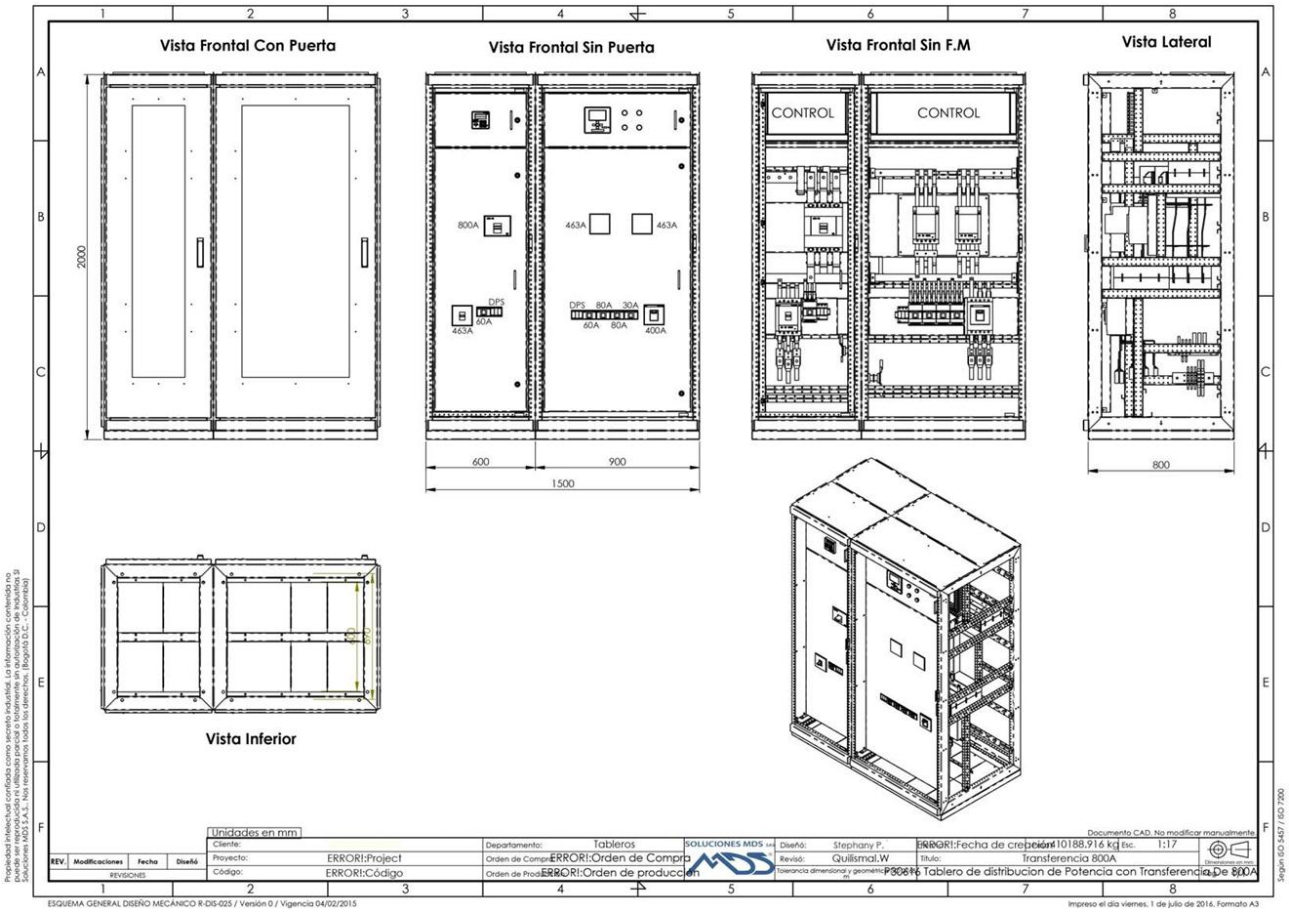


Imagen 40. Plano general del tablero OP.306-16 entregado.

