



Ingeniería Eléctrica

Proyecto Final de Carrera

*“Adecuación de Subestación Eléctrica 33/0.4 kV para
Industria Alimenticia”*

Alumno: Garcia Boris Jesús

Director: Ing. Rossi Lautaro

Codirector: Ing. Zottico Andrés

Docente: Ing. Acosta Javier

Fecha de presentación: 21/03/2024

Agradecimientos.

Cuando era un niño no sabía bien qué estudiar, como supongo que le pasa a cualquier ser humano a esa edad. He tenido en mente muchas profesiones, pero cuando entre a la Escuela Industrial me cambió todo, escuela que te enamora desde un principio, y si bien la dificultad era elevada, me mostró el camino a seguir, del cual no me arrepiento.

Todo ese camino transitado no hubiese sido posible sin mis viejos: Cristian y Alejandra, que estuvieron desde el minuto cero apoyándome en todas las decisiones que he tomado. Si a alguien le debo este título de Ingeniero Eléctrico es a ellos, son los mejores. Gracias a mi hermana menor Julia y a mi sobrino Lorenzo por siempre alegrarme la vida. Gracias a mi hermano Lucas por haber sido el mejor hermano que se puede tener. Te siento siempre a mi lado, acompañándome en cada paso que doy, esto está especialmente dedicado a vos, te quiero mucho.

Soy un afortunado en tener de compañera de vida a Sol. Gracias a ella por aguantarme todos estos años, en las malas y en las buenas, apoyándome a seguir con todo lo que me gusta.

Quisiera expresar mi agradecimiento y reconocimiento a todos los maestros y profesores que me formaron como profesional, brindándome las herramientas académicas y morales necesarias. Especialmente quiero agradecer a Lautaro y Andres por ayudarme con las directivas de este proyecto final. Gracias también a Juan porque es un excelente profesor y persona, siempre me ha ayudado desinteresadamente y lo valoro mucho.

Quiero agradecer también a todos mis compañeros de cursado y amigos en la facultad, a todos, pero especialmente a Manu, Pelado, Tomi, Marian y Lautaro (que se lleva doble crédito). De ellos he aprendido mucho, e hicieron que el estudio se haga más llevadero, son parte de esto.

Gracias a mis amigos, que siempre estuvieron cuando los necesité, momentos difíciles y momentos hermosos.

Todas estas personas han sido necesarias para lograr este título de Ingeniero Eléctrico. Muchas gracias.

Declaración de Responsabilidad

El contenido, conceptos desarrollados, análisis, conclusiones y opiniones efectuadas en el Informe escrito del proyecto final de carrera son de exclusiva responsabilidad del autor, eximiendo a la Universidad Tecnológica Nacional y los directores de responsabilidad alguna con relación a la obra.

La obra es un proyecto académico formulado a título de propuesta, es una instancia formativa del Estudiante desarrollada en el marco de las carreras de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, por tal motivo la utilización que se realice sobre el contenido de este exime de responsabilidad tanto al autor, como los directores y la propia Universidad.

Prologo

El presente proyecto surge dentro de la empresa, donde me desarrolle una de mis primeras experiencias laborales como técnico. Particularmente nace, de la necesidad de incrementar la producción. Este desafío ha provocado una cantidad innumerable de problemas que dilucidar, y entre tantos, uno es sin duda la capacidad eléctrica. En este caso, paralelamente a la necesidad de expansión, existía el fenómeno de obsolescencia en los componentes eléctricos que formaban parte de la estación de rebaje que alimenta la totalidad de la industria.

Por este motivo, el presente trabajo se articula en 13 capítulos. El primero de ellos consiste en una introducción al proyecto y una explicación general de cuáles son los criterios a tener en cuenta. En el segundo capítulo se plantea el alcance y los objetivos generales y específicos. El tercer capítulo está destinado a definir el procedimiento que se empleó para realizar el trabajo. Como cuarto capítulo, y ya adentrándonos en el desarrollo particular del proyecto, se encuentra un relevamiento de la instalación eléctrica antes de comenzar el proyecto. En quinto lugar, se encuentra un capítulo para estimar la demanda máxima, la cual será la base para todo lo que resta del proyecto. El capítulo seis contiene una metodología práctica para mantener la continuidad del servicio, evitando hacer paradas de planta excesivas o con tiempo inadmisibles. Dentro del capítulo siete se desarrollan los cálculos e investigaciones necesarias para seleccionar el transformador que abastecerá a toda la industria. En el capítulo ocho se calcula la corriente de cortocircuito en acometida de la estación de rebaje. Dentro del capítulo nueve se seleccionan las celdas de media tensión para protección y medición y los cables correspondientes. En el capítulo diez se hace un detalle de todos los cables seccionales que se distribuyen en planta, y se realiza lo mismo para las bandejas portacables. En el capítulo once se diseña el tablero general de baja tensión y en el capítulo doce se diseña el sistema de puesta a tierra de la estación de rebaje. En el capítulo trece se muestra un presupuesto estimado de los materiales y mano de obra para la ejecución de los trabajos correspondientes, y finalmente, en el capítulo catorce se llega a una conclusión del proyecto.

Resumen

El presente trabajo, consiste en la remodelación de la Estación de Rebaje de una planta perteneciente a una empresa multinacional que fabrica productos alimenticios. La misma posee

proyectos de expansión, acompañados de una obsolescencia en su equipamiento eléctrico, lo cual resulta inadmisibles dada las exigencias de Higiene y Seguridad que requiere la Gerencia, dicha planta se ubica en Magdalena (provincia de Buenos Aires, Argentina).

Para ello, se realizó el estudio y proyección de las nuevas demandas, determinando la necesidad de remodelar la Estación de Rebaje 33/0,4 kV, seleccionando nuevos transformadores de aislación seca de 1000 kVA, nuevas celdas modulares con protección por interruptor y medición, y un nuevo tablero de baja tensión con interruptores automáticos.

Esta remodelación conlleva un reemplazo de cables seccionales, cables alimentadores, bandejas portacables y cambios en el sistema de puesta a tierra. Todo esto se determina en este proyecto mediante cálculos y sustentos técnico - económicos.

Finalmente se realiza un presupuesto estimado en dólares, de los materiales y mano de obra necesaria para ejecutar el proyecto.

Tabla de contenido

Agradecimientos.....	1
Declaración de Responsabilidad	2
Prologo	2
Resumen	3
1. Introducción.....	7
2. Alcance y Objetivos	9
2.1. Alcance	9
2.2. Objetivo General.....	10

2.3.	Objetivos específicos	10
3.	Metodología.....	11
4.	Relevamiento de la Situación Actual de Planta.....	12
4.1.	Layout existente	12
4.2.	Esquema unifilar propuesto.	14
4.3.	Layout propuesto	15
4.3.1.	Baricentro de carga	16
4.3.2.	Criterios de la Gerencia y normativa interna de planta.....	20
4.4.	Relevamiento de cargas y tableros secundarios.....	21
5.	Estimación de la demanda máxima	26
5.1.	Demanda actual.....	26
5.2.	Demanda futura.....	27
6.	Logística para continuidad del servicio.....	28
7.	Selección de transformador.....	32
7.1.	Criterios generales	32
7.2.	Elección del transformador.	33
7.3.	Ubicación del transformador.....	35
8.	Cálculo de corriente de cortocircuito	36
8.1.	Datos para el cálculo	37
8.2.	Corrientes nominales	37

8.3.	Cortocircuito trifásico.	37
9.	Selección de celdas y cables de media tensión.....	46
9.1.	Celdas de Media Tensión.....	46
9.2.	Celdas Seleccionadas.	49
9.3.	Selección de Interruptor de Celdas.	51
9.4.	Selección de Cable de Media Tensión.	54
10.	Cálculo de cables de baja tensión y bandejas portacables.	61
10.1.	Cálculo Cable Seccional: “Tablero General Iluminación TS1-1”	65
10.2.	Cálculo Cable Principal: “Alimentación tablero TGBT”	68
10.3.	Sección de cable seccionales.	70
10.4.	Selección de bandejas portacables.	71
11.	Selección y diseño del TGBT	76
11.1.	Selección de interruptores secundarios.	78
12.	Calculo y diseño del sistema de Puesta a Tierra.....	86
12.1.	Área de emplazamiento de la malla de P.A.T.....	86
12.2.	Sección del conductor de P.A.T.....	86
12.3.	Tensiones máximas admisibles de contacto y de paso.	88
12.4.	Diseño de la malla de Puesta a Tierra.	89
12.5.	Cálculo de la resistencia de puesta a tierra.	90
12.6.	Cálculo de la máxima corriente de falla a tierra.	92

12.7.	Máxima tensión de contacto.	92
12.8.	Máxima tensión de paso.....	94
13.	Presupuesto	95
13.1.	Presupuesto de materiales.	95
13.2.	Presupuesto de mano de obra.....	100
14.	Conclusiones.	102
15.	Bibliografía.	103
Anexo. A	Cálculo Cables Seccionales.....	105
Anexo. B	Vista en planta general de la planta.....	110

1. Introducción

En este proyecto se realizará la adecuación del suministro eléctrico de una de las fábricas de una empresa multinacional que tiene 418 plantas instaladas en 85 países. En Argentina existen 7 de ellas en funcionamiento ubicadas en Mendoza, Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires.

Particularmente este proyecto se realizó en una de las fábricas ubicada en Magdalena, Provincia de Buenos Aires. La misma cuenta con una superficie de 2500 m² aproximadamente y con los siguientes sectores de elaboración: fabricación de cacao en polvo, fabricación de cereales y envasado de café. A su vez, asociado a estos, se encuentran los sectores que permiten el funcionamiento de la planta en conjunto, tales como: tratamiento de azúcar, planta de tratamiento de efluentes, laboratorio, sala de compresores, sala de chiller amoníaco, osmosis, depósito intermedio, administración, entre otros.

Dado que el volumen de producción es muy elevado, en la Ciudad de Tortuguitas, Provincia de Buenos Aires se encuentra el Centro de distribución (CD) que funciona como depósito de los productos fabricados en Magdalena.

Las empresas encargadas de elaboración de productos alimenticios tienen exigencias extremas en cuanto a la Higiene y Seguridad (HyS) y se deben respetar rigurosas normativas internas de cumplimiento obligatorio en todo momento. Mediante capacitaciones y reuniones periódicas entre la Gerencia y el personal de seguridad y medio ambiente se fueron pactando metodologías de trabajo y criterios a utilizar en el proyecto.

Respecto a las directivas que enmarcan este proyecto, a continuación, se describen algunas de las más representativas a cumplimentar:

- Todas las bandejas portacables serán utilizadas en posición vertical con el objetivo de evitar la acumulación de polvo o suciedad en las mismas. Utilización de bandejas de acero inoxidable del tipo alambre en los sectores que la Gerencia denomina como “sanitarios”.
- Utilización de cables eléctricos del tipo Low Smoke Zero Halogen (LSOH), comúnmente denominados libre de halógenos, para garantizar la seguridad del personal en caso de un incendio.
- Remoción de trincheras para el transporte de cables eléctricos. Por cuestiones de seguridad y para evitar que los cables se deterioren con mayor rapidez, dado que la humedad en la zona geográfica es elevada, la Gerencia propone solo transportar cables mediante bandejas portacables.
- La instalación eléctrica deberá estar prevista para la colocación de 2 transformadores de potencia para aumentar la confiabilidad y potencia disponible de la instalación.

Motiva la adecuación del suministro eléctrico, un desperfecto eléctrico ocurrido en la sala de celdas, donde se quiso consignar una parte de la instalación con la celda de protección fusible sin tener éxito, ocasionando seguidamente un incendio en el recinto. Si bien el mismo pudo ser controlado rápidamente, las celdas perdieron confiabilidad y se restringió el acceso del personal a dicho sector. La Gerencia rápidamente decidió actuar mediante la realización de un pliego destinado a la adecuación del suministro eléctrico, dado que era intolerable la situación acontecida.

En esta adecuación no solamente se pensó en regularizar la sala de celdas, sino que también la instalación eléctrica por completo, dado que algunos elementos y conexiones eran obsoletos. Además, se previó un aumento de la demanda dada la existencia de proyectos a ejecutar a largo plazo como el montaje de un laboratorio para ensayos que actualmente están tercerizados, la instalación de nuevas maquinarias y ampliación de la industria que logrará aumentar la producción.

2. Alcance y Objetivos

2.1. Alcance

El alcance de este proyecto engloba la adecuación de la Estación de Rebaje (ER) 33/0.4 kV, partiendo desde el cálculo y selección de los elementos intervinientes de la instalación eléctrica en media tensión hasta la distribución de cargas en baja tensión. Incorpora complementariamente un estudio económico de los costos de mano de obra y materiales. Queda fuera del alcance el análisis de amortización de la obra y el diseño de la ingeniería de detalle.

2.2. Objetivo General

Adecuar y ampliar E.R. de 33 / 0.4 kV para industria alimenticia ubicada en Buenos Aires, manteniendo la premisa de disminuir lo mayor posible la energía no suministrada respetando la normativa interna de planta, con el fin de mejorar la calidad y confiabilidad de la instalación eléctrica.

2.3. Objetivos específicos

- Conocer el estado de la actual instalación eléctrica.
- Determinar los requerimientos de la industria en lo que respecta a continuidad de servicio, demanda, reserva y ampliaciones.
- Seleccionar los elementos eléctricos intervinientes en el sistema de acometida y transformación de la energía.
- Definir la ingeniería de montaje de la instalación eléctrica. Esto consiste en la ubicación de los equipos, cálculo de cables, cálculo de bandeja portacables y ubicación de las mismas, planos unifilares y planos vista en planta.
- Establecer el sistema de puesta a tierra del recinto donde se encuentra la Estación de Rebaje.
- Componer el Tablero General de Baja Tensión (TGBT).
- Detallar un presupuesto de materiales y mano de obra para la realización de la instalación proyectada.

3. Metodología.

El proyecto comienza con el relevamiento de la situación de planta actual, analizando cada uno de los cables seccionales, interruptores principales y consumo. Para esto último fue necesario realizar una serie de mediciones de corriente con el objetivo de estimar la demanda que requerían al momento del relevamiento. Sumado a esa demanda, era un requerimiento conocer la potencia de los sectores que el Directorio de la empresa había diagramado para ampliar su producción, información proporcionada por la Gerencia. Con estos datos se consiguió estimar la potencia total necesaria, para el correcto funcionamiento de la industria.

Teniendo en claro los criterios de la Gerencia para que se respeten las normativas internas, se determinó el lugar mas adecuado para establecer la estación de rebaje de 33/0.4 kV y se seleccionó el transformador a utilizar, lo que resultó también en la selección de las celdas de media tensión con protección y medición. Uno de los criterios más importantes en este caso fue la adecuación de la instalación eléctrica para que exista la posibilidad de que funcionen en un futuro dos transformadores en paralelo de idénticas características, a pesar de que para esta instancia, solo sea necesario uno solo. Considerando lo descripto hasta aquí, se ha realizado un Layout con las posiciones de los elementos eléctricos y el diagrama de bandejas portacables para transportar los cables de media y baja tensión.

Respecto a la distribución en baja tensión, se han dimensionado los cables seccionales que alimentan cada uno de los tableros secundarios, las bandejas en donde son alojados y sus respectivos interruptores automáticos alojados en el TGBT.

Acto seguido, se desarrolló un cálculo para determinar la malla de puesta a tierra del recinto de la estación de rebaje, siguiendo los lineamientos de la IEEE. De aquí han surgido las

dimensiones necesarias de la malla y la cantidad de jabalinas a utilizar, como así también los materiales necesarios para llevarla a cabo.

Finalmente se realizó un presupuesto de materiales y mano de obra, llegando a una conclusión final del proyecto.

4. Relevamiento de la Situación Actual de Planta

4.1. Layout existente

La industria está situada en Buenos Aires sobre la ruta RP11 donde actualmente existe una línea de media tensión (33 kV) que depende de la Empresa Distribuidora La Plata (EDELAP) desde la cual se abastece la subestación a modificar en este proyecto.

El cliente compra energía en media tensión y posee una ER propia ubicada dentro de la edificación de planta. En la Fig. 1 se muestra un extracto del plano civil que representa esquemáticamente la posición de cada uno de los elementos más importantes que intervienen en la instalación eléctrica al momento del relevamiento.

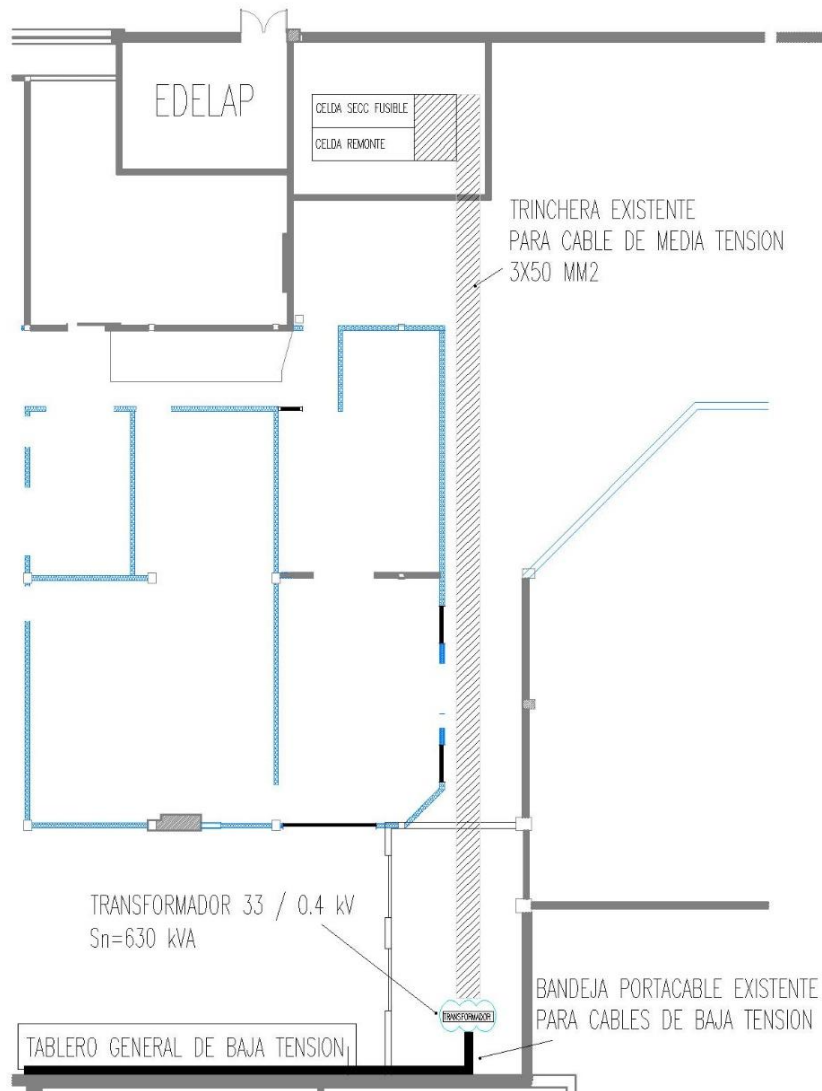


Fig. 1: Plano civil de la industria en donde se encuentra la E.R al momento del relevamiento

En la parte superior del plano se pueden ver las celdas primarias pertenecientes a la empresa de distribución de energía ubicadas dentro de una caseta con acceso desde el exterior de planta y unas celdas secundarias pertenecientes al cliente, compuesta por dos cubicles: celda de acometida y celda de protección con seccionador fusible.

El transformador está emplazado en un recinto ubicado a aproximadamente 30 metros de las celdas secundarias, el mismo es alimentado con un cable tripolar aislado en XLPE de 33 kV

sección 3x50 mm² tendido en trinchera. Esta máquina que posee refrigeración mediante aceite y tanque de expansión alimenta al Tablero General de Baja Tensión (TGBT) ubicado a pocos metros, el cual se encarga de distribuir cargas hacia cada uno de los tableros secundarios y máquinas de planta. Al igual que la conexión entre estos últimos, la conexión entre el transformador y el TGBT se realiza con cables según norma IRAM 2178 tendidos en bandeja portacables.

4.2. Esquema unifilar propuesto.

Para tener un panorama inicial de este proyecto, se propone representar eléctricamente la instalación eléctrica con el diagrama unifilar de la Fig. 2, el cual posee los elementos de potencia más representativos, que luego se analizarán en detalle en este proyecto.

En principio, la ER se compone de 3 recintos nucleados en el mismo sector, los cuales alojan a las celdas de media tensión, transformador y TGBT. Eléctricamente, la instalación se abastece de la red de media tensión en 33 kV de EDELAP y luego, la protección en MT está dada por celdas que tienen la capacidad de interrumpir el circuito mediante un interruptor aislado en SF₆ y con otro cubicle se hará la medición de los parámetros eléctricos más importantes.

Por otra parte, el transformador asociado tiene una configuración en estrella-triángulo y alimenta al interruptor automático principal del TGBT. La distribución de cargas a planta posteriormente estará dada mediante barras colectoras e interruptores secundarios para cada sector o tablero secundario en particular.