2.3 PRODUCCIÓN

Después de la etapa del diseño de los tableros comienza la producción, aquí entran herramientas como las macros del software de diseño mecánico SOLIDWORS que ayudan en el proceso debido a la gran cantidad de piezas que poseen estos tableros, desplegar todas las piezas es una labor que requiere de mucho tiempo y mucha atención pero es indispensable guardar cada una de ellas en un formato llamado DXF – Drawing Exchange Format – formato de archivo de dibujo, este formato es el lenguaje que reconocen las maquinas como la punzonadora.

Cuando las piezas están en este estado es muy posible no reconocer cual es cada una o que función cumple más que conocer su código y su cantidad, se diseñan macros que favorecen este proceso además sirven para reducir errores, la versatilidad de enlazar el SOLIDWORKS con otro programa como el Excel y conforme se van desplegando las piezas se llena una tabla en este programa con las características físicas necesarias para la fabricación. En la imagen 41 se ilustra una típica anidación que hace el programador con los DXF generados, en el software de la punzonadora llamado trutops. El objetivo es lograr la optimización de consumo de lámina en el mayor porcentaje posible, para evitar el desperdicio u los sobre costos por tiempo de corte o excesos de material utilizado durante los procesos de fabricación. Al momento de trabajar el corte del material (punzonado), es importante tener presente la secuencia de trabajo en la chapa ya que de no hacerse de una manera ordenada, generalmente se produce ondulamientos o rupturas en la chapa y se puede ocasionar perdidas mayores de las contempladas.

Los software pueden variar dependiendo del origen de la máquina y de su antigüedad. También es muy importante este paso ya que aquí se verifica la cantidad de lámina por calibre usada en cada tablero, en este proyecto se usó galvanizada calibre 18 (1.2mm) para paneles y cubiertas, calibre 16 (1.5mm) para soporteria y calibre 14 (1.9mm) para la estructura.

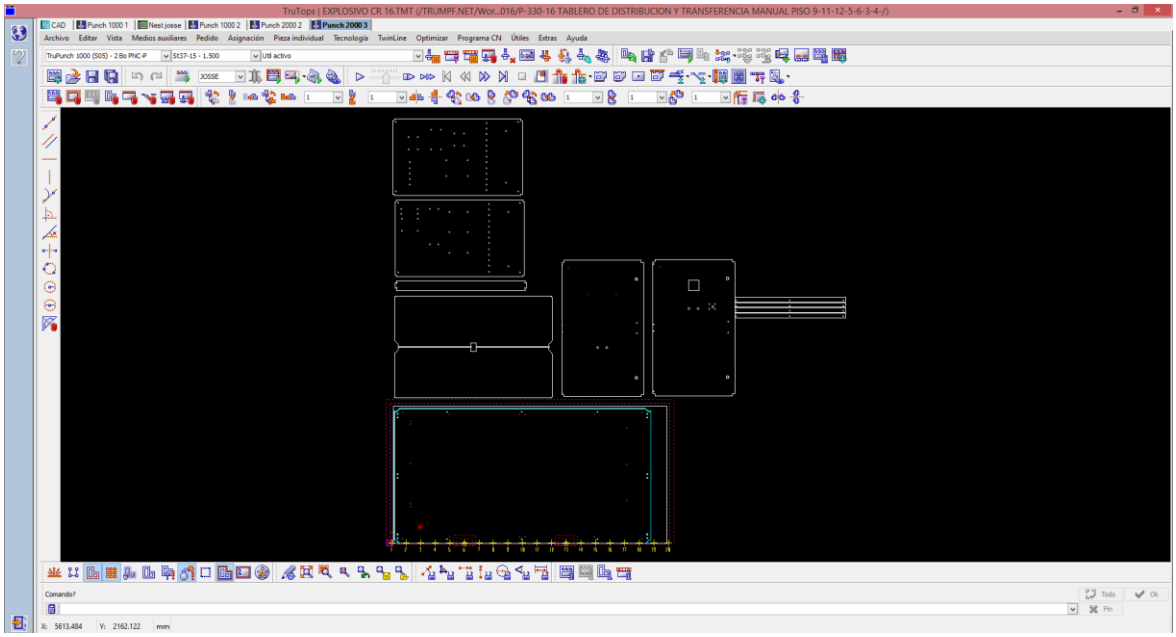


Imagen 41. Anidación del tablero OP.330-16 en trutops software de la punzonadora.