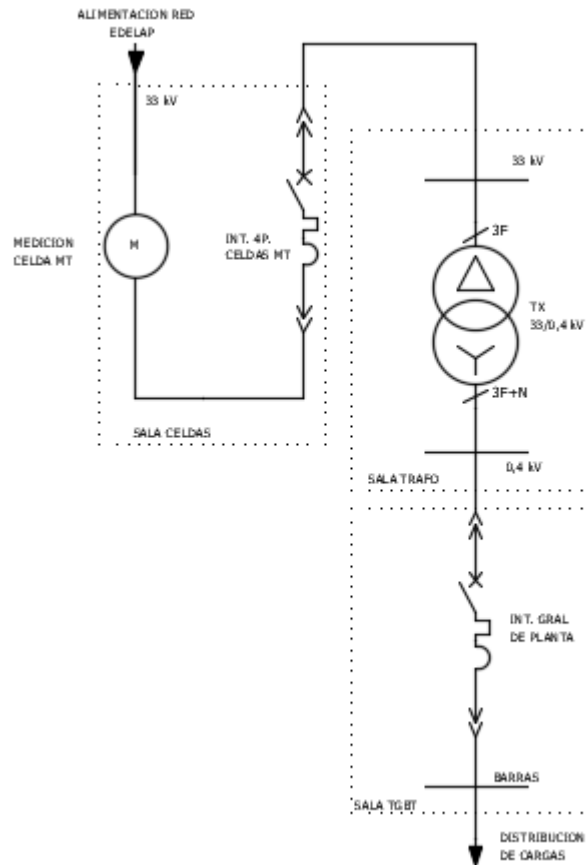


Fig. 2: diagrama unifilar general de la instalación.

4.3. Layout propuesto

Dado que es necesario diagramar la construcción edilicia que tendrá la E.R, para luego poder analizarla eléctricamente, en conjunto con las exigencias de la Gerencia y el sector técnico de planta, citadas más adelante, se propuso un diagrama Layout que represente la misma.

En base a esto, surgió la decisión de colocar todos los componentes en un mismo sector, es decir, colocar el nuevo transformador y el nuevo TGBT contiguo a las celdas y de esta manera se evitaría el tendido del cable de media tensión y se lograría una distribución de cargas en planta con cables de baja tensión solamente.

Nuclear la E.R en un mismo sector tiene como objetivo:

- Mantener la continuidad del servicio eléctrico: no es factible superponer los elementos eléctricos que se van a colocar a futuro en el lugar de los actuales TGBT y TX dado que es indispensable que estos últimos estén en funcionamiento mientras se hacen los montajes de las nuevas partes que conforman la E.R. De esta manera se haría la transferencia de carga de forma gradual.
- Facilitar el mantenimiento y evitar uso de materiales excesivos.

4.3.1. Baricentro de carga

Para determinar el correcto posicionamiento de la ER respecto a las cargas que alimentará a continuación se desarrolla el cálculo del baricentro de carga. El mismo indica las coordenadas X e Y en las que se ubicaría geográficamente la estación, reduciendo al máximo la distancia de los alimentadores y la sección de los mismos.

Para ello en la Fig. 3 se representan las coordenadas de cada uno de los tableros de planta, a modo esquemático, y en la Tabla 1 se hace un resumen de las potencias y longitudes en X e Y.

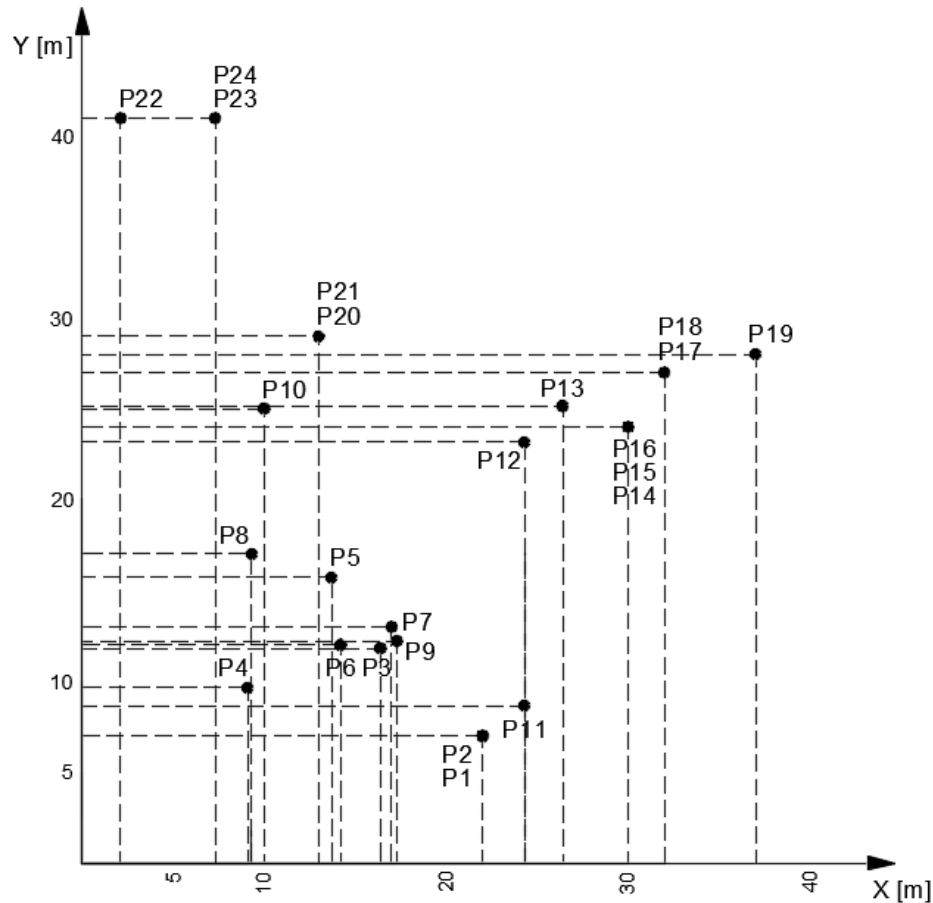


Fig. 3: coordenadas geométricas de las cargas individuales

Ref.	Denominación	Potencia	X	Y	Pn.Xn	Pn.Yn
P1	SSAA (tensión Segura)	73 kW	22,0 m	7 m	1607	511
P2	Banco de capacitores	20 kW	22,0 m	7 m	450	143
P3	Tablero General Culinarios	9 kW	16,4 m	12 m	144	103
P4	Tablero Chiller	190 kW	9,1 m	10 m	1728	1833
P5	Tablero Agua Potable	33 kW	13,7 m	16 m	450	516
P6	Administración	13 kW	14,2 m	12 m	187	158
P7	Vuelco de Azúcar	93 kW	17,0 m	13 m	1589	1215
P8	Bombas de Incendio	11 kW	9,3 m	17 m	102	186
P9	Tablero Caldera	22 kW	17,3 m	12 m	379	267
P10	Tablero Gral. Laboratorio	16 kW	10,0 m	25 m	161	402
P11	Tablero Compresor 2	77 kW	24,3 m	9 m	1864	663
P12	Tablero Compresor 1	77 kW	24,3 m	23 m	1864	1776
P13	Paletizador	19 kW	26,4 m	25 m	501	478
P14	Envase Mespac	13 kW	30,0 m	24 m	394	316

P15	Fabricación Mixes Café	45 kW	30,0 m	24 m	1337	1069
P16	Envase Mixes Café	102 kW	30,0 m	24 m	3068	2454
P17	Fabricación	124 kW	32,0 m	27 m	3974	3353
P18	Envase	29 kW	32,0 m	27 m	935	789
P19	Tab Envase Cereales Infantiles	47 kW	37,0 m	28 m	1730	1309
P20	Tablero iluminación	33 kW	13,0 m	29 m	427	953
P21	Fab Harina Pasteurizador	30 kW	13,0 m	29 m	389	868
P22	Tablero FCI Torre Seca	14 kW	2,1 m	41 m	29	569
P23	Secador CI	45 kW	7,5 m	41 m	334	1827
P24	Tablero FCI Torre húmeda	17 kW	7,5 m	41 m	126	689
TOTALES		1151 kW			23769 kW.m	22448 kW.m

Tabla 1: Baricentro de cargas. Resumen de cargas y coordenadas.

$$X = \frac{P1 \cdot X1 + P2 \cdot X2 + P3 \cdot X3 \dots + Pn \cdot Xn}{P1 + P2 + P3 + \dots + Pn} = \frac{23.769}{1151} = 20,65 [m] \quad \text{ec. (4-1)}$$

$$Y = \frac{P1 \cdot Y1 + P2 \cdot Y2 + P3 \cdot Y3 \dots + Pn \cdot Yn}{P1 + P2 + P3 + \dots + Pn} = \frac{22.448}{1151} = 19,5 [m] \quad \text{ec. (4-2)}$$

En conclusión, las ecuaciones ec. (4-1) y ec. (4-2) muestran que la posición ideal para la ER es de 20,65 metros en X y 19,5 metros en Y.

En el caso del diseño de una ER nueva para una industria nueva estos valores del baricentro serían los más adecuados para evitar largas distancias hasta la alimentación de cada una de las cargas, pero para este caso en particular solo se pueden respetar las coordenadas en X, las coordenadas en Y posicionan a la estación de rebaje aproximadamente en el centro de la planta, lo cual resulta poco conveniente debido a que en ese lugar hay sectores productivos existentes. Teniendo en cuenta esta limitación civil y lo consultado con la Gerencia del cliente, la alternativa que mejor se ajusta a la situación es fijar las coordenadas en Y a 0 metros y utilizar las coordenadas en X

obtenidas del cálculo del baricentro. En conclusión, el posicionamiento de la ER se hará respetando las coordenadas: (X=19,5[m]; Y= 0[m]).

Finalmente, la ER estará compuesta de tres recintos o habitáculos para alojar por un lado a los transformadores, por otro a las celdas de media tensión (lado cliente) y por último al Tablero General de Baja Tensión según como indica la Fig. 4.

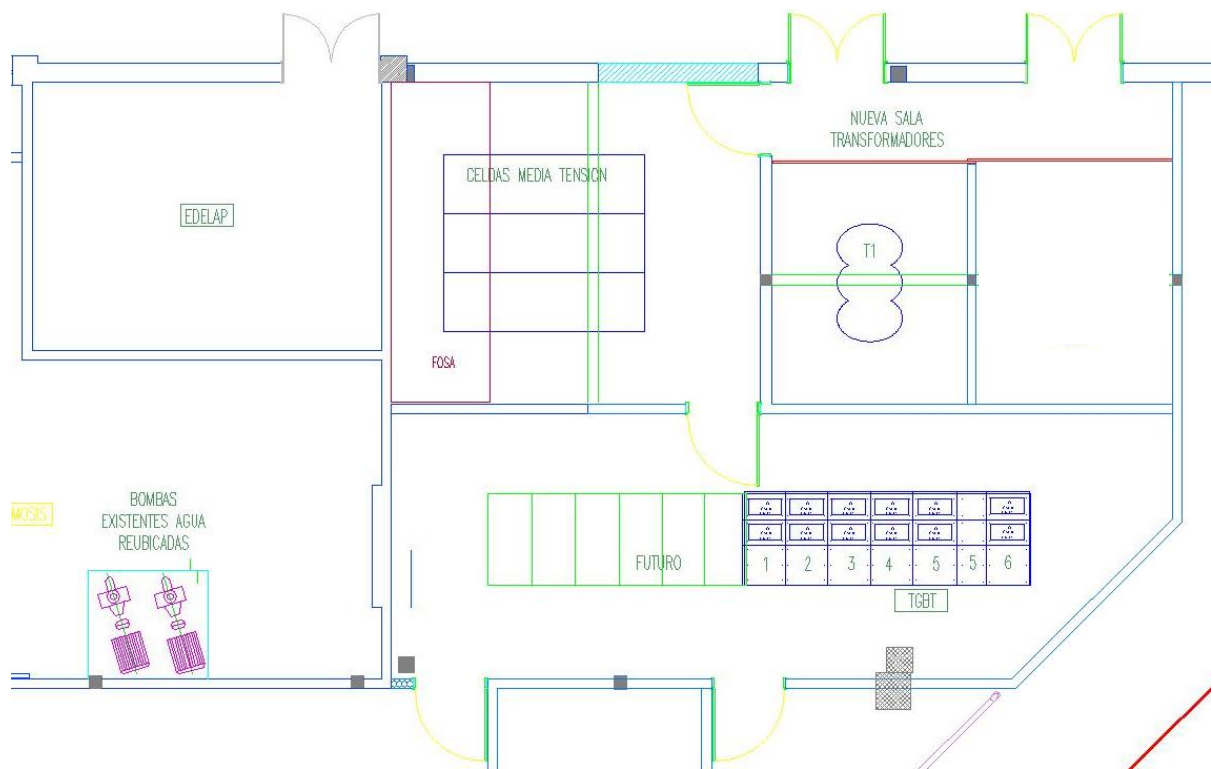


Fig. 4: Nuevo Layout de la E.R.

En el recinto de transformadores, el T1 permanece en servicio continuo y se dejará previsto un espacio para alojar otro transformador T2 que, a futuro, en caso de ser necesario, podrá funcionar en paralelo con el T1.

En el recinto del TGBT se tuvo el mismo criterio pensando en una ampliación a futuro, es por ello que se consideró un espacio que permita la fácil circulación de personas, y que, además,

permita expandir el tablero de baja tensión con el agregado de cubicles normalizados como se observa en la Fig. 4.

4.3.2. Criterios de la Gerencia y normativa interna de planta.

En esta empresa multinacional hay que respetar normativas internas que son primordiales para la ingeniería del proyecto. A continuación, se detallan algunos criterios tomados en conjunto con el sector técnico de planta:

- Previsión de dos (2) transformadores en paralelo: esto permite aumentar la confiabilidad del sistema y la potencia total de planta a futuro. En el alcance de este proyecto solo está considerado el cableado de media y baja tensión con las puntas de los cables desconectadas, sin tener en cuenta la selección de un transformador T2.
- Supresión de trincheras: debido a la elevada cantidad de agua que habitualmente se acumula en las trincheras, las condiciones son propicias para el envejeciendo de cables y el mantenimiento se vuelve complejo. En lugar de estas, se utilizarán bandejas portacables tipo escalera para el transporte de cables con la condición de que su posición de montaje sea vertical. Esto último es por una cuestión de higiene, logrando una menor acumulación de polvo, tierra o partículas indeseadas sobre la superficie de los cables y de las bandejas.
- Las celdas de media tensión para cada transformador estarán compuestas por los cubicles necesarios para lograr las siguientes funciones: acometida, medición y protección.

Nota: los criterios nombrados anteriormente no serán los únicos en este proyecto, a medida que las actividades transcurran se dará lugar a nuevas decisiones que irán surgiendo.

4.4. Relevamiento de cargas y tableros secundarios.

Durante una semana especifica de producción se procedió a realizar un relevamiento de la corriente total consumida por cada interruptor automático del TGBT, relevando además el calibre de protección que poseen para tener a priori una referencia de la carga que alimenta cada uno.

En general, los interruptores alimentadores de planta son automáticos compactos con posibilidad de regular hasta un 70% el calibre en Amperes de la unidad de control, la cual es magnetotérmica, y no posee visualización o registro alguno de la corriente/energía demandada. Estas protecciones alimentan diversas cargas distribuidas en planta, y en la mayoría de los casos, se trata de tableros secundarios que a su vez pueden derivar en otros tableros.

Con el objetivo de llevar un registro completo de la instalación existente, se confecciona una descripción como la de la Tabla 2, que especifica las características eléctricas generales de cada uno de los interruptores, como así también cualquier otro dato que pueda ser útil para un posterior análisis.

INSPECCIÓN DE EQUIPOS DE ENERGÍA TABLERO DE CORRIENTE ALTERNA

ANEXO N°

PAG. _____ DE _____

FECHA: 6/11/2018

AREA / PISO / UBICACIÓN: VUELCO DE AZUCAR

PLANTA: MAGDALENA

TABLERO: COMPRESOR DE AZUCAR			ALIMENTADOR			Aislante		Color		Levantado por:		Planos:				
Ubicación: VUELCO DE AZUCAR			Fases: 3 1XF 185mm2					R,M,N		TENSION (V)		CORRIENTE (A)				
Marca: N/I			Tipo: Superficial <input checked="" type="checkbox"/>			Neutro: 125 mm2		Celeste		RS: 370		R: 92				
Modelo: N/I			Embutido <input type="checkbox"/>			Tierra:				ST: 367		S: 95				
Canalización de entrada (ø):			INTERRUPTOR PRINCIPAL													
DIMENSIONES DEL TABLERO (m)			Marca:			Tipo: (A levas)			RT: 365		T: 128					
Alto:			Profundidad:			Capacidad (Amp): 400			Volts: 500		RN: 213		N: 2			
Ancho:			Altura desde el suelo:			Polos: 3			KAcc:		SN: 214					
									TN: 210		T:					
AMP. MEDIDO	DESCRIPCION	CONDUCTOR		CANALIZ.	PROT.			N°	TIPO	AMP.	CANALIZ. CONDUCTOR			DESCRIPCION	AMP. MEDIDO	
		AISLANTE	CALIBRE		DIMENSIONES	AMP.	TIPO				N°	DIMENSIONES	CALIBRE			AISLANTE
18	AZUCAR Y OSMOSIS		85mm2		160	R S T	1	NH 3NA	160		BARRA		AZUCAR	*		
18.5			85mm2							3	NH 3NA	160	BARRA		AZUCAR	*
16.5			85mm2							5	NH 3NA	160	BARRA		AZUCAR	*

Tabla 2: Inspección de tableros secundarios de planta

A los fines de visualizar la información de una manera clara, se confecciono la

Tabla 3 en la que se observa un resumen con los datos más importantes relevados en planta de los interruptores automáticos actuales.

Protec. Existente	Nombre	Long. Alim (m)	Sección (mm2)	In' (A)	In'' (A)	In''' (A)	I Max (A)
4x100 A	Tablero Gral. Iluminación	50	3x50+1x25	25	45	35	45
4x200 A	Fabricación	43	3x1x70+1x35	130	-	170	170
4x100 A	Envase	45	3x50+1x25	-	40	40	40
4x100 A	Paletizador	55	3x25+1x16	-	26	-	26
4x100 A	Fabricación de Harina Pasteurizador	60	3x25+1x16	-	-	41	41
4x160 A	Fabricación cereales infantiles torre húmeda	70	3x50+1x25	23	-	-	23
4x100 A	Fabricación cereales infantiles torre seca	60	3x25+1x16	19	-	-	19
4x200 A	Secador cereales infantiles	70	3x1x70+1x35	61	-	-	61
4x100 A	Tablero Envase Cereales Infantiles	55	3x25+1x16	64	-	-	64
4x250 A	Envase Café	35	3x50+1x25	140	132	-	140
4x100 A	Fabricación Mixes Café	35	S/D	-	61	-	61
4x100 A	Envase Mespac	30	3x50+1x25	-	-	18	18
4x250 A	Vuelco de azúcar	35	3x1x70+1x35	128	-	68	128
4x160 A	Tablero Gral. Culinarios	65	3x1x70+1x35	12	-	-	12
4x100 A	Tablero Gral. - Planta de tratamiento de efluentes	65	3x50+1x25	45	-	-	45
4X400A	Tablero Chiller Amoniaco	45	3x1x150+1x70	210	120	260	260
4x250 A	Planta Osmosis	30	S/D	-	90	-	90
4x160 A	Compresor Aire Comprimido 1	45	S/D	-	105	-	105
4x160 A	Compresor Aire Comprimido 2	40	S/D	-	-	105	105
4x160 A	Tablero de Caldera	45	3x50+1x25	14	-	30	30
4x100 A	Tablero Agua Potable	30	3x50+1x25	15	-	45	45
4x100 A	Deposito Refrigerado	75	3x25+1x16	-	37	-	37
4x100 A	Tablero Gral. Laboratorio	55	3x50+1x25	-	22	22	22
4x40 A	Banco de Capacitores	15	3x25+1x16	-	28	-	28

4x40 A	Obradores (Exteriores)	80	3x50+1x25	8	-	12	12
4x40 A	Bombas de Incendio	55	3x25+1x16	-	-	15	15
4x40 A	Administración	40	3x25+1x16	18	-	-	18
Totales (A)				912	706	861	1660

Tabla 3: Relevamiento de instalación eléctrica existente.

En cada caso se detalla:

- **Protección existente:** protección termomagnética (TMD) regulable del interruptor compacto utilizado actualmente.
- **Nombre:** nombre asignado al interruptor según carga/tablero que alimenta.
- **Long. Alim:** longitud en metros del cable alimentador de baja tensión que parte de la salida del interruptor hacia el tablero secundario o carga correspondiente.
- **Sección (mm²):** sección actual de los cables subterráneos alimentadores.
- **In’:** primer corriente medida, día y horario i=1 (máxima de las tres fases)
- **In’’:** segunda corriente medida, día y horario i=2 (máxima de las tres fases)
- **In’’’:** tercer corriente medida, día y horario i=3 (máxima de las tres fases)
- **I máx.:** corriente máxima de las tres mediciones relevadas.

En la Fig. 5 se puede observar la corriente máxima consumida por cada sector de planta. Las mediciones representan la máxima demanda de cada sector en distintos momentos de la semana.

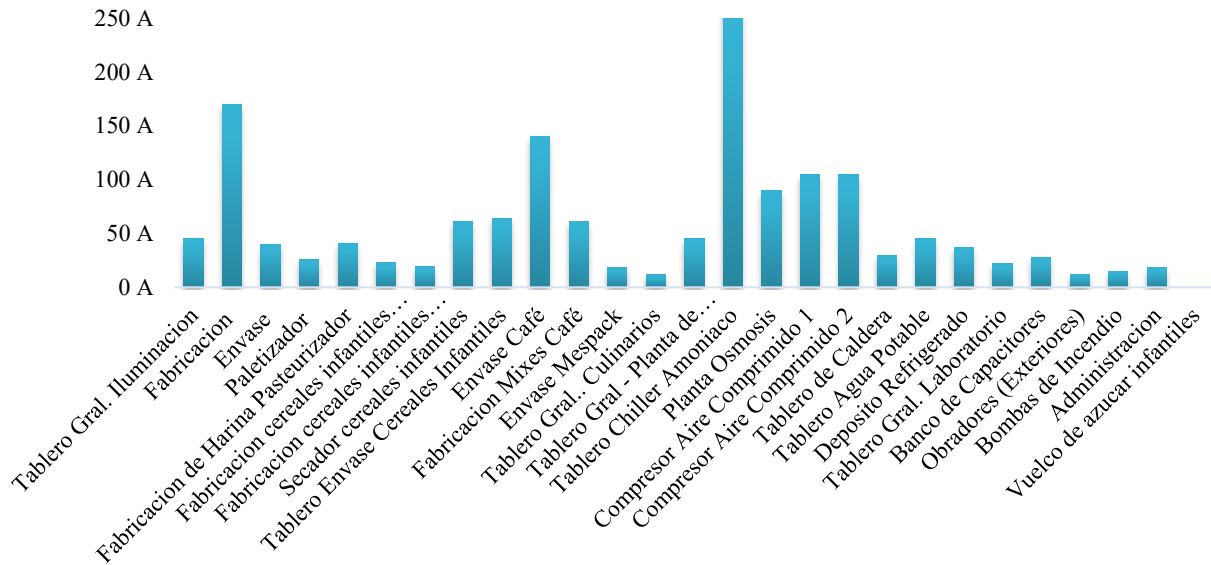


Fig. 5: Demanda por sector de planta

En la Tabla 4 se observa un listado de los interruptores que formaran parte de la nueva instalaci3n el3ctrica, seleccionados provisoriamente seg3n criterios del personal t3cnico de planta, y con el objetivo de hallar en esta instancia una estimaci3n de la demanda m3xima.

Nombre	Long. Alim (m)
SSAA (Tensi3n Segura)	20
Vuelco de az3car infantiles	50
Tablero Sector Expedici3n	70
Reserva Equipada 1	
Reserva Equipada 2	
Reserva Equipada 3	
Reserva Equipada 4	
Reserva Equipada 5	
Reserva Equipada 6	
Reserva Equipada 7	
Reserva Equipada 8	
Reserva Equipada 9	
Reserva Equipada 10	
Reserva Equipada 11	
Reserva Equipada 12	

Tabla 4: Interruptores previstos para la nueva instalaci3n el3ctrica.

Los interruptores nombrados como “Reserva equipada” corresponden a los que se colocarán en el nuevo tablero TGBT pero que no tendrán una carga eléctrica asociada al momento de la puesta en marcha, es decir, permanecerán sin los cables alimentadores conectados ya que su función principal, como su nombre lo indica, es hacer las veces de reserva para futuras demandas. El calibre de estos interruptores se consensuó con responsables técnicos de la empresa, los cuales basaron su decisión en proyectos que están programados realizar a futuro, además los mismos tendrán regulación de corriente nominal por lo que cualquier error que pueda surgir en la estimación va a poder ser solventado.

Los interruptores correspondientes a los tableros “VUELCO DE AZUCAR INFANTILES” y “TABLERO SECTOR EXPEDICION” actualmente no existen, pero se colocarán en este nuevo proyecto porque son necesarios para la ampliación de los sectores a los que corresponden.

El tablero “SSAA (TENSION SEGURA)” es un tablero de UPS que también se colocará en este proyecto. El mismo es necesario para alimentar con tensión regulada algunas cargas sensibles del TGBT nuevo.

5. Estimación de la demanda máxima

5.1. Demanda actual.

En el punto 4.4 se realizaron mediciones de los consumos de cada uno de los alimentadores principales de planta, los cuales derivan en su gran mayoría en tableros secundarios. Las mediciones de corriente I_n' , I_n'' e I_n''' representan los consumos en distintos días y horarios respectivamente, es decir, las I_n' de cada una de las cargas fueron realizadas en un determinado día y horario de trabajo, los cuales la producción fue elevada o representativa, y así sucesivamente para las demás mediciones.

Es necesario rectificar el valor máximo medido de $I_n' = 912$ [A], si bien las mediciones fueron realizadas un mismo día, no fue posible medir simultáneamente todas las cargas, y los motivos son los siguientes:

- espacio reducido en TGBT.
- instalación poco segura (falta de terminales, cinta aisladora en terminales, empalmes aislados de manera incorrecta, etc.)
- cables inamovibles que no permitían el ingreso de la pinza amperométrica.
- a causa de las razones anteriores, ciertas mediciones fueron realizadas sobre bandejas portacables de salida o en tableros secundarios.
- a su vez, existe un tiempo de demora en medir las tres fases de cada interruptor.
- el uso de elementos de protección obligatorios dificultaba la manipulación de los instrumentos de medición.

En conclusión, los trabajos en este tipo de relevamiento tuvieron una demora de aproximadamente tres horas y por lo tanto se adopta un factor de simultaneidad global de 0,95.

Este valor, además de ser consultado con operarios de planta, tiene un valor cercano a 1 por la poca variación entre las corrientes I_n' , I_n'' e I_n''' .

Entonces, el consumo de corriente máximo de la planta según el relevamiento es:

$$I = I_n' * 0,95 = 912 [A] * 0,95 = 866,4 [A]$$

La potencia máxima simultanea demandada es:

$$P = \sqrt{3} * U_n * I_n * \cos\varphi$$

$$P = \sqrt{3} * 380 [V] * 866,4[A] * 0,95$$

$$= 541.73 [kW]$$

ec. (5-1)

5.2. Demanda futura.

Según lo que se habló con la Gerencia de la empresa respecto a las proyecciones de la demanda, se puede decir que hay proyectos potenciales a ejecutarse en los planes de otros años, es por esto que el requisito fue tener en cuenta unos interruptores compactos llamados “Reservas Equipadas”, que como se mencionó anteriormente, tendrán espacio físico y protección eléctrica en el TGBT, pero no alimentaran ninguna carga hasta que sea necesario.

Dichas reservas se listan en la Tabla 5, con su correspondiente capacidad eléctrica estimada:

Nombre	Protec. propuesta
Reserva Equipada 1	4x160A
Reserva Equipada 2	4x125A
Reserva Equipada 3	4x125A
Reserva Equipada 4	4x63A
Reserva Equipada 5	4x160A
Reserva Equipada 6	4x125A
Reserva Equipada 7	4x160A
Reserva Equipada 8	4x160A
Reserva Equipada 9	4x160A

Reserva Equipada 10	4x160A
Reserva Equipada 11	4x100A
Reserva Equipada 12	4x80A

Tabla 5: Listado de interruptores de reserva

Además, se prevé tener en cuenta tres demandas a la hora de la adecuación de la E.R detalladas en la Tabla 6.

Nombre	P [kW]	fs.	Pmax [kW]
SSAA (Tensión Segura)	156	0,4	62,4
Vuelco de azúcar infantiles	224	0.7	156,8
Tablero Sector Expedición	66	0.8	52,8

Tabla 6: Nuevas Cargas.

En total, el agregado de estos tableros sumaría una potencia de:

$$P = 62,4 + 156,8 + 52,8 = 272 \text{ [kW]}$$

En conclusión, la potencia estimada para este proyecto será la suma entre la potencia demanda estimada según el relevamiento realizado y la potencia de reserva.

$$P_{total} = P_{demandada} + P_{reserva} = 541,73 + 272 = 813,7 \text{ [kW]}$$

$$S = \frac{P_{total}}{\cos \varphi} = \frac{813,7 \text{ kW}}{0,95} = 856,52 \text{ [kVA]} \quad \text{ec. (5-2)}$$

Se adopta un factor de potencia de 0,95 para hallar la potencia aparente total porque es el que exige EDELAP en sus normativas.

6. Logística para continuidad del servicio.

A causa de que la continuidad del servicio es primordial, resulta conveniente definir un cronograma para la puesta en marcha de cada uno de los elementos que conformaran la

instalación eléctrica. Esto tiene el fin de lograr la menor cantidad de tiempos muertos y paradas de planta, dado que dichos tiempos se traducen en pérdidas económicas para la empresa.

La Fig. 6 representa el orden a seguir para la adecuación, conexión y desconexión de los elementos más representativos de la instalación, la misma se detalla a continuación:

- Reemplazo de celdas / Parada de planta: es indispensable ejecutar una parada de planta programada en el inicio de obra para poder realizar el reemplazo de las celdas y poder de esta manera, proseguir con la obra. En este punto hay que tener en cuenta que un criterio de la Gerencia fue emplazar dos transformadores, es decir, que la instalación debe estar preparada para alojar dos máquinas con todas sus protecciones, cables y bandejas correspondientes, más allá de que en esta etapa la potencia demandada exija o no el funcionamiento de ambos.

Por ende, se instala un conjunto de celdas de media tensión para cada uno de los transformadores, que reemplazan al actual conjunto de celdas. La posibilidad de disponer dos conjuntos de celdas es una ventaja para realizar conexiones provisorias dado que permite tener flexibilidad para realizar maniobras y de esta manera mantener la continuidad del servicio.

- Celdas 1: este grupo de celdas alimentan al nuevo transformador y, por lo tanto, se energiza de esta forma el nuevo TGBT. Este último no tiene carga asociada en un principio porque se realiza una migración de carga progresiva, es decir, cada carga asociada al TGBT existente se desconectará y consecuentemente se conectará en el nuevo TGBT progresivamente, así de esta manera no habrá paradas totales de planta, sino que paradas por sectores, logrando una reducción en los tiempos muertos.

- Celdas 2: este grupo de celdas alimenta al transformador existente, es decir, reemplazan efectivamente a las celdas existentes de manera provisorias mientras dure la migración de cargas.

Luego, el juego se desconecta, quedando disponibles para una conexión a futuro de un transformador que pueda funcionar en paralelo.

▪ Desmontaje de lo existente: esta tarea exige que la transferencia de cargas se haya realizado con éxito entre el circuito existente y el nuevo. Una vez que la transferencia este completa se hará el desmontaje del transformador y TGBT existentes.

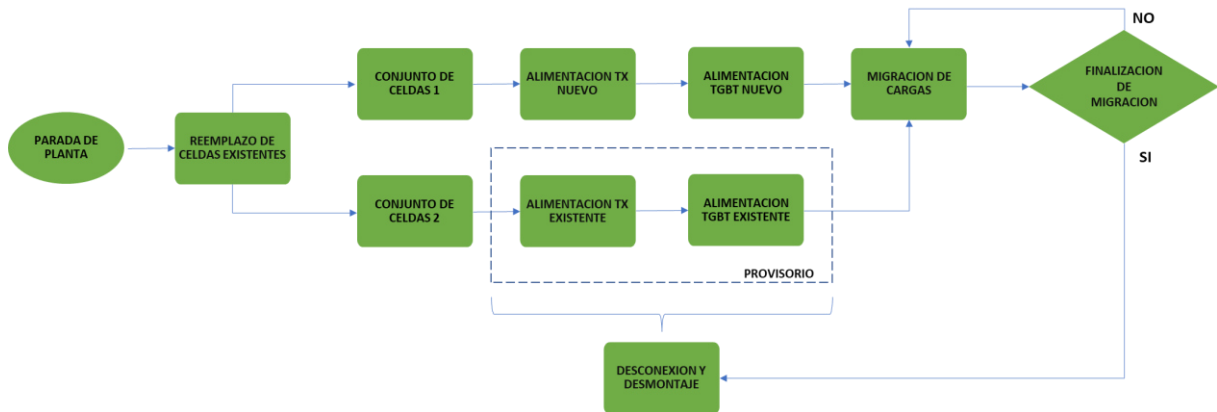


Fig. 6: Diagrama de logística de la puesta en marcha.

Para esta etapa de logística del montaje eléctrico también se tuvo en cuenta la realización de un diagrama de Gantt con los trabajos a ejecutar representado en la Fig. 7.

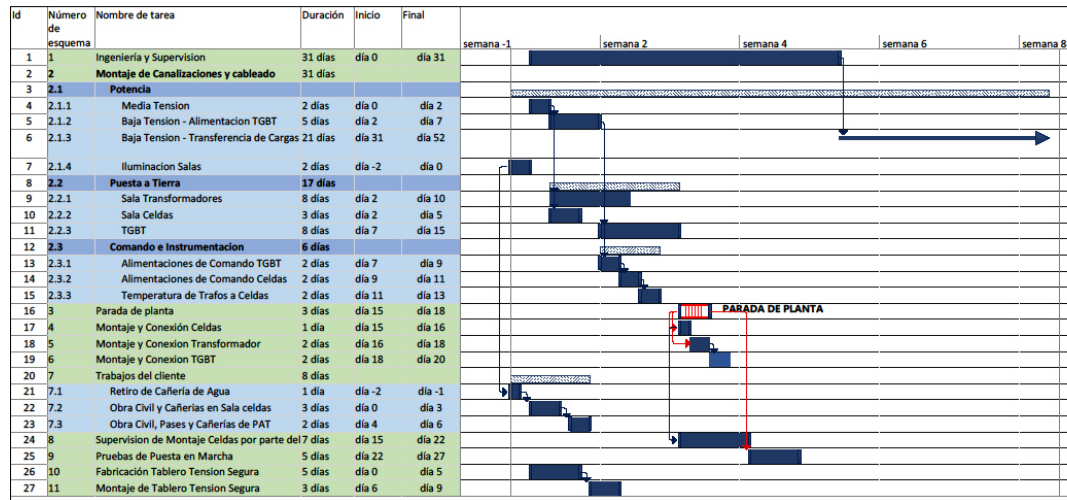


Fig. 7: Diagrama de Gantt para ejecución de trabajos.

El criterio con el cual se diseña el diagrama se basa en tener como guía, la parada de planta programada con duración de tres días corridos, representada en el diagrama de la Fig. 7. Una parada de esta duración requiere estar correctamente justificada, por lo que los trabajos propuestos en el diagrama han sido ubicados considerando si es conveniente realizarlos antes, durante o después de la misma.

Durante la parada de planta se realiza el montaje y conexión de las nuevas celdas de media tensión, el montaje y conexión de los transformadores y por último, el montaje y conexión del nuevo TGBT.

La transferencia de carga en el diagrama fue tomada en cuenta como una tarea general ya que, en el presente proyecto, esta etapa excede al alcance.

7. Selección de transformador.

7.1. Criterios generales

En primer lugar, para la selección del transformador, se consensuó con el cliente cuales son los lineamientos básicos a respetar según normativas internas, y cuáles eran los potenciales proyectos a realizar a futuro. A continuación, se detallan los mismos:

7.1.1. Tipo de aislación: dado que en este proyecto la E.R se emplaza dentro del propio edificio de la empresa, donde también existe circulación de operarios, se decide optar por un transformador del tipo seco aislado en resina epoxi dado que posee las siguientes ventajas respecto a los transformadores sumergidos en aceite:

- mantenimiento mínimo,
- mayor seguridad, dado que la resina epoxi no es inflamable.
- menor espacio físico, dado que no poseen tanques de expansión y otras

protecciones que aumentan el tamaño total del equipo,

- protecciones más simplificadas y menos costosas,
- instalación más simplificada y menos costosa.

7.1.2. Ubicación: Tal como se ha mencionado en el punto 4.3, uno de los criterios de la gerencia ha sido la adquisición de dos transformadores para que a futuro funcionen en paralelo. Estarán ubicados en el mismo recinto, dedicado únicamente a transformadores, con un muro cortafuego entre ambos. La zona de emplazamiento será en la Ciudad de Magdalena, Buenos Aires. Dicha localidad se encuentra a una altura de 21 metros s.n.m, con lo cual para los cálculos y selección del transformador está dentro de la categoría “altura menor a 1000 metros s.n.m”.

7.1.3. Tensiones: del lado primario al tener disponible una red de media tensión en 33 kV la tensión primaria será de ese valor, mientras que la tensión secundaria será de 400 V que es la utilizada en industrias.

7.1.4. Grupo de conexión: el grupo de conexión será Dy11.

7.1.5. Potencia del transformador: este parámetro está en un total acuerdo con la potencia aparente máxima calculada en el punto 5.2, la cual es de un valor de 856,52 kVA.

7.2. Elección del transformador.

El transformador seleccionado es marca Fohama y según catálogo de selección, se selecciona una potencia nominal de 1000 kVA. Esta potencia garantiza una potencia de reserva del 16 % aproximadamente. Las características más importantes del transformador seleccionado se detallan en la Tabla 7.



Fig. 8: transformador seco marca Fohama

Características	Valor
Potencia	1000 kVA
Frecuencia	50 Hz
Tensión primaria nominal	33 kV
Tensión secundaria en vacío	0,4 - 0,231 kV
Regulación primaria	$\pm 2 \times 2,5 \%$

Grupo de conexión	Dy11
Pérdidas en vacío T.amb.	3100 W
Pérdidas en cortocircuito a In y a 75°C	9550 W
Tensión de cortocircuito a In y a 75°	0,06
Nivel de ruido	83 dB
Masa	3110 kg
Largo	1800 mm
Ancho	1000 mm
Alto	2280 mm

Tabla 7: características del transformador seleccionado.

Además, trae incluido los siguientes accesorios:

Accesorios incluidos

3 sondas PT100 p/control de la temperatura de los devanados

Central térmica de control de temperatura

Tomas para variar la relación de transformación $\pm 2,5$ y 5%

Conmutador a puentes sin tensión

Carro con ruedas bidireccionales

Bornes de puesta a tierra

Caja de conexiones auxiliares para circuitos auxiliares

Cáncamos de arrastre

Cáncamos de izaje

Tabla 8: accesorios incluidos en el transformador.

El transformador trae incorporado una central de temperatura la cual posee distintas salidas de relé y entradas para las PT100 que medirán la temperatura de los devanados. En la Fig. 9 se muestra el frente y la parte frontal de la misma.

Las salidas de relé se detallan a continuación:

- FAN1: activación de la ventilación forzada. En este caso particular no será utilizada por el tipo de transformador seleccionado:
- ALARM: dependiendo del valor seteado en la central, esta salida puede activar una alarma sonora o lumínica que indique una sobreelevación en la temperatura de los devanados.
- TRIP: dependiendo del valor seteado, esta salida puede sacar de funcionamiento el transformador a través de su interruptor asociado.
- FAULT: contacto NC para alarma de fallas en las PT100, en la tensión de alimentación, en la memoria interna, etc.



Fig. 9: central térmica del transformador

7.3. Ubicación del transformador.

Viendo la Fig. 10, del lado izquierdo se encuentra el recinto de las celdas y del lado derecho el recinto que aloja los transformadores. El transformador por instalar es el (T1) y el T2 sería el transformador a conectar en un futuro si es necesario, para aumentar la potencia disponible

haciendo que ambos funcionen en paralelo. Cabe destacar que los mismos son posicionados de tal manera que el lado de baja tensión quede en dirección a la bandeja B0-1 que es la que transporta los alimentadores principales al TGBT.

Desde las celdas de MT, los cables suben por la bandeja BMT-1 hasta un punto en el que la misma se subdivide en BMT-2 y BMT-3 para alimentar el T1 y el T2 respectivamente por el lado primario.

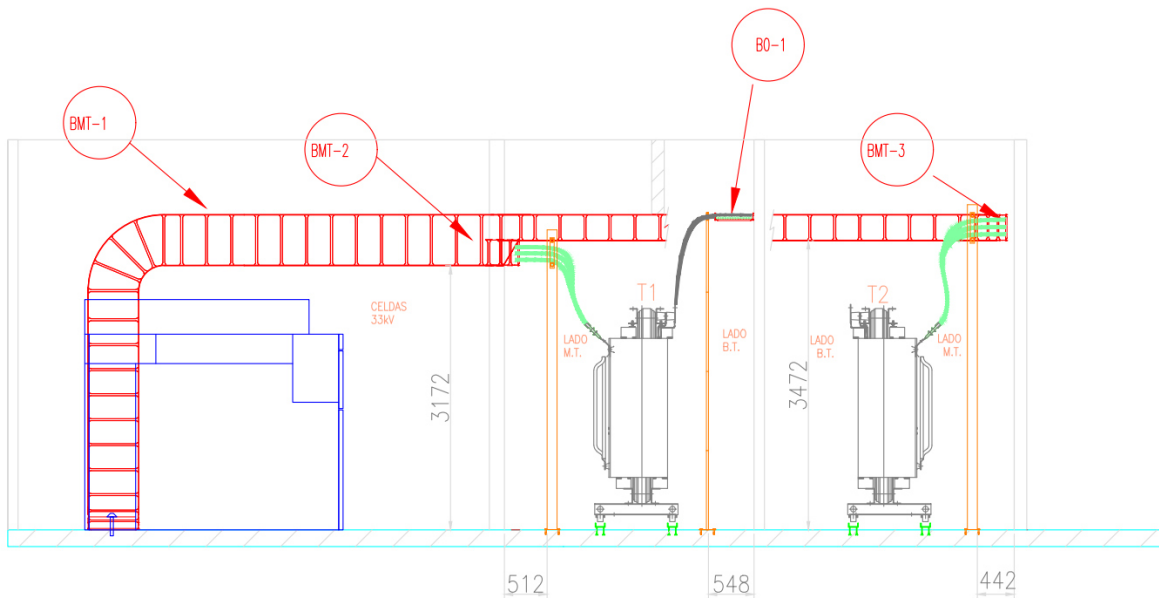


Fig. 10: Vista Lateral – Recinto Celdas y Transformador

8. Cálculo de corriente de cortocircuito

La determinación de la corriente de cortocircuito en la acometida eléctrica de la instalación resulta de suma importancia. Esto radica en el hecho de que es una magnitud condicionante a la hora del dimensionamiento de cables aislados y protecciones, ya sea del lado primario del transformador o del lado secundario. Por este motivo antes de proceder con la selección de elementos de la instalación eléctrica, se realiza un cálculo aproximado de dicha corriente.