Estas tablas (ver anexo 6) contiene el material, las medidas externas –largo y ancho-, el espesor de la lámina, la cantidad de piezas, el peso y si requieren o no pintura, lo cual genera los pasos que siguen en la fabricación ya que cada una de estas tablas ayudan a contabilizar y a verificar porque son entregadas a los jefes o líderes de cada proceso.

Ahora bien, los siguientes pasos del proceso son dirigidos directamente a la fase de metalmecánica, con el programa específico para cada tablero a partir de las anidaciones o modulación de lámina, se procede al punzonado (ver imagen 42) y con los planos de fabricación se procede al doblez de las piezas (ver imagen 43). Acto seguido la mayoría de sujeciones entre piezas se hacen con tornillo cobrizados soldados a los paneles y/o perfiles o con tornillos pasantes o bisagras fallebas para las puertas, entonces las piezas que requieren soldadura son llevadas al área encargada y realizar un pre-ensamble del conjunto para verificar la concordancia del proceso.

Para culminar se trasladan todas al tren de pintura seccionadas por tamaño y por color. También en este punto se realiza una verificación de calidad de las piezas y las que no cumplan con el diseño previo son reprocesadas o modificadas dependiendo sea el caso.

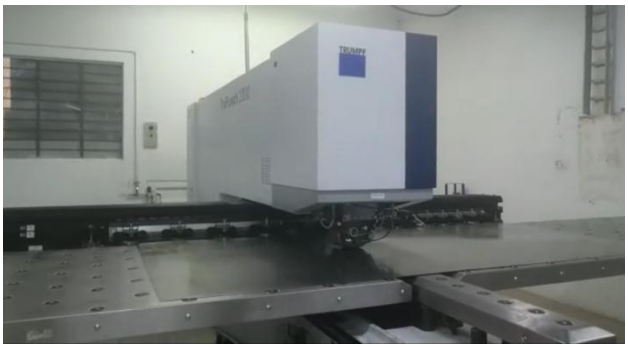


Imagen 42 y 43. Vista del proceso de punzonado y doblez de las piezas.

Por otro lado, el cobre también recibe una parte muy importante en el funcionamiento del sistema ya que él es el medio de comunicación entre los equipos cuando no es posible con cable, es el que recibe al acometida o aterriza el tablero, todos deben tener mínimo la barra de neutro y de tierra debido a esto es parte fundamental del proceso.

El cobre viene en presentación de platina con canto redondo, las más comunes son de 20x5, 30x5, 40x5, 60x5, 80x5 y 100x10 siendo el primera numero el ancho de la platina y el segundo numero el espesor; el largo de la platina se comercializa como los tubos pero en este caso es de 3 metros. El proceso de manufactura de estas, llamadas comúnmente como barras, es manual, se hacen cortes dependiendo del desarrollo colocado en el plano (anexo 5) y se apilan por proyecto como se muestra en la imagen 44, los agujeros y los dobleces se realizan en una troqueladora y dobladora manual (ver imagen 45 y 46).

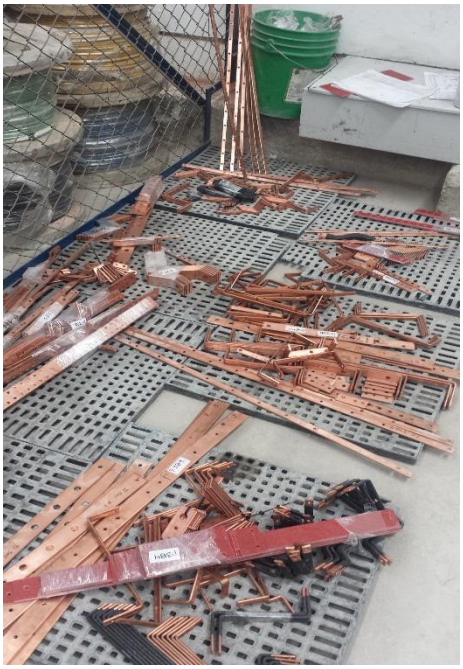


Imagen 44. Separación de barras de cobre por proyecto.