8.1. Datos para el cálculo

Potencia del transformador _____ 1000 [KVA]

Ucc _____ 6%

Tensión secundaria _____ 0.4 [KV]

Tensión primaria _____ 33.0 [KV]

Potencia de red de media tensión en acometida* ___ 300 [MVA]

Tiempo de protecciones _____ 1 [s]

**Valor proporcionado por la distribuidora eléctrica en el punto de acometida.*

8.2. Corrientes nominales

Lado Primario:

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{2N}} = \frac{1000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 33 \text{ kV}} = 17,49 \text{ A} \quad \text{ec. (8-1)}$$

Lado Secundario:

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{2N}} = \frac{1000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 1443,37 \text{ A} \quad \text{ec. (8-2)}$$

8.3. Cortocircuito trifásico.

El cálculo de las corrientes de cortocircuito en la acometida eléctrica de baja tensión de la planta se realiza mediante las especificaciones técnicas que establece la Norma AEA 90909 “Corrientes de Cortocircuito en Sistemas Trifásicos de Corriente Alterna - Parte 0 - Cálculo de las Corrientes”. Posteriormente se realiza una verificación mediante el programa de simulación EcoStruxure Power Design – ECODIAL de la empresa Schneider.

8.3.1. Calculo con Norma AEA 90909

Este método de cálculo está basado en la introducción de una fuente de tensión equivalente en el punto de defecto siendo esta la única fuente activa del circuito. La red de alimentación, maquinas sincrónicas y asincrónicas se sustituyen por sus impedancias internas.

Para el caso de este proyecto el diagrama del sistema eléctrico corresponde al de la Fig. 11, compuesto por la red de alimentación, un transformador de dos arrollamientos y la línea de baja y media tensión. Los mismos serán reemplazados por sus impedancias de cortocircuito equivalentes.

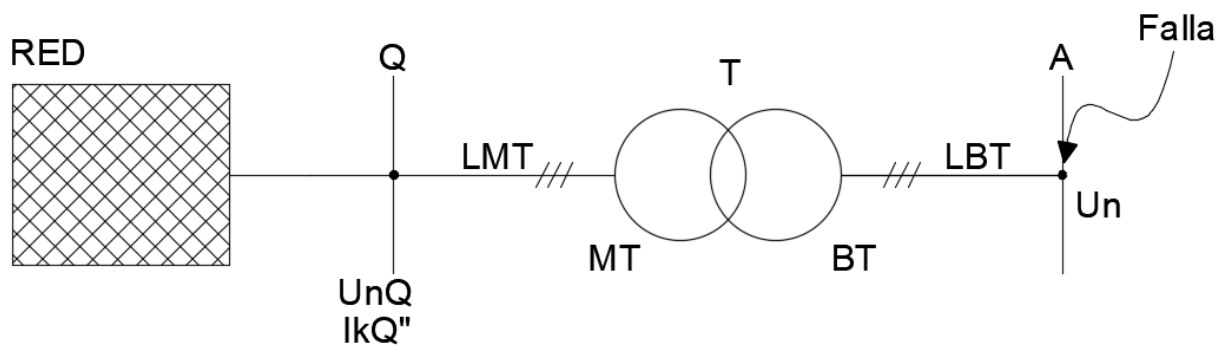


Fig. 11: Diagrama del sistema eléctrico.

En este caso se realizó una verificación para determinar si los motores asincrónicos de baja tensión que se encuentran dentro de la industria aportan a la corriente de cortocircuito y dado que la potencia de estos no es significativa dichos aportes son despreciables.

Impedancias de cortocircuito del Sistema Eléctrico

RED:

La impedancia de cortocircuito de la RED se calcula según la siguiente ecuación:

Proyecto Final de carrera

$$Z_{QT} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ}'' \cdot tr^2}$$

Donde:

U_{nQ} : es la tensión nominal del sistema.

I_{kQ}'' : es la corriente simétrica inicial

tr: relación de transformación del transformador

c: factor de tensión según tabla I de la normativa AEA 90909.

El cálculo de la corriente simétrica inicial y la relación de transformación responden a las ecuaciones ec. (8-3) y ec. (8-4).

$$I_{kQ}'' = \frac{SQ}{\sqrt{3} \cdot U_{nQ}} = \frac{300 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 33 \text{ kV}} = 5248,6 \text{ A} \quad \text{ec. (8-3)}$$

Donde SQ es la potencia de cortocircuito en el punto de acometida, suministrada por la empresa de energía EDELAP.

$$tr = \frac{UTMT}{UTBT} = \frac{33 \text{ kV}}{0,4 \text{ kV}} = 82,5 \quad \text{ec. (8-4)}$$

Donde UMT es la tensión nominal primaria y UTBT es la tensión nominal secundaria.

Finalmente, la impedancia de cortocircuito resulta:

$$Z_{QT} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ}'' \cdot tr^2} = \frac{1,1 \cdot 33 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 5248,6 \text{ A} \cdot 82,5^2} = 0,5867 \text{ m}\Omega \quad \text{ec. (8-5)}$$

Como el punto Q está en las proximidades del puesto de transformación se puede adoptar la

siguiente relación entre la impedancia y la resistencia de cortocircuito:

$$X_{QT} = 0,995. Z_{QT} = 0,995.0,5867 = 0,5838 \text{ m}\Omega \quad \text{ec. (8-6)}$$

$$R_{QT} = 0,1. X_{QT} = 0,1 . 0,5838 = 0,05838 \text{ m}\Omega \quad \text{ec. (8-7)}$$

LINEA DE MEDIA TENSION:

La resistencia efectiva por unidad de longitud es calculada en la *ec. (8-8)*. La línea de media tensión que va desde las celdas hacia el devanado primario del transformador está compuesta por un (1) cable de 70 mm² por fase de aluminio aislados en XLPE.

$$R_L = \frac{\rho_1}{S} \cdot L = \frac{1,25 \cdot \rho_{20^{\circ}\text{C}}}{S} \cdot 10\text{m} = \frac{1,25 \cdot 0,029 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}}{70 \text{ mm}^2} \cdot 10 \text{ m} = 0,5178 \text{ m}\Omega \quad \text{ec. (8-8)}$$

Donde:

ρ_1 : es la resistividad para determinar la corriente máxima de cortocircuito

$\rho_{20^{\circ}\text{C}}$: es la resistividad del conductor a 20°C

S : es la sección total efectiva del conductor de fase.

L : longitud total del cable

El valor de la reactancia por unidad de longitud de la línea de media tensión fue extraído de tabla que proporciona la normativa. El valor para este proyecto según la disposición de cables utilizada resulta del valor de la *ec. (8-9)*.

$$X_L = x_l \cdot L = 0,095 \frac{m\Omega}{m} \cdot 10 m = 0,95 m\Omega \quad \text{ec. (8-9)}$$

Donde:

x_l : reactancia por unidad de longitud según disposición de los cables

L : longitud total del cable

LINEA DE BAJA TENSION:

La resistencia efectiva por unidad de longitud es calculada en la *ec. (8-10)*. La línea de baja tensión de salida del transformador y que luego acomete en el TGBT está compuesta por cuatro (4) cables de 185 mm² por fase de cobre aislados en XLPE.

$$R_L = \frac{\rho_1}{S} \cdot L = \frac{1,25 \cdot \rho_{20^{\circ}c}}{S} \cdot 10m = \frac{1,25 \cdot 0,018 \frac{\Omega mm^2}{m}}{4 \cdot 185 mm^2} \cdot 10 m = 0,3040 m\Omega \quad \text{ec. (8-10)}$$

Donde:

ρ_1 : es la resistividad para determinar la corriente máxima de cortocircuito

S : es la sección total efectiva de los conductores de fase.

L : longitud total del cable

El valor de la reactancia por unidad de longitud de la línea de baja tensión fue extraído de tabla que proporciona la normativa. El valor para este proyecto según la disposición de cables utilizada en este proyecto resulta del valor de la *ec. (8-11)*.

$$X_L = x_l \cdot L = 0,095 \frac{m\Omega}{m} \cdot 10 m = 0,95 m\Omega \quad \text{ec. (8-11)}$$

Donde:

x_l : reactancia por unidad de longitud según disposición de los cables

L : longitud total del cable

TRANSFORMADOR:

La impedancia de cortocircuito del transformador responde a la ec. (8-12).

$$Z_T = \frac{uk \cdot U_{rT}^2}{100 \cdot S_{rT}} = \frac{6 \cdot 0,4 kV^2}{100 \cdot 1000 kVA} = 9,6 m\Omega \quad \text{ec. (8-12)}$$

Donde:

U_{rT} : es la tensión nominal asignada al transformador en el lado secundario.

u_{kr} : es la tensión de cortocircuito del transformador, en porcentaje.

S_{rT} : es la potencia aparente del transformador

El valor de la componente resistiva puede ser calculada mediante las pérdidas totales de los arrollamientos extraídas del catálogo del fabricante como se muestra en la ec. (8-13) y la componente inductiva se deduce en la ec. (8-14).

$$R_T = \frac{P_{krT}}{3 \cdot I_{rT}^2} = \frac{9550 W}{3 \cdot 1448^2 A} = 1,5182 m\Omega \quad \text{ec. (8-13)}$$

Donde:

P_{krT} : son las perdidas totales en los arrollamientos del transformador

$I_{rT''}$: es la corriente asignada al transformador en el lado secundario

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - Q_T^2} = \sqrt{9,6^2 - 1,5182^2} = 9,4792 \text{ m}\Omega \quad \text{ec. (8-14)}$$

A modo de resumen en la Tabla 9 se muestra un resumen de los valores de resistencia y reactancia obtenidos según el cálculo que brinda AEA para la corriente de cortocircuito.

Elemento	R [mΩ]	X [mΩ]
Red	0,05838	0,5838
Línea MT	0,5178	0,9500
Transformador	1,5182	9,4792
Línea BT	0,3040	0,9500

Tabla 9: Resumen de valores. Calculo Cortocircuito.

El circuito eléctrico equivalente para hallar la corriente de cortocircuito máxima se muestra en la Fig. 12 y viene dado por la representación de impedancias de cada uno de los elementos involucrados en la red con la correspondiente fuente de tensión equivalente.

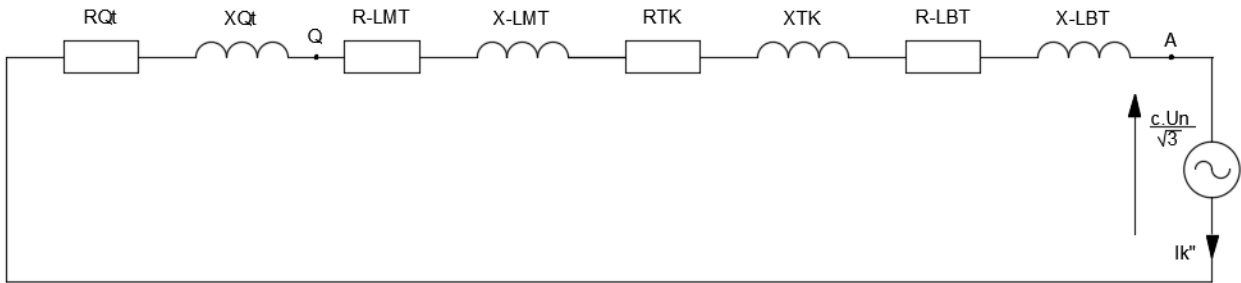


Fig. 12: circuito eléctrico equivalente.

La impedancia total del sistema es:

$$Zk = \sqrt{(RQt + RTk + RLMT + RLBT)^2 + (XQt + XTk + XLMT + XLBT)^2} \quad \text{ec. (8-15)}$$

$$Zk = \sqrt{2,3983^2 + 11,9630^2} = 12,2010 \text{ m}\Omega \quad \text{ec. (8-16)}$$

Finalmente, el valor de la corriente de cortocircuito es:

$$Ik'' = \frac{c \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot Zk} = \frac{1,05 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 12,2010 \text{ m}\Omega} = 19,87 \text{ kA} \quad \text{ec. (8-17)}$$

8.3.2. Cálculo con Simulación con software ECODIAL.

Estableciendo las propiedades de cada uno de los elementos que componen el sistema en el software de diseño según como muestra la Fig. 13 se llega un valor final de corriente eficaz de cortocircuito en el punto de acometida eléctrica en baja tensión de 22,18 kA (Ver Fig. 14).

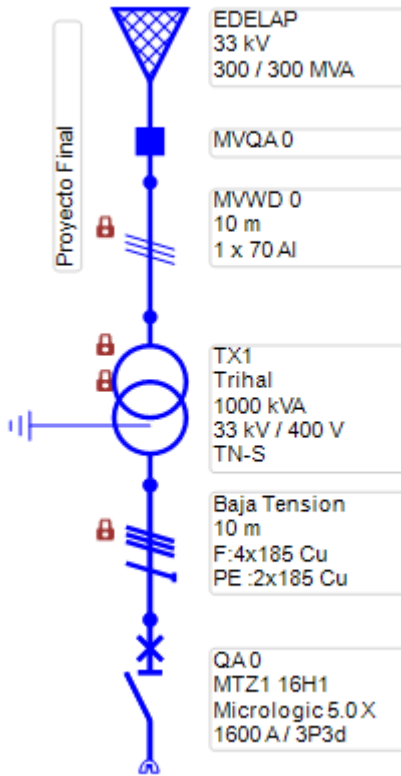


Fig. 13: diseño de la red eléctrica. Software ECODIAL

Corrientes de cortocircuito								
	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	Iefmin	Ief2min	Iefmax
Modo de explotación Normal								
(kA)	22,21	19,23	NA	16,56	NA	19,15	NA	22,18
Resumen para todos los modos de explotación								
(kA)	22,21	19,23	NA	16,56	NA	19,15	NA	22,18

Fig. 14: calculo final de corrientes de cortocircuito. Software ECODIAL

El valor resultante al aplicar la normativa AEA para la corriente de cortocircuito fue de 19,87 kA lo cual permite ver que hay una diferencia entre ambos métodos dado que no sabemos con certidumbre qué criterios y parámetros adopta el sistema de cálculo de la simulación. Sin embargo, los valores de ambos resultados son similares, con lo cual se puede adoptar un criterio

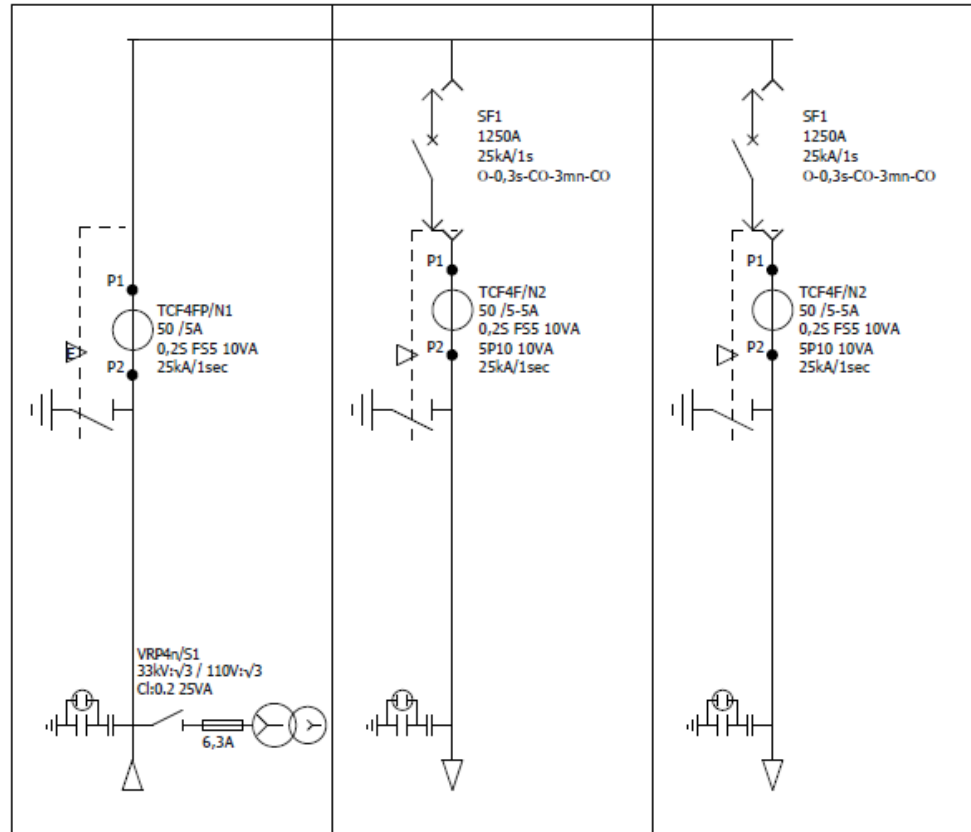
conservador al seleccionar el resultado más alto (22,18 kA) para los diseños que este proyecto requiera.

9. Selección de celdas y cables de media tensión.

9.1.Celdas de Media Tensión

Como se mencionó en el Punto 4.3.2 de este proyecto, uno de los criterios de la Gerencia es dejar preparada la instalación para el funcionamiento de dos transformadores en paralelo dado que está planificado una ampliación del proceso productivo. En esta etapa solo se instala uno solo por cuestiones económicas y técnicas.

El esquema de celdas del lado usuario está compuesto por 3 cubicles de distribución primaria dado sus niveles de corriente nominal y su confiabilidad, como se observa en el diagrama unifilar de la Fig. 15. En primera instancia se encuentra la celda denominada “Celda de Acometida” donde acometen los cables de alimentación en media tensión, y luego se encuentran las celdas “Alimentación-1” y “Alimentación 2” para cada uno de los transformadores. Cada celda de alimentación cumple con las funciones de protección y medición de los parámetros eléctricos en media tensión; en cambio, la celda de acometida se utiliza para acometida de cables y además contiene medición de los parámetros eléctricos generales.



Numero de Cubicle	1-1	1-2	1-3
Tipo de Cubicle	RD6	AD6	AD6
Nombre de Cubicle	Celda de Acometida	Celda de Alimentación - 1	Celda de Alimentación - 2

Fig. 15: Esquema unifilar - Celdas de media tensión.

En la vista general de la Fig. 16 se observan los compartimientos y componentes de los cubicles de protección, donde la parte superior cumple la función de alojar el circuito eléctrico de control de las celdas, y la parte inferior aloja el circuito de media tensión, incluyendo el interruptor, los transformadores de medida y las barras de conexión.

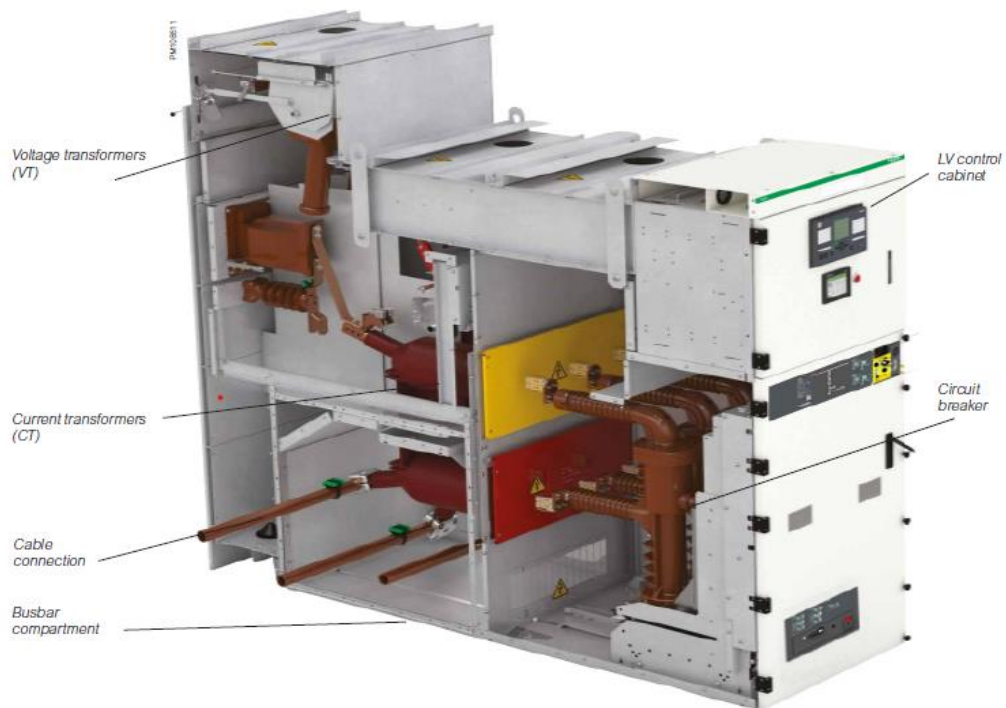


Fig. 16: vista lateral celdas de media tensión

El esquema topográfico que representa cada uno de los componentes de los cubicles y sus medidas generales se encuentra representado en la Fig. 17; por encima de las celdas se encuentra un compartimiento de expulsión de gases que se conecta con el exterior para evacuar justamente los gases de hexafluoruro de azufre (SF₆) y el calor producido ante un cortocircuito, los interruptores poseen una válvula de seguridad de alivio de presión para estos casos y es necesario que dichos gases y calor se eliminen para no comprometer la salud de los operarios.

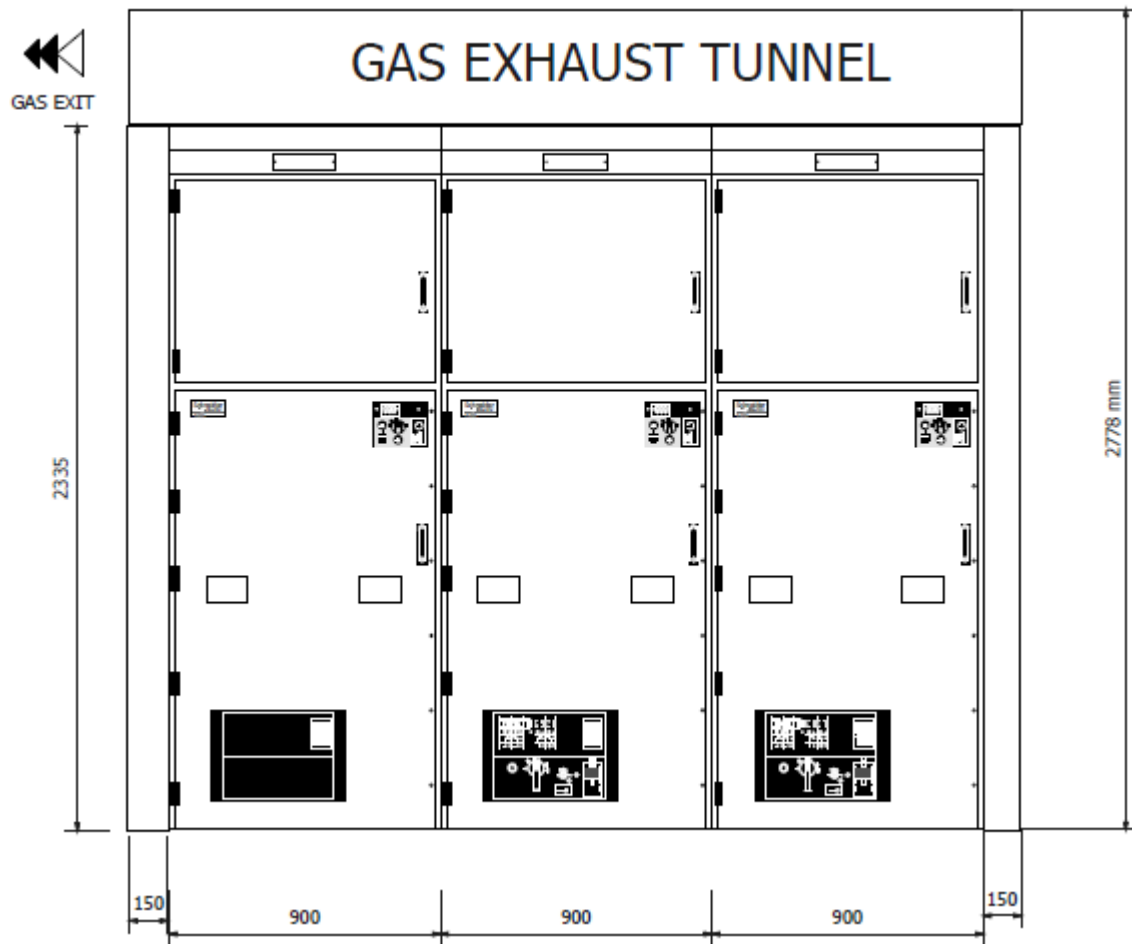


Fig. 17: Diagrama topográfico – Celdas de media tensión.

9.2. Celdas Seleccionadas.

Las celdas seleccionadas son de marca Schneider, de la serie F400 (Fig. 18). Siendo entonces:

- 1 (una) Celda de acometida con medición.
- 2 (dos) Celdas de alimentación con medición.



Fig. 18: Vista general – Conjunto de celdas de media tensión.

En la Tabla 10 se muestran las características generales de las celdas usadas en este proyecto y en la Tabla 11 se muestran algunas características adicionales. Cada celda de protección cuenta con una resistencia calefactora en la zona de barras e interruptores motorizados, los cuales se pueden comandar desde el tablero de baja tensión.

Características Eléctricas

Tipo de unidad Funcional	Interruptor en SF6	
Tensión nominal	36	kV
Tensión de servicio	33	kV
Corriente resistida	25	kA eff 1s
Corriente pico resistida	63	kA peak
Corriente nominal	1250	A
Frecuencia	50	Hz
Norma aplicable	IEC	62271-200

Condiciones Ambientales

Temperatura ambiente	< 40	°C
----------------------	------	----

Altitud	< 1000	m
Humedad	< 95%	en 24hs
Humedad	< 90%	en 1 mes
Grado de protección	IP40	

Tabla 10: Características generales de las celdas seleccionadas.

Características Adicionales

Mimico adhesivo	Si	
Tensiones de control		
Motor interruptor	110	VDC
Calentador externo	220	VCA
Luces	220	VCA
Cubicle de calentamiento	Si	(con termostato)
Cables TI	4	mm ²
Cables TV	2,5	mm ²
Circuito de control	1,5	mm ²
Dimensiones		
Ancho Total	2700	mm
Ancho por cubicle	900	mm
Altura (incl. compartimiento de gases)	2778	mm
Profundidad	3074	mm
Peso Total	1884	kg

Tabla 11: características adicionales de las celdas de media tensión

9.3. Selección de Interruptor de Celdas.

El fabricante ofrece para celdas de la serie F400 con tensión de operación 36 kV, dos opciones de medio de extinción del arco para los interruptores: SF₆ y Vacío. Ambos poseen un buen funcionamiento a estos niveles de tensión, son libres de mantenimiento, su costo de mercado es similar y poseen buenas características técnicas que se adaptan a las condiciones de este proyecto, algunas de ellas se observan en Tabla 12.

Criterios	Interruptor SF6	Disyuntores de vacío
Energía de operación	Baja	Baja
Energía del arco	Debido a la alta conductividad del arco en el gas SF6, la energía del arco es baja.	Debido a la muy baja tensión a través del arco de vapor, la energía es muy baja.
Erosión del contacto	Debido a la baja energía la erosión por contacto es pequeña.	Debido a la baja energía la erosión por contacto es pequeña.
Medios de extinción de arco	Prácticamente no se produce ninguna pérdida del medio de enfriamiento. Sellados de por vida.	No se requiere ningún medio de extinción adicional. Sellados de por vida.
Gastos de mantenimiento.	Bajos o nulos	Bajos o nulos
Confiabilidad	Alta	Alta
Resistencia dieléctrica	Alta	Alta
Conmutación de Icc con alta componente de continua	Muy adecuado	Muy adecuado
Conmutación de transformadores	Muy adecuado	Muy adecuado

Tabla 12. Comparación interruptores de vacío y SF6.

La diferencia sustancial se da en lo perjudicial que es el gas SF6 para la capa de ozono respecto a la tecnología de vacío que tiene contaminación nula. Sin embargo, ambas tecnologías cumplen técnicamente y son altamente confiables por lo que la elección en este caso particular estuvo supeditada a la disponibilidad y tiempos de plazos de entrega, en el caso de los interruptores de vacío la fecha de entrega no era conveniente por lo que se concluyó en seleccionar el interruptor aislado en SF6.

En cuanto a sus valores nominales, en el Punto 8 la corriente máxima de cortocircuito en media tensión calculada arrojó un valor de 5 kA aproximadamente y la corriente nominal del transformador dio un valor de 17,49 A. En relación con la protección contra cortocircuitos cualquiera de los interruptores supera ampliamente a lo estipulado, y respecto a sobrecargas el

transformador está protegido desde el lado de baja tensión, es por ello que no afecta que la corriente nominal del interruptor supere ampliamente a la nominal del transformador.

En definitiva, el interruptor seleccionado es el “SF1” con 25 kA de poder de corte y 1250 A de corriente nominal, aislado en gas SF6.

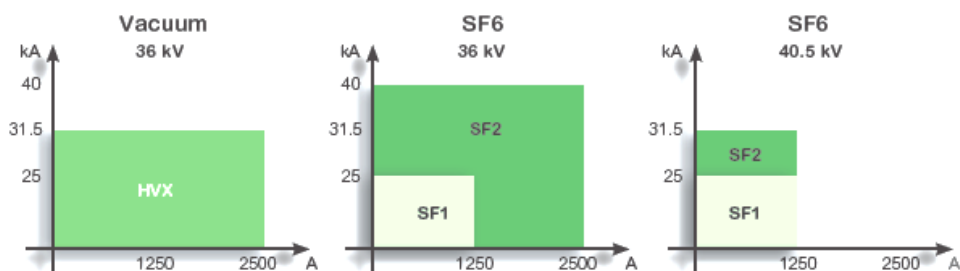


Fig. 19: Tipos de interruptores – Celdas F400

En Tabla 13 se listan las características del interruptor seleccionado, cabe aclarar que es compatible con las celdas seleccionadas y sus medidas son coherentes con las medidas del cubicle de las celdas F400, no habiendo inconvenientes a la hora del ensamblaje.

Características Interruptor “SF1”

Tensión Nominal	36 kV	
Frecuencia Nominal	50 Hz	
Tensión soportada a frec. industrial – 1 min	70	kV
Tensión soportada a frec. de impulso – 1.2/50 μ s	170	kV pico
I.nom.	1250	A
Resistencia al arco interno	25	kA 1 seg
Grado de Protección	IP4X	
Dimensiones		
Ancho	900	mm
Alto	2225	mm
Profundidad	3074	mm
Peso Total aprox.	1467	kg

Tabla 13: Características Eléctricas Interruptor SF1

El transformador de corriente y de tensión seleccionado para monitoreo, seguimiento de relés y dispositivos de seguridad posee las características de la Tabla 14. Se instalan en los compartimientos de media tensión de las tres celdas (acometida, alimentación 1, alimentación 2). Ambos están encapsulados en resina epoxi, siendo entonces transformadores del tipo seco.

Transformador de Corriente “ TCF4F/N2”

Relación	50/5	
Medición VA cl 0,5	10-20	
Código	5P20	
Ith máx.	25	kA 1 seg
I.nom.	1250	A
Resistencia al arco interno	25	kA 1 seg

Transformador de Tensión “ VRP4n/S1”

Tensión primario	$33/\sqrt{3}$	kV
Tensión secundario	$0,1/\sqrt{3}$	kV
VA Clase	50-100 VA	cl. 0,5

Tabla 14: Características Transformadores de medida



Fig. 20: TI y TV para medición. Celdas MT

9.4. Selección de Cable de Media Tensión.

A continuación, se determina la sección necesaria de los cables de media tensión que conectan celdas con transformador. Los conductores van en bandejas portacables del tipo escalera en disposición vertical y es por esta razón que deben ser aislados. El conductor

seleccionado es de aluminio y el aislamiento en XLPE, como es de preferencia en estos niveles de tensión y contiene también una pantalla metálica de cobre recocido, las partes constitutivas de estos cables se ven en Fig. 21. En cuanto al material de la envoltura exterior, como son instalaciones que están dentro del edificio y los criterios del Gerencia lo exigen, tiene las características de ser del tipo LS0H que responde a la norma: no propagadores de la llama, no propagadores del incendio, reducida emisión de humos, baja emisión de gases tóxicos, y libre de halógenos.



Fig. 21: componentes cable de media tensión

El cálculo de este cable armado consiste en las siguientes verificaciones:

1. Intensidad máxima admisible en servicio permanente.
2. Intensidad máxima admisible de cortocircuito en el tiempo.
3. Caída de tensión.

Verificación 1: para esta instancia es necesario saber cuál es la corriente de proyecto y las características generales del cable a utilizar. La primera fue calculada en la ec. (8-1), siendo esta la corriente nominal en el lado primario del transformador, obteniendo un valor de 17,49 A.

Desde catálogo del fabricante Prysmian, se puede ver a Fig. 22 que la sección mínima comercial para cables de estas características es de 50 mm², el cual tiene una corriente admisible de 196 A.

Cable Retenax AL 33 kV - Categoría I							
Datos Eléctricos							
Sección nominal	Corriente admisible para cables en aire (unipolares)	Corriente admisible para cables en aire (tripolares)	Corriente admisible para cables enterrados (unipolares)	Corriente admisible para cables enterrados (tripolares)	Resistencia a 90°C y 50 Hz	Reactancia a 50 Hz (unipolares)	Reactancia a 50 Hz (tripolares)
mm ²	A	A	A	A	ohm/km	ohm/km	ohm/km
50	196	156	184	160	0,821	0,231	0,132
70	244	192	224	192	0,567	0,220	0,125
95	296	232	264	232	0,410	0,210	0,118
120	336	260	300	260	0,324	0,240	0,114
150	380	296	336	292	0,264	0,199	0,110
185	436	328	376	324	0,210	0,193	0,106
240	508	400	432	388	0,16	0,186	0,102
300	576	460	484	440	0,128	0,180	0,0985
400	660	-	548	-	0,0997	0,174	-

- Cables en aire: se considera tres cables unipolares en un plano sobre bandeja y distanciados un diámetro o un cable multipolar sólo, en un ambiente a 40° C.

- Cables enterrados: tres cables unipolares colocados en un plano horizontal y distanciados 7 cm. o un cable multipolar solo, enterrado a 1 m. de profundidad en un terreno a 25° C. y 100° C. cm / W de resistividad térmica.

- Para otras condiciones de instalación emplear los coeficientes de corrección de la corriente admisible que correspondan.




Fig. 22: catalogo cable media tensión Prysmian

Los cables se conducen por bandeja portacable del tipo escalera, y como se ve en la Fig. 23, van dos ternas por la bandeja denominada “BMT-1” y luego las mismas se dividen para alimentar a cada uno de los transformadores, una terna continúa por “BMT-2” y la otra sigue por “BMT-3”. Según criterios de la Gerencia, las bandejas tienen disposición vertical para evitar acumulación de polvo y consecuentemente se aplica un factor de corrección para la corriente máxima admisible del cable por agrupación de conductores y uno por temperatura, según ecuación ec. (9-1).

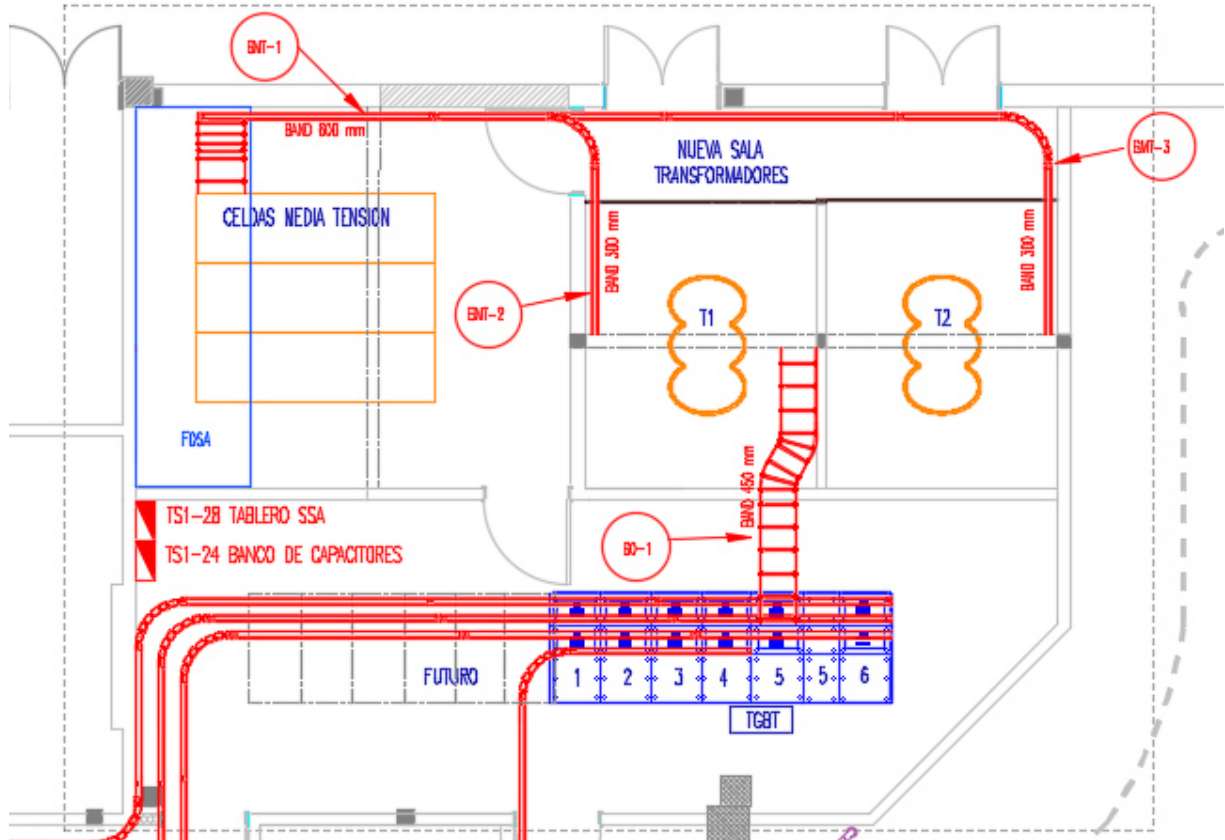


Fig. 23: vista en planta. Recintos celdas y transformador.

$$I_{proyecto} < I_{nom \text{ cable}} \cdot k_{t^{\circ}} \cdot k_{agrup} \quad \text{ec. (9-1)}$$

Donde:

I_{proyecto}: corriente nominal máxima en el lado primario del transformador

I_{nom cable}: es la corriente que soporta el conductor a temperatura de 40°C en aire.

k_{agrup}: factor por agrupación de conductores. Extraído de catalogo del fabricante.

k_{t°}: factor de corrección por temperatura. Extraído de catalogo del

fabricante.

$$17,49 \text{ A} < 196 \text{ A} \cdot 0,95 \cdot 0,78 \quad \text{ec. (9-2)}$$

$$17,49 \text{ A} < 145,23 \text{ A} \quad \text{ec. (9-3)}$$

Con lo cual se verifica que la corriente nominal del cable supera ampliamente a la corriente nominal de proyecto.

Verificación 2: en este caso es necesaria la corriente de cortocircuito máxima en el lado primario del transformador, calculada en el Punto 8.3.1 dando como valor 5248,6 A.

El calentamiento por corriente de cortocircuito se desarrolla con la ecuación ec. (9-4).

$$I \cdot \sqrt{t} > K \cdot S \quad \text{ec. (9-4)}$$

Donde:

I: corriente de cortocircuito máxima en el lado primario del transformador en Ampers.

t: tiempo de actuación de las protecciones. Se estima 1 seg.

K: coeficiente que depende de la naturaleza del conductor. (Para cables aislados en XLPE con conductor de cobre y aluminio el valor de $K_{Cu}=143$ y $K_{Al}=92$)

S: sección nominal del conductor en mm^2

$$5248,6 \cdot \sqrt{1} < 92 \cdot 50 \quad \text{ec. (9-5)}$$

$$5248,6 < 4600 \quad \text{ec. (9-6)}$$

En esta oportunidad la inecuación no se cumple. Consecuentemente, existen dos variables que se pueden modificar para cumplir con la verificación: disminuir el tiempo de actuación de las protecciones o aumentar la sección del cable.

El tiempo adoptado de 1 segundo, según bibliografía y experiencia de Ingenieros instruidos en protecciones eléctricas, es un tiempo conservador que permite asegurar la interrupción del arco de casi cualquier elemento de protección en la actualidad. Por este motivo, se prefiere optar por la segunda opción, elevar la sección del conductor a su inmediato superior, y según catálogo de Fig. 22, dicha sección es de 70 mm².

Realizando nuevamente el cálculo resulta:

$$I \cdot \sqrt{t} > K \cdot S \quad \text{ec. (9-7)}$$

$$5248,6 \cdot \sqrt{1} < 92 \cdot 70 \quad \text{ec. (9-8)}$$

$$5248,6 < 6440 \quad \text{ec. (9-9)}$$

De esta manera se cumple con la verificación 2 aumentando la sección del conductor, según valores de la ec. (9-9).

La verificación 1 con la nueva sección de cable seleccionada se va a cumplir, pero a los fines de hallar la corriente admisible del cable resulta: según catalogo la corriente máxima que puede circular por el cable es de 244 A. Con lo cual multiplicando por el factor de agrupamiento de 0,78 y el factor de temperatura 0,95; la corriente admisible es de 180,80 A

Verificación 3: en el caso de cables de media tensión la caída porcentual de la tensión pierde importancia y más aun teniendo en cuenta que las distancias de conexión entre celdas y transformadores es reducida. A continuación, se realiza el cálculo mediante la ec. (9-10).

$$\Delta U = K.I.l.(r.\cos\varphi + x.\sen\varphi) \quad \text{ec. (9-10)}$$

Donde:

K : factor para sistemas trifásicos igual a 1,73.

I : corriente de proyecto en Ampers.

l : longitud del conductor en km. Se toma la distancia más desfavorable.

$\cos\varphi$: valor del factor de potencia exigido por EDELAP.

r : resistencia del conductor en Ω/km . Extraída de catálogo de Fig. 22.

x : reactancia del conductor en Ω/km . Extraída de catálogo de Fig. 22.

$$\Delta U = 1,73.17,49.0,02.(0,567.0,95 + 0,22.0,31) \quad \text{ec. (9-11)}$$

$$\Delta U = 0,36 \text{ V} \quad \text{ec. (9-12)}$$

$$\%U = \frac{0,36 \text{ V}}{33000\text{V}} \cdot 100 = 0,00111\% \quad \text{ec. (9-13)}$$

Cumpléndose ampliamente la verificación 3 ya que la caída de tensión porcentual de referencia para circuitos seccionales es de 1 %.

En conclusión, los cables para media tensión serán de la marca Prysmian Serie Retenax MT y tendrán las siguientes características técnicas:

Cables de Media Tensión		
Tensión Nominal	36 kV	
Conductor	Aluminio	
Aislación	XLPE	
Malla PAT	Cu recocido	
Sección nominal	70	mm ²
Iadm	244	A
Disposición	Unipolar en bandeja escalera	
Resistencia	0,567	Ω/km
Reactancia	0,22	Ω/km
Diámetro exterior	40	mm
Masa	1790	Kg/km

Tabla 15: características conductores de media tensión.