A medida que se avanza en el diseño se debe generar la documentación pertinente como solicitudes de material al almacén de compras o departamento encargado; documentos de liberación del proceso de diseño y controles de calidad de ser necesarios; Revisión de las normas de fabricación y normas eléctricas RETIE.

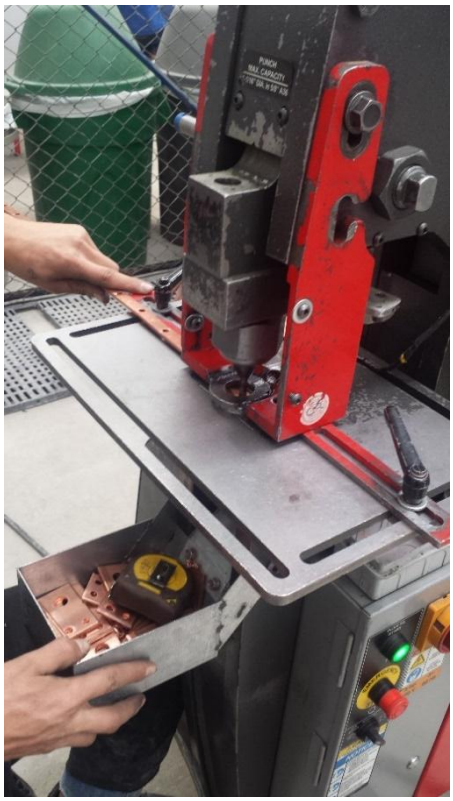


Imagen 45 y 46. Vista del proceso de troquel y doblez de las barras de cobre.

2.4 ENSAMBLE Y PRUEBAS

Esta fase del proyecto es la más compleja porque es la unión de todas las etapas anteriores es decir de DISEÑO y de PRODUCCION. En diseño se debe tener en cuenta que no son robots quienes lo realizan ni está completamente automatizado el proceso, en consecuencia las tolerancias usadas contemplan ese tipo de errores o variaciones en el producto final. Todo el montaje se hace entre 3 o 4 personas dependiendo del tiempo que se tenga para este proceso así como en un área especializada, las imágenes 47, 48 y 49

Imagen 47. Montaje de bandeja de control.

muestran diferentes etapas de montaje de equipos y cableado según sea necesario, ya con anterioridad se han pedido los materiales que se necesitan, dícese de accesorios como partes plásticas, tornillería, aisladores, cable, manijas, chapas, vidrios etc.

Imagen 48 y 49. Montaje y cableado de equipos.

Finalmente, los equipos y todo el sistema conectado pasa por pruebas de funcionamiento llamadas PRUEBAS DE LIBERACION (imagen 50 y 51), el personal adecuado realiza los procedimientos necesarios según RETIE, NTC 2050 y NTC 3475.

Se deben tener en cuenta todos los elementos internos que soportan equipos eléctricos deben estar en condiciones de resistir los esfuerzos electrodinámicos producidos por las corrientes de falla del sistema. Las dimensiones, encerramientos y barreras deben permitir espacio suficiente para alojamiento de los terminales y curvaturas de los cables. Se debe tener en cuenta características importantes de cada tablero como lo son los siguientes ítems:

- Tensión(es) nominal(es) de operación.
- Corriente nominal de operación.
- Número de fases.
- Número de hilos (incluyendo tierras y neutros).
- El símbolo de riesgo eléctrico.
- Cuadro para identificar los circuitos.
- Grado de protección o tipo de encerramiento.
- Diagrama unifilar del tablero.

- El tipo de ambiente para el que fue diseñado en caso de ser especial (corrosivo, intemperie o áreas explosivas).
- Rotulado para la identificación de los circuitos individuales.
- Instrucciones para instalación, operación y mantenimiento.
- Todo tablero debe indicar, de forma visible, la posición que deben tener las palancas de accionamiento de los interruptores, al cerrar o abrir el circuito.