10. Cálculo de cables de baja tensión y bandejas portacables.

En este apartado se desarrolla el cálculo de los cables seccionales que van desde el Tablero General de Baja Tensión (TGBT) hacia los tableros secundarios o maquinas dentro de la instalación. Según criterios de la Gerencia, la alta concentración de operarios y la difícil evacuación en determinados espacios de la planta, hace necesario el uso de alimentadores contruidos bajo norma IRAM 62266 o como su nomenclatura en ingles indica: Low Smoke Zero Halogen (LS0H) que poseen las propiedades de no propagar la llama, no propagar el incendio, no contener halógenos, no emitir gases tóxicos, no emitir humos opacos y no emitir gases corrosivos. La disposición de estos será sobre bandejas portacables perforadas en posición vertical y no podrán superar una capa horizontal de ocupación, es decir, no podrán estar los cables superpuestos en las bandejas por criterio de la Gerencia.

En la Tabla 16 se detalla cada uno de los circuitos seccionales por nombre, codificación de su tablero asociado, longitud en metros y corriente máxima de proyecto, que servirán como base para el desarrollo de los cálculos. Como aclaración cabe destacar que el TS1-29 y el TS1-30 son tableros por diseñar en un futuro y el alimentador no está contemplado en el alcance de este proyecto.

Nombre	Tag Tablero	Long. Alim (m)	I Max (A)
Tablero Gral. Iluminación	TS1-1	50	45
Fabricación	TS1-2	43	170
Envase	TS1-3	45	40
Paletizador	TS1-4	55	26
Fabricación de Harina Pasteurizador	TS1-5	60	41
Fabricación cereales infantiles torre húmeda	TS1-6	70	23
Fabricación cereales infantiles torre seca	TS1-7	60	19
Secador cereales infantiles	TS1-8	70	61
Tablero Envase Cereales Infantiles	TS1-9	55	64
Envase Café	TS1-10	35	140
Fabricación Mixes Café	TS1-11	35	61
Envase Mespak	TS1-12	30	18
Vuelco de azúcar	TS1-13	35	128
Tablero Gral.. Culinarios	TS2-14	65	12
Tablero Gral.- Planta de tratamiento de efluentes	TS2-15	65	45
Tablero Chiller Amoniaco	TS1-16	45	260
Planta Osmosis	TS1-17	30	90
Compresor Aire Comprimido 1	TS1-18	45	105
Compresor Aire Comprimido 2	TS1-19	40	105
Tablero de Caldera	TS1-20	45	30
Tablero Agua Potable	TS1-21	30	45
Deposito Refrigerado	TS2-22	75	37
Tablero Gral. Laboratorio	TS1-23	55	22
Banco de Capacitores	TS1-24	15	28
Obradores (Exteriores)	TS2-25	80	12
Bombas de Incendio	TS1-26	55	15
Administración	TS1-27	40	18
SSAA (Tensión Segura)	TS1-28	20	-

Tabla 16: listado de alimentadores.

Nota: Los tableros SSAA (Tensión Segura), Tablero Sector Expedición y Vuelco de azúcar Infantiles son nuevas cargas distintas a las existentes pero en este proyecto solo se considera el cálculo para el primero, los dos restantes serán instalados a futuro y solo se tendrá en cuenta el interruptor correspondiente en el tablero TGBT.

A continuación, en la Tabla 17 se muestra un detalle de la agrupación de alimentadores según las bandejas portacables. Los tableros se van repitiendo en ciertas bandejas porque a veces circulan por más de una de ellas.

En el Vista en planta general de la planta. se puede ver la vista en planta de la industria con el recorrido de cada una de las bandejas portacables.

Las bandejas fueron codificadas para comprender mejor qué y cuales cable transporta cada una de ellas y el criterio que se tomó se explica en el siguiente ejemplo:

Bandeja Portacables Bn-x, siendo:

- “B” la denominación para Bandeja Portacables.
- “n” el numero correspondiente de Bandeja Portacables.
- “x” un tramo, porción o derivación de la bandeja “n”. Es decir, la bandeja de numero “n” tiene un recorrido especifico por la planta, pero está comprendida por varios tramos los cuales a su vez pueden o no cambiar de sección según la cantidad de cables que transportan.

N.º de Bandeja	Tablero/Equipo
B1-1	Tablero Chiller Amoniaco
	Tablero Agua Potable
	SSAA (Tensión Segura) (Nuevo)
B1-2	Generador
	Generador
B2-1	Tablero Chiller Amoniaco
B2-1	Tablero Gral. Iluminación

Proyecto Final de carrera

	Fabricación de Harina Pasteurizador
	Fabricación cereales infantiles torre húmeda
	Fabricación cereales infantiles torre seca
	Secador cereales infantiles
	Tablero Gral.. Culinarios
	Tablero Gral. - Planta de tratamiento de efluentes
	Planta Osmosis
	Deposito Refrigerado
	Tablero Gral. Laboratorio
	Obradores (Exteriores)
B2-2	Tablero Gral. Culinarios
	Obradores (Exteriores)
	Deposito Refrigerado
	Tablero Gral. - Planta de tratamiento de efluentes
B2-3	Tablero Gral. Iluminación
	Fabricación cereales infantiles torre húmeda
	Fabricación cereales infantiles torre seca
	Secador cereales infantiles
	Tablero Gral. Laboratorio
	Planta Osmosis
B3-1	Paletizador
	Vuelco de azúcar
	Banco de Capacitores
	Bombas de Incendio
	Administración
	Tablero de Caldera
B4-1	Fabricación
	Envase
	Tablero Envase Cereales Infantiles
	Envase Café
	Fabricación Mixes Café
	Envase Mespak
	Compresor Aire Comprimido 1
	Compresor Aire Comprimido 2
B5	Bombas de Incendio
	Administración
	Tablero de Caldera
BMT-1	Alimentaciones en 33 Kv
BMT-2	Alimentación Trafo 1
BMT-3	Alimentación Trafo 2

Tabla 17: detalle de alimentadores por bandejas.

En este apartado se hará a modo de ejemplo el cálculo paso a paso del cable seccional “Tablero General Iluminación TS1-1” en el Punto 10.1 y del alimentador del TGBT en el Punto 10.2. Este desarrollo se realiza bajo norma AEA 90364 Parte 7 – Sección 771, siguiendo las verificaciones recomendadas.

10.1. Cálculo Cable Seccional: “Tablero General Iluminación TS1-1”

- **Verificación de temperatura máxima admisible.**

Para esta verificación se utiliza el catálogo del modelo Afumex 1000 del fabricante Prysmian (Tabla 18) con la premisa de hallar la corriente admisible de cada cable a una temperatura ambiente de 40 °C e instalados según “Método E (6)”.

Sección nominal mm ²	Método B1 y B2 caño embutido en pared Caño a la vista		Método C Bandeja no perforada o de fondo sólido		Método E Bandeja perforada	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1,5	20	17,7	22	20	24	21
2,5	27	24	30	27	33	29
4	36	32	41	36	45	38
6	46	40	53	47	57	49
10	63	55	73	65	78	68
16	83	73	97	87	105	91
25	-	95	125	108	135	115
35	-	116	155	134	168	144
50	-	140	190	163	205	175
70	-	-	245	208	263	224
95	-	-	298	253	320	271
120	-	-	347	293	373	315
150	-	-	401	337	430	363
185	-	-	460	385	493	415
240	-	-	545	455	583	489
300	-	-	630	524	674	565

Tabla 18: catalogo Afumex 1000

$$I_{\text{proyecto}} < I_{\text{adm cable}} \cdot k_{t^{\circ}} \cdot k_{\text{agrup}}$$

ec. (10-1)

Donde:

I_{proyecto}: corriente nominal máxima del tablero secundario o equipo.

I_{adm cable}: corriente admisible del cable a 40°C en aire.

k_{t°}: factor de corrección por temperatura según AEA 90364

k_{agrup}: factor de corrección por agrupación de cables según AEA 90364

Para este caso, el valor de la temperatura ambiente dentro de la planta se estima de 45°C, y según norma AEA le corresponde un factor de corrección por temperatura de 0,96.

El factor de agrupamiento también es extraído de la norma AEA, la cual indica que para una sola capa sobre una bandeja perforada horizontal o vertical y once (11) conductores agrupados el factor es de 0,72. Este número de conductores por bandeja es obtenido de Tabla 17, si bien este alimentador recorre dos bandejas portacables, se toma el valor más desfavorable que es por donde existe un mayor número de cables agrupados (Bandeja B 2-1).

El valor admisible del cable 4x6 mm² es de 49 A y por superar a la corriente de proyecto, a priori es seleccionado.

$$45 \text{ A} < 49 \text{ A} \cdot 0,96 \cdot 0,72$$

ec. (10-2)

$$45 \text{ A} < 33,86 \text{ A}$$

ec. (10-3)

Con lo cual NO se verifica la primera condición.

Aumentando la sección del cable a su inmediato superior, 4x10 mm², la corriente admisible del cable es de 68 A y al multiplicar por los factores de corrección antes nombrados la corriente final admisible del cable es de 47 A, con lo cual de esta manera se verifica la condición 1.

- **Máxima caída de tensión admisible.**

La siguiente verificación por caída de tensión deberá ser menor al porcentaje del 1 % que norma AEA recomienda para este tipo de circuitos seccionales.

$$\Delta U = K.I.l.(r.\cos\varphi + x.\sen\varphi) \quad ec. (10-4)$$

Donde:

K : factor para sistemas trifásicos igual a 1,73.

I : corriente de proyecto en Ampers.

l : longitud del conductor en km.

$\cos\varphi$: valor del factor de potencia exigido por EDELAP.

r : resistencia del conductor en Ω /km. Extraída de catálogo.

x : reactancia del conductor en Ω /km. Extraída de catálogo.

$$\Delta U = K.I.l.(r.\cos\varphi + x.\sen\varphi) \quad ec. (10-5)$$

$$\Delta U = 1,73 . 45 . 0,050 . (2,34 . 0,95 + 0,08 . 0,31) = 8,74 \text{ V} \quad ec. (10-6)$$

$$\%U = \frac{8,74 \text{ V}}{380 \text{ V}} . 100 = 2,3 \% \quad ec. (10-7)$$

No se cumple la verificación para el cable de 4x10 mm², y realizando los cálculos pertinentes tampoco se cumple para el cable de 4x16mm², por eso se opta por pasar a la sección inmediata superior de 25 mm² para las fases. Ahora el cálculo resulta:

$$\Delta U = 1,73 \cdot 45 \cdot 0,050 \cdot (0,926 \cdot 0,95 + 0,075 \cdot 0,31) = 3,51 \text{ V} \quad \text{ec. (10-8)}$$

$$\%U = \frac{3,51 \text{ V}}{380 \text{ V}} \cdot 100 = 0,92 \% \quad \text{ec. (10-9)}$$

De esta manera el cable seleccionado es el cable de 3x25+16 mm².

10.2. Cálculo Cable Principal: “Alimentación tablero TGBT”

El alimentador principal que conecta transformador 1 con el Tablero General de Baja Tensión también será calculado bajo el mismo procedimiento que en el Punto 10.1.

- **Verificación de temperatura máxima admisible.**

En este caso la corriente de proyecto es la nominal que el transformador puede entregar, es decir 1443 A, con lo cual dado los valores elevados que esto representa, resulta imposible realizar la alimentación a través de un cable tetrapolar como en el anterior caso. Se evalúa entonces, la posibilidad de seleccionar cables unipolares en paralelo.

Un cable de 1x185 mm² tiene una corriente admisible de 485 A en disposición de Método F (9) como se muestra en Fig. 24.

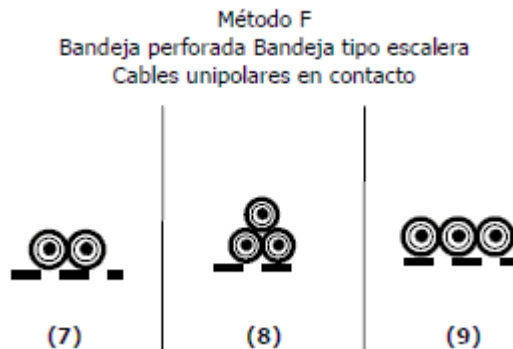


Fig. 24: catalogo Afumex 1000 (1)

La corriente admisible que puede conducir si se realiza el paralelo de 4 conductores seria de 1940 A, aplicando los factores de corrección por temperatura y por agrupamiento según AEA 90364 resulta:

$$1443 \text{ A} < 1940 \text{ A} \cdot 0,96 \cdot 0,88 \quad \text{ec. (10-10)}$$

$$1443 \text{ A} < 1638 \text{ A} \quad \text{ec. (10-11)}$$

Verificando de esta manera por temperatura.

- **Máxima caída de tensión admisible.**

La siguiente verificación por caída de tensión deberá ser menor al porcentaje del 1 % que norma AEA 90364 recomienda para este tipo de circuitos. La distancia de cada cable es de 8 metros y los valores de resistencia y reactancia son obtenidos de catalogo del fabricante, resultando:

$$\Delta U = K \cdot I \cdot l \cdot (r \cdot \cos\varphi + x \cdot \sen\varphi) \quad \text{ec. (10-12)}$$

$$\Delta U = 1,73 \cdot 1443 \cdot 0,008 \cdot (0,126 \cdot 0,95 + 0,142 \cdot 0,31) = 3,27 \text{ V} \quad \text{ec. (10-13)}$$

$$\%U = \frac{3,27 V}{380 V} \cdot 100 = 0,86 \%$$

ec. (10-14)

Cumpliendo con ambas verificaciones el cable seleccionado es el paralelo de 4 conductores unipolares de 185 mm² por fase y 2 conductores de 185 mm² para el neutro, es decir, **4x (3x1x185) mm² + 2x (1x185) mm²**.

10.3. Sección de cable seccionales.

Siguiendo el mismo mecanismo de resolución que se explicó en los Puntos 10.1 y 10.2, se realiza el cálculo para cada uno de los cables seccionales, en el Anexo. A se encuentra un detalle de las iteraciones para llegar a la siguiente Tabla 19 que muestra un resumen de la selección para cada caso:

Denominación	Tag Tablero	Longitud (m)	I.max (A)	Sección Seleccionada
Tablero Gral. Iluminación	TS1-1	50	45	3x25+16
Fabricación	TS1-2	43	170	3x95+50
Envase	TS1-3	45	40	3x25+16
Paletizador	TS1-4	55	26	4x16
Fabricación de Harina Pasteurizador	TS1-5	60	41	3x25+16
Fabricación cereales infantiles torre húmeda	TS1-6	70	23	4x16
Fabricación cereales infantiles torre seca	TS1-7	60	19	4x16
Secadores cereales infantiles	TS1-8	70	61	3x50+25
Tablero Envase Cereales Infantiles	TS1-9	55	64	3x35+16
Envase Café	TS1-10	35	140	3x70+35
Fabricación Mixes Café	TS1-11	35	61	3x25+16
Envase Mespak	TS1-12	30	18	4x6
Vuelco de azúcar	TS1-13	35	128	3x70+35
Tablero Gral. Culinarios	TS2-14	65	12	4x10
Tablero Gral. - Planta de tratamiento de efluentes	TS2-15	65	45	3x35+16
Tablero Chiller Amoniaco	TS1-16	45	260	3x150+70
Planta Osmosis	TS1-17	30	90	3x35+16
Compresor Aire Comprimido 1	TS1-18	45	105	3x50+25

Compresor Aire Comprimido 2	TS1-19	40	105	3x50+25
Tablero de Caldera	TS1-20	45	30	4x16
Tablero Agua Potable	TS1-21	30	45	4x16
Deposito Refrigerado	TS2-22	75	37	3x35+16
Tablero Gral. Laboratorio	TS1-23	55	22	4x16
Banco de Capacitores	TS1-24	15	28	4x6
Obradores (Exteriores)	TS2-25	80	12	4x10
Bombas de Incendio	TS1-26	55	15	4x10
Administración	TS1-27	40	18	4x10
SSAA (Tensión Segura)	TS1-28	20	100	3x35+16
Tablero Sector Expedición	TS1-29	70	105	3x50+25
Vuelco de azúcar infantiles	TS1-30	40	358	2x(1x70)+1x70

Tabla 19: Sección definitiva cables seccionales

10.4. Selección de bandejas portacables.

10.4.1. Consideraciones generales y características de bandejas portacables a utilizar.

Siguiendo los lineamientos que la Gerencia impuso para este proyecto, nombrados en el Punto 4.3.2, el tendido de cables seccionales y alimentadores principales es realizado sobre bandejas portacables y las características técnicas según el tipo de conductor / lugar de utilización son las que se muestran en Tabla 20:

Tramo	Material	Tipo
Cables de media tensión y Alimentación TGBT	Acero Galvanizado por inmersión en caliente	Escalera
Cables seccionales	Acero Galvanizado por inmersión en caliente	Perforada
Cables seccionales TS1-2/3/9/10/11/12	Acero Inoxidable	Alambre

Tabla 20: características técnicas bandejas portacables.

Para el caso de los cables seccionales de los tableros TS1-2, TS1-3, TS1-9, TS1-10, TS1-11, TS1-12 se requiere que las bandejas sean de acero inoxidable dado que es una zona denominada “sanitaria” y posee elevada exigencia en cuanto a higiene. Con relación a esto último, el pasaje

de cables de una zona “no sanitaria” a una “sanitaria” se realiza mediante un pasamuros con marco de acero inoxidable y sellos de goma que permite estanqueidad frente a polvo, agua o gases de la marca ROTEX modelo S 6x1/18 PRIMED con capacidad para 12 x cables de diámetro máximo 32.5mm.



Fig. 25: pasamuros para cables marca ROTEX.

10.4.2. Dimensiones de bandejas portacables.

A partir de las secciones de cables calculados bajo los Puntos 9.4, 10.2 y 10.3 se extrae desde catalogo el diámetro total de los mismos para obtener el ancho requerido para cada tramo de bandeja. En la Tabla 21 se relaciona a cada bandeja portacable de la planta con los cables que transportan respectivamente, indicando además la sumatoria de diámetros exteriores aproximados, según lo que el fabricante muestra en sus catálogos.

Como observación, el cable denominado como “Generador” es un cable cuyo cálculo de sección no fue parte de este proyecto, es decir es un cable existente que cumple la función de alimentar las cargas esenciales mediante un generador a combustión. Sin embargo, se tuvo en cuenta para el cálculo de bandejas dado que la bandeja existente fue retirada.

N° de Bandeja	Tablero/Equipo	Conductor (mm ²)	Σ S. Ext. Aprox (mm)	
B1-1	Tablero Chiller Amoniaco	3x150+70	49	
	Tablero Agua Potable	4x16	22	
	SSAA (Tensión Segura) (Nuevo)	3x35+16	28	
	Generador	9x1x150+3x1x150	350	
B1-2	Generador	9x1x150+3x1x150	350	
	Tablero Chiller Amoniaco	3x150+70	49	
B2-1	Tablero Gral. Iluminación	3x25+16	25	
	Fabricación de Harina Pasteurizador	3x25+16	25	
	Fabricación cereales infantiles torre húmeda	4x16	22	
	Fabricación cereales infantiles torre seca	4x16	22	
	Secador cereales infantiles	3x50+25	32	
	Tablero Gral. Culinarios	4x10	20	
	Tablero Gral. - Planta de tratamiento de efluentes	3x35+16	28	
	Planta Osmosis	3x35+16	28	
	Deposito Refrigerado	3x35+16	28	
	Tablero Gral. Laboratorio	4x16	22	
	Obradores (Exteriores)	4x10	20	
B2-2	Tablero Gral. Culinarios	4x10	20	
	Obradores (Exteriores)	4x10	20	
	Deposito Refrigerado	3x35+16	28	
	Tablero Gral. - Planta de tratamiento de efluentes	3x35+16	28	
	Tablero Gral. Iluminación	3x25+16	25	
B2-3	Tablero Gral. Iluminación	3x25+16	25	
	Fabricación cereales infantiles torre húmeda	4x16	22	
	Fabricación cereales infantiles torre seca	4x16	22	
	Secador cereales infantiles	3x50+25	32	
	Tablero Gral. Laboratorio	4x16	22	
	Planta Osmosis	3x35+16	28	
	Paletizador	4x16	22	
B3-1	Vuelco de azúcar	3x70+35	37	
	Banco de Capacitores	4x6	17,9	
	Bombas de Incendio	4x10	20	
	Administración	4x10	20	
	Tablero de Caldera	4x16	22	
	B4-1	Fabricación	3x95+50	41
		Envase	3x25+16	25

	Tablero Envase Cereales Infantiles	3x35+16	28
	Envase Café	3x70+35	37
	Fabricación Mixes Café	3x25+16	25
	Envase Mespac	4x6	17,9
	Compresor Aire Comprimido 1	3x50+25	32
	Compresor Aire Comprimido 2	3x50+25	32
	Bombas de Incendio	4x10	20
B5	Administración	4x10	20
	Tablero de Caldera	4x16	22
B0-1	Alimentación a TGBT	4x1x185+2x1x185	336
BMT-1	Alimentaciones en 33 Kv	6x1x70	240
BMT-2	Alimentación Trafo 1	3x1x70	120
BMT-3	Alimentación Trafo 2	3x1x70	120

Tabla 21: Cables por bandejas.

El mecanismo para el cálculo de dimensiones de cada bandeja consiste en hacer la sumatoria del diámetro exterior de cada cable, considerando que hay una sola capa de los mismos. A esto es necesario adicionar el espacio que ocupan los precintos que fijan cada cable a la bandeja, teniendo en cuenta que cada precinto tiene un espesor de 2 mm. En la Fig. 26 se esquematiza el cálculo de la bandeja B2-1, que posee once cables tetrapolares con sus respectivas separaciones mutuas y también se representa el espacio de reserva.

El valor final de las dimensiones de la bandeja fue seleccionado considerando las dimensiones que comercialmente se consiguen y aplicando un criterio de reserva para cada bandeja, por imprevistos o cables agregados en un futuro tomando un valor del 30% como mínimo en cada una, sujeto a excepciones según criterios técnicos.

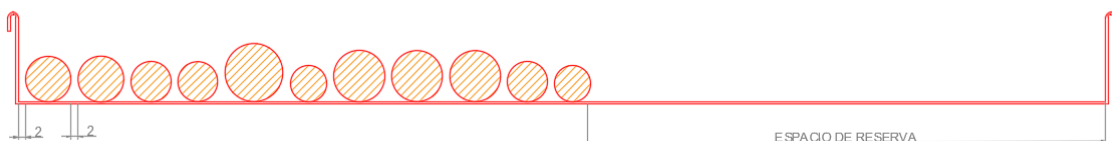


Fig. 26: ejemplo de cálculo bandeja B2-1

En Tabla 22 se desarrolla lo explicado anteriormente para cada bandeja portacable, siendo:

- Dim. Precintos: sumatoria del espacio que ocupa cada precinto en cada cable
- Dim. Real: suma entre “Dim. Precintos” y la sumatoria de diámetros exteriores de cada cable.
- Dim. Comercial: dimensión de bandeja disponible en el mercado, inmediata superior a la “Dim. Real”
- Dim. Libre: dimensión libre para ocupación de otros cables imprevistos o a agregar en un futuro.
- Porcentaje de reserva: representa el espacio libre en la bandeja, se considera un 30% y en los casos que no se cumpla se pasa a la “Dim. Comercial” inmediata superior.

N° de Bandeja	Dim. Precintos (mm)	Dim. Real (mm)	Dim. Comercial (mm)	Dim. Libre (mm)	Porcentaje de Reserva
B1-1	30	479	600	121	20%
B1-2	14	413	600	187	31%
B2-1	22	294	450	156	35%
B2-2	8	104	150	46	31%
B2-3	14	190	300	110	37%
B3-1	12	150,9	300	149,1	50%
B4-1	16	253,9	450	196,1	44%
B5	6	68	100	32	32%
B0-1	20	356	600	244	41%
BMT-1	12	252	450	198	44%
BMT-2	6	126	300	174	58%
BMT-3	6	126	300	174	58%

Tabla 22: cálculo de dimensiones de bandejas portacables

La bandeja B1-1 si bien no cumple con el 30% de espacio de reserva, se consideró dejar el 20% por dos razones: la dimensión máxima comercial es 600 mm y en caso de tener que

aumentar el espacio para llegar al 30% la solución sería agregar una bandeja contigua a esta; y por otro lado el criterio de reserva está relacionado a la incorporación de nuevas cargas en planta y en ese sector específico no hay un proyecto planificado para incrementar la potencia instalada. Por lo tanto, a partir de estas consideraciones, se dispuso junto a la Gerencia dejar solo el 20% de reserva y de ser necesario a futuro, se instalará una nueva bandeja paralela a B1-1 que permita tener más espacio disponible.

11. Selección y diseño del TGBT

El Tablero General de Baja Tensión es el encargado de distribuir cada uno de los cables seccionales que alimentan a los distintos tableros secundarios, alojando la protección contra sobrecargas y cortocircuito, que en este caso se realiza a través de interruptores compactos automáticos dispuestos aguas debajo de las barras principales.

En la Fig. 27 se visualiza un unifilar esquemático para poder distinguir los elementos que forman parte del TGBT. Como interruptores principales de barras se encuentra Q1 y Q2 que están aguas abajo del transformador y del generador respectivamente, los cuales tienen un mecanismo motor que permite obtener una transferencia de carga, y así poder alimentar las cargas mediante un generador en caso de que no haya suministro eléctrico de la red. Si esto último sucede, se puede continuar con los procesos esenciales que el sector operativo considere como tal. Para realizar esta transferencia se instalan los relés K1, K2 y K3 que detectan parámetros de la red como la ausencia de tensión entre otros, y forman parte de las entradas del PLC, que mediante una programación determinada que no es parte del alcance de este proyecto, ejecuta la acción de activar o desactivar el sistema motorizado de los interruptores principales.

La medición de los parámetros eléctricos generales de la alimentación se realiza mediante PM1 y PM2, y además cada uno de los interruptores compactos instalados aguas debajo de las barras tienen una unidad de control que permite tomar mediciones generales de energía, potencia, tensión, corriente etc., comunicando estos parámetros al PLC que procesa la información y la registra en una nube web de acceso restringido para personal de planta. Al mismo tiempo la interfaz HMI permite visualizar in situ dichos parámetros.

Debajo de las barras principales se encuentran los interruptores que protegen ante cortocircuito y sobrecarga todos los cable seccionales que distribuyen energía a cada sector de la planta.

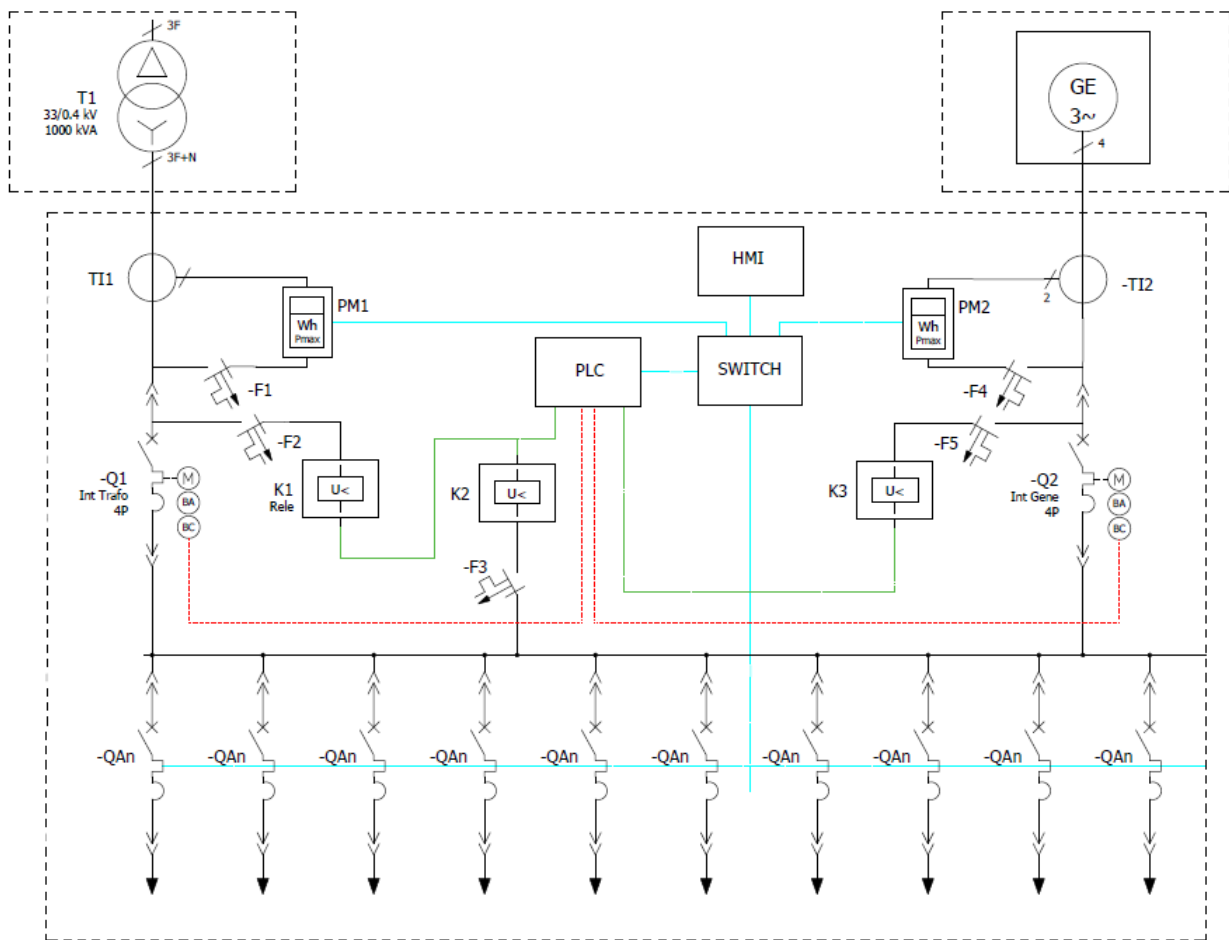


Fig. 27: unifilar esquemático

Proyecto Final de carrera

11.1. Selección de interruptores secundarios.

Para los cables seccionales calculados en el Punto 10.3 se hará la selección de los interruptores secundarios que protegen los mismos.

A continuación, se toma como ejemplo uno de los interruptores y se realiza el cálculo detallado para concluir finalmente en la selección del total de interruptores de la planta.

11.1.1. Cálculo de interruptor “QA03: Fabricación.”

La corriente de proyecto para este caso es de 170 A y el cable seleccionado según los cálculos del Punto 10.3 fue de 3x95+50 mm², el cual tiene una corriente admisible según los factores de corrección de 187,32 A.

Según normativa AEA 90364-7-771 las protecciones de un circuito seccional o terminal tienen que cumplir con las siguientes verificaciones:

Contra sobre carga:

$$1. I_p \leq I_N \leq I_{adm}$$

$$2. I_2 \leq 1,45 \cdot I_{adm}$$

Donde:

I_p : Corriente de proyecto.

I_Z : Corriente admisible por los cables a proteger

I_2 : Corriente que asegure el efectivo funcionamiento del dispositivo de protección

I_n : Corriente asignada o nominal del dispositivo de protección.

Contra cortocircuito:

$$3. P_{dccc} \geq I_k''$$

$$4. \sqrt{t} \geq k \cdot \frac{S}{I}$$

Donde:

P_{dccc} : Capacidad de ruptura del dispositivo de protección

I_k'' : Máxima corriente de cortocircuito presunta.

\sqrt{t} : Duración de la interrupción o tiempo de desconexión en segundos

S : Sección del conductor en mm²

I : Intensidad de corriente de cortocircuito

k : Un factor que toma en cuenta la resistividad, el coeficiente de temperatura y la capacidad térmica volumétrica del conductor, y las temperaturas inicial y final del mismo.

Verificación 1:

$$170 \text{ A} \leq I_N \leq 187,32 \text{ A}$$

ec. (11-1)

Comercialmente no existe un calibre de interruptor que este dentro de estos valores, pero los Compact NSX de la marca Schneider tienen la posibilidad de regular la curva de disparo. Por ello se selecciona un interruptor de calibre 250 A con una unidad de control Micrologic 6E que permite regular hasta el 0,4 de la nominal la corriente de disparo mediante el selector Ir (A) de la Fig. 28, para este caso se regula en 175 A para cumplir con la verificación 1. En caso de ser necesario, también está disponible una regulación fina de 1 A ajustando el valor con las flechas del display.

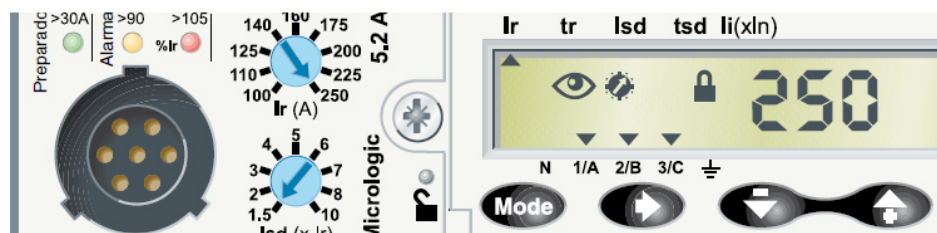


Fig. 28: vista frontal unidad Micrologic Compact NSX 250 A – Schneider.

Verificación 2:

La norma AEA indica que al ser este el caso de un interruptor automático el valor de I_2 es $1,3 \cdot I_N$ y se debe tomar como nominal el valor de regulación, siendo:

$$1,3 \cdot I_{nom} \leq 1,45 \cdot I_{adm} \qquad \text{ec. (11-2)}$$

$$1,3 \cdot 175 \leq 1,45 \cdot 187,32 \qquad \text{ec. (11-3)}$$

$$227,5 \leq 271,61$$

Con lo cual se cumple con la verificación 2.

Verificación 3:

Esta verificación se cumple para todos los interruptores automáticos dado que la gama NSX seleccionada viene comercialmente con un valor mínimo de 36 kA de P_{dccc} y la corriente presunta en las barras principales del TGBT es 22,18 kA, según lo calculado en el Punto 8.3, lo que implica que siempre el poder de corte de los interruptores sea mayor a la corriente presunta.

En la Fig. 29 se extrae una imagen que el fabricante indica en su catálogo, donde se clasifica a los interruptores según su poder de corte. Para este caso se seleccionan los del “Tipo F” con 36 kA de poder de corte.

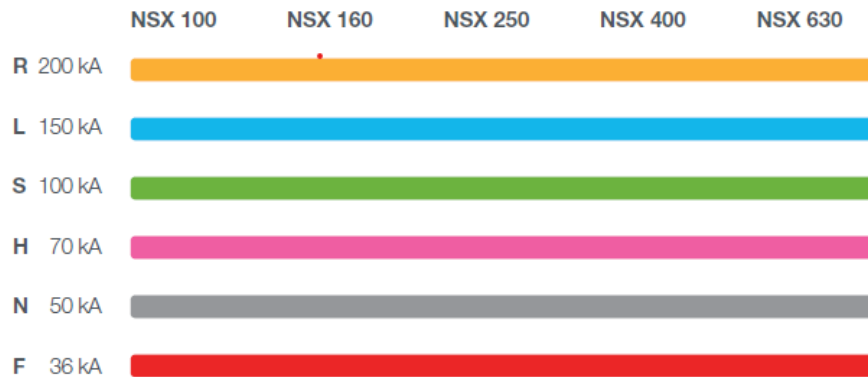


Fig. 29: niveles de poder de corte de los interruptores NSX,

Verificación 4:

El valor de $I^2 \cdot t$ para la verificación por tiempo de corte se extrae de la curva de limitación de energía (Fig. 30) que el fabricante indica en catálogo, usando el valor de la corriente presunta de cortocircuito 22,18 kA (ver Fig. 30).

Al ser el cable de XLPE el factor k usado es 143 y de esta manera se verifica la ecuación 4 dado que el interruptor es limitador de la corriente de cortocircuito.

$$k^2 \cdot S^2 \geq I^2 \cdot t \tag{ec. (11-4)}$$

$$143^2 \cdot 95^2 \geq 5 \times 10^5 \tag{ec. (11-5)}$$

$$1845 \times 10^5 \geq 5 \times 10^5$$

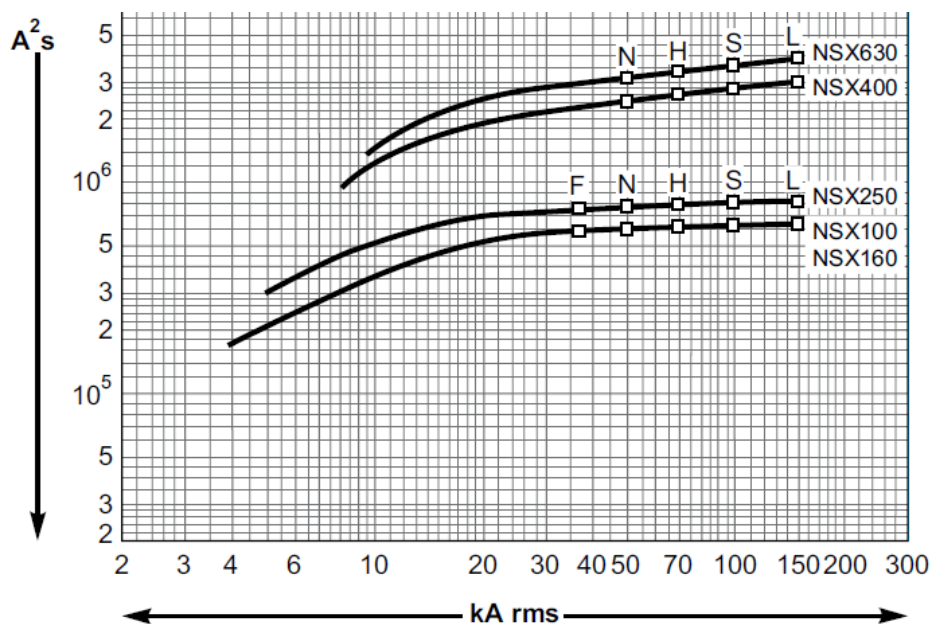


Fig. 30: limitación de energía interruptores compact NSX

11.1.2. Cálculo de la totalidad de interruptores seccionales de la instalación.

Siguiendo el procedimiento del Punto 11.1.1 se realiza la selección de cada uno de los interruptores compactos de planta en la Tabla 23:

Tag Interruptor	Tag Tablero	I Proy (A)	I adm	Calibre	Cap de Corte	Unidad de Protección	Reg Min (%Ir)	Reg Max (%Ir)
Q1	TGBT	1237,8	1638,00	NS1600	50 kA	Mic 6.2E	77%	100%
Q2	TGBT	800	1075,54	NS1000	50 kA	Mic 6.2E	80%	100%

QA01	TS1-1	45	79,49	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	45%	79%
QA02	TS1-2	170	187,32	NSX250	36 kA	Mic 6.2E	68%	75%
QA03	TS1-3	40	79,49	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	40%	79%
QA04	TS1-4	26	65,52	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	26%	66%
QA05	TS1-5	41	79,49	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	41%	79%
QA06	TS1-6	23	62,90	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	23%	63%
QA07	TS1-7	19	62,90	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	19%	63%
QA08	TS1-8	61	120,96	NSX160	36 kA	Mic 6.2E	38%	76%
QA09	TS1-9	64	99,53	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	64%	100%
QA10	TS1-10	140	154,83	NSX160	36 kA	Mic 6.2E	88%	97%
QA11	TS1-11	61	79,49	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	61%	79%
QA12	TS1-12	18	33,87	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	18%	34%
QA13	TS1-13	128	161,28	NSX160	36 kA	Mic 6.2E	80%	100%
QA14	TS2-14	12	47,00	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	12%	47%
QA15	TS2-15	45	99,53	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	45%	100%
QA16	TS1-16	260	268,33	NSX400	36 kA	Mic 6.2E	65%	67%
QA17	TS1-17	90	99,53	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	90%	100%
QA18	TS1-18	105	120,96	NSX160	36 kA	Mic 6.2E	66%	76%
QA19	TS1-19	105	120,96	NSX160	36 kA	Mic 6.2E	66%	76%
QA20	TS1-20	30	65,52	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	30%	66%
QA21	TS1-21	45	67,27	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	45%	67%
QA22	TS2-22	37	99,53	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	37%	100%
QA23	TS1-23	22	62,90	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	22%	63%
QA24	TS1-24	28	35,28	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	28%	35%
QA25	TS2-25	12	47,00	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	12%	47%
QA26	TS1-26	15	48,96	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	15%	49%
QA27	TS1-27	18	48,96	NSX100	36 kA	Mic 6.2E	18%	49%
QA28	TS1-28	249	268,33	NSX250	36 kA	Mic 6.2E	100%	100%
QA29	TS1-29	105	187,32	NSX160	36 kA	Mic 6.2E	66%	100%
QA30	TS1-30	358	459,78	NSX400	36 kA	Mic 6.2E	90%	100%

Tabla 23: Cálculo de protección de alimentadores

Consideraciones:

- La corriente de proyecto de Q1 es la calculada en el Punto 5.2 teniendo en cuenta los factores de simultaneidad correspondientes para cada caso.

- El interruptor Q2 corresponde al generador existente que alimenta las cargas esenciales frente a una ausencia de energía en la red. Según placa del mismo, entrega 800 A de corriente máxima y es lo que se consideró como corriente de proyecto.

- Tanto Q1 como Q2, corresponden a la gama de interruptores de Schneider “NS” dado que la gama NSX solo abarca hasta interruptores de 630 A. El modelo NS tiene como mínimo una capacidad de corte de 50 kA y es lo seleccionado para este caso dado que cumple ampliamente con las condiciones de este proyecto.

Los interruptores automáticos seleccionados tienen las siguientes características generales:

Características NSX		
Marca	Schneider	
Modelo	NSX	
Tensión asignada de empleo	690	V
Corriente nominal (a 40°C)	100-630	A
Poder de corte	36	kA
Protección contra sobrecarga y cortocircuito	Tipo electrónica	
Protección electrónica	Micrologic 6.2 E	
Medición: Micrologic 6.2 E		
Medición de corriente	fase y neutro	
Corriente media de las tres fases		
Corriente máxima de las tres fases		
Corriente de defecto a tierra		
Tensiones	Entre fases Fase-neutro	
Frecuencia		
Potencia activa, reactiva, aparente y cos fi		
Contador de funcionamiento, control y alarma		
Perfil de carga		
Zócalo	Extraíble	
Largo / Ancho / Profundidad (100-250A)	105x161x86	mm
Largo / Ancho / Profundidad (250-630A)	140x255x110	mm

Tabla 24: características de los interruptores compactos gama NSX.

Características NS		
Marca	Schneider	

Modelo	NS	
Tensión asignada de empleo	690	V
Corriente nominal (a 40°C)	630-3200	A
Poder de corte	50	kA
Protección contra sobrecarga y cortocircuito	Tipo electrónica	
Protección electrónica	Micrologic 6.2 E	
Medición: Micrologic 6.2 E		
Medición de corriente	fase y neutro	
Corriente media de las tres fases		
Corriente máxima de las tres fases		
Corriente de defecto a tierra		
Tensiones	Entre fases Fase-neutro	
Frecuencia		
Potencia activa, reactiva, aparente y cos fi		
Contador de funcionamiento, control y alarma		
Perfil de carga		
Zócalo	Extraíble	
Largo / Ancho / Profundidad (630-1600A)	327x210x147	mm
Largo / Ancho / Profundidad (1600-3200A)	350x535x160	mm

Tabla 25: Características interruptores compactos gama NS.