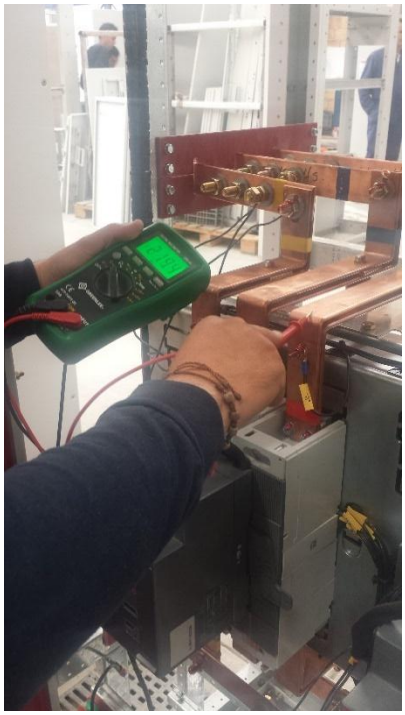


Imagen 50 y 51. Montaje y cableado de equipos.

3 ANALISIS DE RESULTADOS

Todo el proceso aquí descrito tiene como resultado demostrar cómo se diseñan y se fabrican algunos de los diferentes tipos de tableros de baja tensión, que son usados como paso final para llevar el servicio de energía eléctrica a todos los usuarios finales de manera segura y confiable; para este caso el usuario final es EL BANCO AGRARIO, pero en realidad los clientes finales serán los miles de usuarios y trabajadores que harán uso de sus instalaciones remodeladas.

Como trabajo de grado es completamente satisfactorio la labor desempeñada ya que el alcance se puede evidenciar desde el diseño inicial hasta la fabricación final y es de agrado para el ingeniero aplicar todo lo aprendido en sus estudios, además de innovar en diseño y velocidad de entrega ya que se usaron herramientas como las configuraciones, tablas de diseño, macros y elementos de sujeción nuevas para beneficiar al cliente final y a la compañía PROELECTRICOS S.A.S.

Se presentaron diferentes situaciones como

- Reprocesos: Partes de lámina que salieron de punzonado mal o que se plegaron en la dirección contraria o barras de cobre que no alcanzaron a cumplir por tolerancias sumadas en el ensamble.
- Cambio en referencia de equipos por el proveedor: Se presentó que en 2 de los tableros (específicamente en el OP 302-16 Y OP 306-16) la referencia del interruptor principal estaba agotada con el proveedor ABB y hubo que cambiar de referencia del mismo proveedor o de nuevos proveedores como LG o Hyundai, y se retrasó en tiempos porque este tipo de cambios requiere aprobación por parte del cliente.
- Días de retraso por instalación de punzonadora nueva: la compañía PROELECTRICOS S.A.S está en un año de crecimiento comercial, este sector de la industria es en un proceso ascendente por el aumento de construcciones en la ciudad, debido a esto el trabajo ha aumentado y la capacidad que tenía con solo una punzonadora no daba abasto, por consiguiente se realizó la compra de una nueva y la reubicación de los equipos en la planta. Aquí se retrasó una semana de trabajo.
- Se logró la calidad del producto esperada: Después de hacer las pruebas de liberación se hace una revisión general por parte del equipo de calidad tomando en cuenta los tiempos de todas las etapas y resultado esperado por parte del cliente, además de una encuesta de satisfacción que se le hace al cliente una vez entregados los tableros.

- Mejoras en el tiempo esperado: En la tabla 1.2 se muestran los tiempos esperados para las actividades necesarias en el proceso producción de los tableros, sin embargo de estos tiempos solo el que cambió fue el del diseño mecánico (resaltado color verde) que paso a ser de 18 días.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesor	Nombres de los recursos
1	Apertura de Proyecto	1 día	lun 02/05/16	lun 02/05/16		COMERCIAL
2	Listado M. Eléctricos	5 días	mar 03/05/16	lun 09/05/16	1	I. ELECTRICA
3	Diseño Mecánico	21 días	mar 03/05/16	mar 31/05/16	1	I. MECANICA
4	Programación	4 días	mié 01/06/16	lun 06/06/16	3	PROGRAMACION
5	Punzonado	3 días	mar 07/06/16	jue 09/06/16	4	METALMECANICA
6	Compras	4 días	mar 10/05/16	vie 13/05/16	2	COMPRAS
7	Doblado	2 días	vie 10/06/16	lun 13/06/16	5	METALMECANICA
8	Pintura	2 días	mar 14/06/16	mié 15/06/16	7	PINTURA
9	E. Mecánico	9 días	jue 16/06/16	mar 28/06/16	8	E.MECANICO
10	E. Eléctrico	6 días	mié 29/06/16	mié 06/07/16	9	E.ELECTRICO
11	Pruebas y Liberación	3 días	jue 07/07/16	lun 11/07/16	10	PRUEBAS
12	Despacho - Entrega Cl	2 días	mar 12/07/16	mié 13/07/16	11	DESPACHOS

Tabla 1.2 Cronograma del proyecto de acuerdo a su proceso.

4 CONCLUSIONES

- Se cumplió a cabalidad con los requisitos solicitados por el cliente EL BANCO AGRARIO. Y se construyeron todos los tableros en baja tensión de la subestación garantizando su funcionalidad, calidad y la estética de un producto de calidad. Haciendo uso de todos los conocimientos técnicos y de las normas apropiadas para su construcción.

- Se aprendió acerca de los procesos en el área metalmecánica como punzonado, doblez soldadura y pintura, además de trabajar en cooperación con una grupo de trabajo compuesto de ingenieros mecánicos e ingenieros eléctricos que proporcionaron un ambiente laboral agradable y enriquecedor, rico en conocimientos sobre el sector y propiciaron la preparación laboral a la que estará expuesto el nuevo ingeniero preparado en la universidad.

- A pesar de los reprocesos e impases en el transcurso del proyecto en la etapa más importante, se logró reducir el tiempo en diseño a 18 días y el esperado era de 21 días, obteniendo con esto aumentar la eficiencia en un 14% de lo estándar de la compañía. Además estos días suplieron algunos de los perdidos en otras de las etapas.

- Este tipo de proyectos y fabricaciones tienen poca documentación así de completa sobre los tableros en Colombia y esta rama del conocimiento es poco conocido por parte de normatividad, ni conocido en las diferentes universidades.

- Se recomienda a la compañía hacer un plan de mejoramiento con respecto a la seguridad industrial ya que como se ve en varias de la fotografías los operarios están sin guantes ni gafas de protección, elementos de seguridad y en esa etapa del proceso hay riesgos industriales. Adicionalmente faltan tapas de protección para que cuando baje el punzón en el caso de la troqueladora sea solo cuando el operario no pueda meter la mano en el caso de la fabricación del barraje.

4.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO

En esta sección se evidencian los resultados de la fabricación de algunos de los tableros en su fase de entrega al cliente.

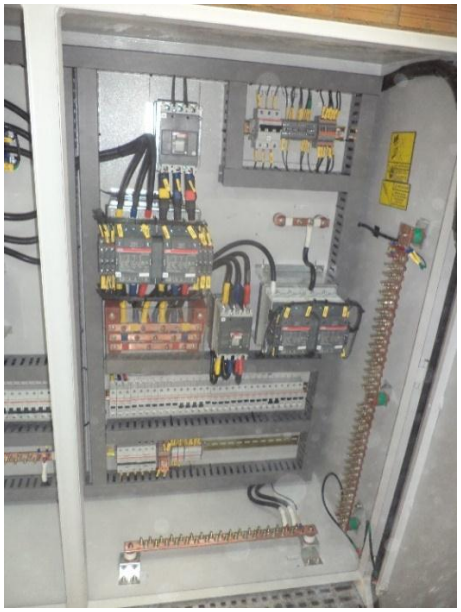
OP 305-16

OP 300-16

OP 303-16

OP 301-16

OP 330-16, OP 331-16 Y OP 332-16



4.2 REFERENCIAS

- NORMAS:

    - RETIE - Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas 2013 - .
    - NTC 3475 – Tableros Eléctricos - .
    - NTC 2050 – Código eléctrico Colombiano - .
    - IEC 60890 – Norma para tableros en baja tensión -.

- SOFTWARE

    - E-DESING – ABB – cálculo de temperatura y ventilación para tableros eléctricos -.
    - SOLIDWORKS 2016 – Diseño Mecánico - .
    - TRUTOPS – Programación y anidación CNC -.