Estructuralmente este tipo de tableros se caracteriza por ser armables, según las necesidades de cada proyecto, es por ello que constructivamente el TGBT en este caso está compuesto por siete columnas que la gama del producto ofrece unidas entre sí, donde cada una de ellas alojan las respectivas protecciones.

Para comprender la ubicación de los interruptores y para poder tener un diseño preciso del TGBT, a modo esquemático se puede ver en la Fig. 31 el detalle constructivo de dicho tablero.

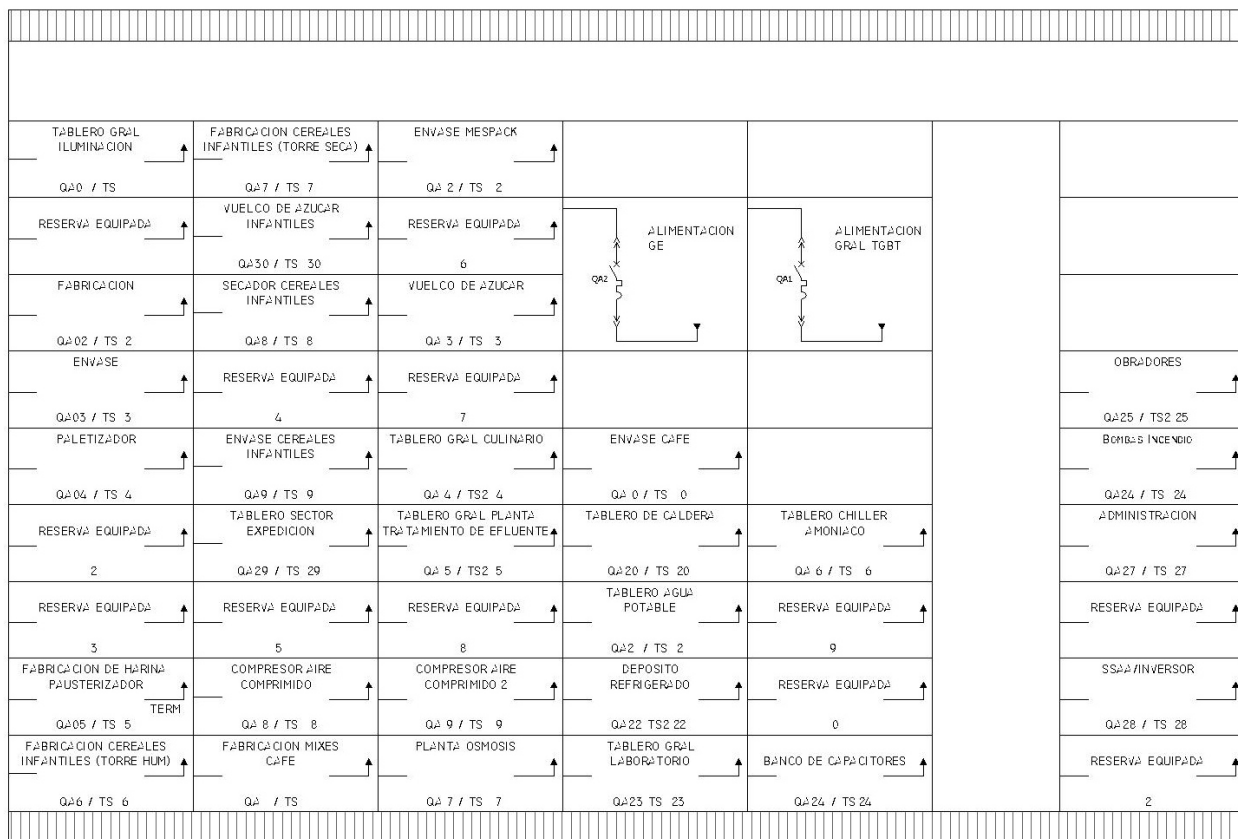


Fig. 31: Esquemático TGBT.

Cada cubicle del esquema representa a cada interruptor del TGBT, especifica el nombre del tablero al cual alimenta y su nomenclatura como así también la nomenclatura del interruptor. Los cubicles sin nombre son espacios de reserva y se pueden utilizar a futuro en caso de ser necesario pero no poseen protección alguna, solo se encuentra disponible el espacio físico, en cambio, los cubicles de reserva equipada ya poseen una protección especificada en el Punto 5.2.

Características Gabinete

Marca	Schneider
Modelo	Okken
Estructura	Galvanizado
Grado de Protección	IP 41
Instalación	Interior kA
Altitud	< 2000m

Temp sala promedio	40°C
Ampliación futura	Derecha/Izquierda
Acometida cables potencia	Superior
Acometida cables control	Superior
Tensión nominal	400V
Frecuencia Nominal	50 Hz
Corriente nominal	1480 A
Corriente de cortocircuito	70 kA rms en 1 seg
Corriente nominal de pico soportada	154 kA
Sistema de tierra	TNS 3P+1/2N
Borneras	Tornillo
Norma	IEC 61439-1-2
Tensión Auxiliar	220 VAC

Tabla 26: Características constructivas y eléctricas gabinete TGBT.

12. Calculo y diseño del sistema de Puesta a Tierra.

Siguiendo los lineamientos que la norma IEEE 80-2000 indica en su Punto 16.4 “Design procedure”, se procede a diseñar la malla de puesta a tierra.

12.1. Área de emplazamiento de la malla de P.A.T.

Los valores de resistividad especifica medidos en campo arrojaron valores menores a los 50 [Ω .m] pero se adopta $\rho = 50$ [Ω .m] para ejecutar un cálculo más conservador.

12.2. Sección del conductor de P.A.T.

Para el cálculo de la sección del cable de puesta a tierra es necesario utilizar como parámetro el valor máximo de la corriente de cortocircuito en el lado de media tensión, hallado en ec. (8-3), la cual tiene una magnitud de 5,25 [kA]; y además deberá utilizarse el tiempo de actuación de las protecciones, el cual se adopta de manera conservadora un valor de 1 [s].

$$S_{min} = I_f \cdot \sqrt{\frac{tc \cdot ar \cdot pr \cdot 10^4}{TCAP \cdot \ln\left[1 + \frac{Tm - Ta}{Ko + Ta}\right]}} \quad ec. (12-1)$$

Donde:

I_f : valor eficaz de la corriente de falla [kA]

T_m : máxima temperatura admisible del conductor [°C]

T_a : temperatura ambiente [°C]

tc : tiempo de actuación de las protecciones [s]

pr : resistividad del conductor de tierra [$\mu\Omega/cm$]

αr : coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia T_a

$TCAP$: coeficiente de capacidad térmica

Ko : la inversa del coeficiente térmico de resistividad a 0 [°C]

Los valores de αr , pr , $TCAP$ y Ko se obtienen de la Tabla 1 de la norma, para un conductor de cobre recocido.

Nota: El valor de T_m se extrae de Tabla “Constante de Materiales” de la normativa IEE 80-2000 y para este caso el cable a utilizar es cobre comercial, existiendo dos valores posibles a adoptar: el primero considera una temperatura máxima admisible de 1083 °C y el segundo una temperatura de 250 °C. El segundo valor es mucho más conservador porque considera el hecho de que el cable está solicitado mecánicamente, con lo cual sería prudente no exceder los 250 °C para no generar un recocido del material. En definitiva, como en este caso no hay solicitudes mecánicas se utiliza una temperatura máxima admisible del conductor igual a 1083 °C.

$$S_{min} = 5,248 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 0,00393 \cdot 1,72 \cdot 10^4}{3,42 \cdot \ln\left[1 + \frac{1083 - 40}{234 + 40}\right]}} = 18,62 [mm^2] \quad ec. (12-2)$$

El cable utilizado para la puesta a tierra será de sección 25 [mm²], dado que es la sección inmediata superior que se consigue comercialmente.

12.3. Tensiones máximas admisibles de contacto y de paso.

El punto 6.1 de la Std. 80-2000 define que el límite de corriente a 50 o 60 Hz que tolera la mayoría de las personas es la que rige la siguiente fórmula:

$$Ib = \frac{0,116}{\sqrt{ts}} \quad ec. (12-3)$$

Donde ts es la duración de circulación de corriente por una persona.

Las expresiones de las tensiones de contacto y de paso responden a las fórmulas:

$$Emax - contacto = Ib \cdot \left(Rb + \frac{Rf}{2} \right) \quad ec. (12-4)$$

$$Emax - paso = Ib \cdot (Rb + 2 \cdot Rf) \quad ec. (12-5)$$

Donde Rb es la resistencia del cuerpo humano y se adopta un valor de 1000 [Ω] según el punto 7.1 de la norma, y Rf es la resistencia de tierra de un solo pie.

$$Rf = \frac{\rho_s}{4 \cdot b} \cdot Cs \quad ec. (12-6)$$

Donde:

b : radio de un disco de 0,08 m que representa un pie

ρ_s : resistividad superficial [Ωm]

hs : espesor de la capa [m]

Cs es un factor que depende de las resistividades del suelo y de la superficie del piso de la playa y del espesor de dicha superficie.

$$Cs = 1 - 0,09 \cdot \left[\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2 \cdot hs + 0,09} \right] \quad ec. (12-7)$$

Considerando una capa de piedra de cemento de 10 cm de espesor con una $\rho_s = 4000 (\Omega.m)$, obtenemos el respectivo valor de C_s :

$$C_s = 1 - 0,09 \cdot \left[\frac{1 - \frac{50}{4000}}{2,0,1 + 0,09} \right] = 0,7 \quad \text{ec. (12-8)}$$

Entonces las tensiones de paso y de contacto máximas resultan:

$$E_{max} - \text{contacto} = \frac{0,116}{\sqrt{ts}} \cdot (Rb + 1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \quad \text{ec. (12-9)}$$

$$E_{max} - \text{contacto} = \frac{0,116}{\sqrt{0,5}} \cdot (1000 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 4000) = 853,05 [V] \quad \text{ec. (12-10)}$$

$$E_{max} - \text{paso} = \frac{0,116}{\sqrt{ts}} \cdot (Rb + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \quad \text{ec. (12-11)}$$

$$E_{max} - \text{paso} = \frac{0,116}{\sqrt{1}} \cdot (1000 + 6 \cdot 0,7 \cdot 4000) = 2064,8 [V] \quad \text{ec. (12-12)}$$

12.4. Diseño de la malla de Puesta a Tierra.

Constructivamente la malla está formada por cable desnudo de Cu IRAM 2467 de sección 25 [mm²] y tendrá las dimensiones y la disposición que indica la Fig. 32, con una profundidad de 0,9 [m].

A su vez, se agrega a la malla un sistema de jabalinas de cobre IRAM 2309/01 de 12,6 x 6000 [mm] con una distribución de 10 jabalinas en la periferia y 5 en el interior de la malla.

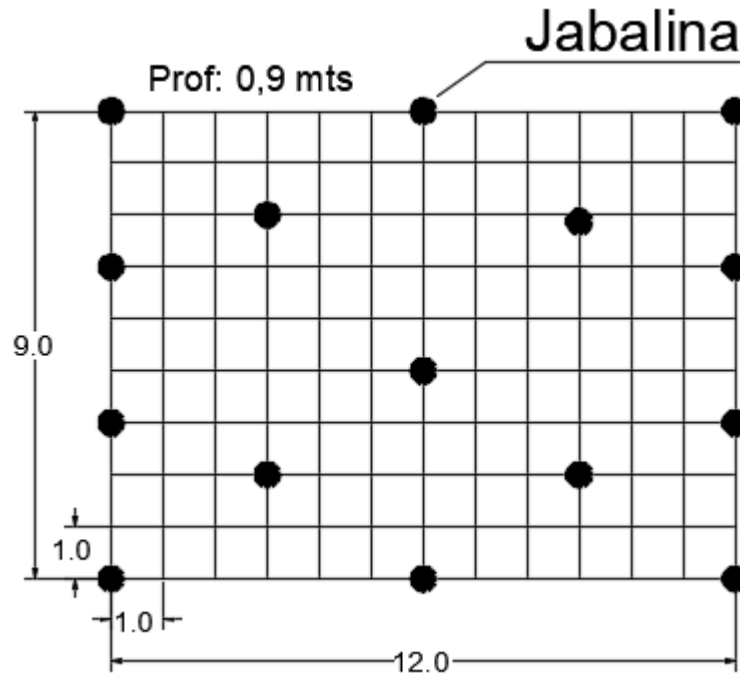


Fig. 32: Diseño Malla PAT

12.5. Cálculo de la resistencia de puesta a tierra.

Mediante la ecuación de Schwarz en este apartado se realiza el cálculo de la resistencia de puesta a tierra que posee el conjunto malla – jabalinas.

$$Rg = \frac{R1.R2 - Rm^2}{R1 + R2 - 2Rm} \quad \text{ec. (12-13)}$$

Donde:

R1: resistencia de la malla [Ω]

R2: resistencia de las jabalinas [Ω]

Rm: resistencia mutua entre malla y jabalinas [Ω]

$$R1 = \frac{\rho}{\pi.l1} \cdot \left[\ln \left(\frac{2.l1}{h'} \right) + K1 \cdot \left(\frac{l1}{\sqrt{A}} \right) - K2 \right] \quad \text{ec. (12-14)}$$

$$R2 = \frac{\rho}{2.n.\pi.l2} \cdot \left[\ln \left(\frac{8.l2}{d2} \right) - 1 + 2 \cdot K1 \cdot \left(\frac{l2}{\sqrt{A}} \right) \cdot (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \quad \text{ec. (12-15)}$$

$$Rm = \frac{\rho}{\pi \cdot l1} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l1}{l2} \right) + K1 \cdot \left(\frac{l1}{\sqrt{A}} \right) - K2 + 1 \right] \quad \text{ec. (12-16)}$$

Donde:

ρ : resistividad del suelo [$\Omega \cdot m$]

$l1$: largo total de los conductores de la malla [m]

a : lado corto de la red de malla.

b : lado largo de la red de malla.

$$l1 = a \cdot 10 + b \cdot 13 = 237 \text{ [m]} \quad \text{ec. (12-17)}$$

$l2$: largo promedio de una jabalina [m]

h : profundidad de la malla [m]

$h' = \sqrt{d1 \cdot h}$ para conductores enterrados a una profundidad h [m]

$$h' = \sqrt{0,007 \cdot 0,9} = 0,0793 \text{ [m]} \quad \text{ec. (12-18)}$$

A : el área cubierta por la red de malla [m^2], de dimensiones $a \cdot b$

$$A = a \cdot b = 9 \cdot 12 = 108 \text{ m}^2 \quad \text{ec. (12-19)}$$

n : número de jabalinas dentro de la red de malla

$K1$ y $K2$: constantes relacionadas a la geometría del sistema de malla; según curva B de

la norma $K1=1,13$ y $K2=4,81$

$d1$: diámetro de los conductores de la red de malla [m]

$d2$: diámetro de las jabalinas [m]

$$R1 = \frac{50}{\pi \cdot 237} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 237}{0,0793} \right) + 1,13 \cdot \left(\frac{237}{\sqrt{108}} \right) - 4,81 \right] = 1,99 \text{ [\Omega]} \quad \text{ec. (12-20)}$$

$$R2 = \frac{50}{2 \cdot 15 \cdot \pi \cdot 6} \cdot \left[\ln \left(\frac{8 \cdot 6}{0,0126} \right) - 1 + 2 \cdot 1,13 \cdot \left(\frac{6}{\sqrt{108}} \right) \cdot (\sqrt{15} - 1)^2 \right] = 1,62 \text{ [\Omega]} \quad \text{ec. (12-21)}$$

$$R_m = \frac{50}{\pi \cdot 237} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 237}{6} \right) + 1,13 \cdot \left(\frac{237}{\sqrt{108}} \right) - 4,81 + 1 \right] = 1,77 [\Omega] \quad \text{ec. (12-22)}$$

$$R_g = \frac{1,99 \cdot 1,62 - 1,77^2}{1,99 + 1,62 - 2 \cdot 1,77} = 1,33 [\Omega] \quad \text{ec. (12-23)}$$

Según la AEA 95401 “Reglamento Centros de Transformación y suministros en M.T” el valor de máximo de resistencia de puesta a tierra en una subestación eléctrica debe ser de 2 $[\Omega]$ por lo que en este caso los valores de resistencia de la malla de PAT son aceptables.

12.6. Cálculo de la máxima corriente de falla a tierra.

La norma IEE 80-2000 especifica una serie de pasos y cálculos para determinar la máxima corriente de falla que circulará por la malla, lo que daría como resultado una corriente de falla menor a la que se calculó anteriormente pero más real. Esta corriente es necesaria para realizar los cálculos de tensión de paso y de contacto, pero para este caso se hará un cálculo conservador, es decir se utilizará como corriente máxima de falla la que se calculó en ec. (8-3).

12.7. Máxima tensión de contacto.

$$E_{\text{contacto}} = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_m} \quad \text{ec. (12-24)}$$

Donde:

ρ : resistividad del suelo $[\Omega \cdot m]$

I_G : corriente de falla $[A]$

K_m : factor geométrico

K_i : factor de corrección por irregularidad

L_m : longitud efectiva para la tensión de la malla $[m]$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n \quad \text{ec. (12-25)}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d_1} + \frac{(D+2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d_1} - \frac{h}{4 \cdot d_1} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi \cdot (2 \cdot n - 1)} \right] \right] \quad \text{ec. (12-26)}$$

$$L_m = l_1 + \left[1,55 + 1,22 \cdot \left(\frac{l_2}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right) \right] \cdot L_2 \quad \text{ec. (12-27)}$$

Donde:

D: espacio entre conductores en paralelo [m], en este caso D=1

d1: diámetro de los conductores de malla [m], en este caso d=0,007

h: profundidad de enterrado de los conductores de malla [m], en este caso h=0,9 [m]

Kii: para este caso la malla contiene jabalinas en su perímetro y dentro de ella, así que para este caso Kii=1

$$K_h = \sqrt{(1 + h)} = \sqrt{(1 + 0,9)} = 1,38 \quad \text{ec. (12-28)}$$

l1: largo total de los conductores de la malla [m], calculado en ec. (12-17).

l2: largo promedio de una jabalina, para este caso l1=6 [m]

L2: longitud total del sistema de jabalinas, en este caso L2 = 15 · 6 = 90 [m]

a: máxima longitud lado x, en este caso 12 [m]

b: máxima longitud lado y, en este caso 9 [m]

n'': número efectivo de conductores en paralelo

$$n'' = \frac{2 \cdot l_1}{l_p} \cdot \sqrt{\frac{l_p}{4 \cdot \sqrt{A}}} = \frac{2 \cdot 237}{42} \cdot \sqrt{\frac{42}{4 \cdot \sqrt{108}}} = 11,34 [m] \quad \text{ec. (12-29)}$$

lp: perímetro de la malla en [m], en este caso es 42 [m]

A: área de la malla en [m], en este caso 108 [m²]

Entonces, resulta:

$$Km = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[\frac{1^2}{16 \cdot 0,9 \cdot 0,007} + \frac{(1+2 \cdot 0,9)^2}{8 \cdot 1 \cdot 0,007} - \frac{0,9}{4 \cdot 0,007} \right] + \frac{1}{1,38} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi \cdot (2 \cdot 11,34 - 1)} \right] \right\} =$$

ec. (12-30)

$$Km = 0,58$$

$$Ki = 0,644 + 0,148 \cdot n = 0,644 + 0,148 \cdot 11,34 = 2,32$$

ec. (12-31)

$$Lm = l1 + \left[1,55 + 1,22 \cdot \left(\frac{l2}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right) \right] \cdot L2$$

ec. (12-32)

$$Lm = 237 + \left[1,55 + 1,22 \cdot \left(\frac{6}{\sqrt{12^2 + 9^2}} \right) \right] \cdot 90 = 420,42 [m]$$

Y finalmente, reemplazando los valores obtenidos, la tensión de contacto resulta:

$$E_{contacto} = \frac{50 \cdot 5248 \cdot 0,58 \cdot 2,32}{420,42} = 842,30 [V]$$

ec. (12-33)

El valor obtenido resulta menor a la tensión de contacto máxima calculada en la ec. (12-10)

así que no es necesario modificar el diseño de la malla.

12.8. Máxima tensión de paso.

$$E_{paso} = \frac{\rho \cdot JG \cdot Ks \cdot Ki}{Ls}$$

ec. (12-34)

Donde:

Ls: longitud efectiva para el cálculo de tensión de paso.

$$Ls = 0,75 \cdot Lc + 0,85 \cdot LR = 254,25 [m]$$

ec. (12-35)

$$Ks = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] = 0,66$$

ec. (12-36)

Y finalmente, reemplazando los valores obtenidos, la tensión de paso resulta:

$$E_{paso} = \frac{50 \cdot 5248 \cdot 0,66 \cdot 2,32}{254,25} = 1588,60 [V] \quad \text{ec. (12-37)}$$

El valor obtenido resulta menor a la tensión de paso máxima calculada en la ec. (12-12) así que no es necesario modificar el diseño de la malla.

13. Presupuesto

A continuación, se detalla el presupuesto general del proyecto, discriminado en materiales y mano de obra, y a su vez subdividido en grupos según el rubro (transformador, celdas, alimentadores, etc).

Teniendo en cuenta las condiciones macroeconómicas del país, todos los valores de este proyecto se encuentran en dólares estadounidenses a la fecha de su confección.

13.1. Presupuesto de materiales.

13.1.1. Transformadores.

En Tabla 27 se muestra el computo de materiales necesarios para la instalación de dos transformadores secos de 1000 kVA, con su respectiva instalación eléctrica para alimentar el primario con 33 kV.

Descripción	Cant.	Un.	Costo Unitario + IVA (USD)	Subtotal + IVA (USD)
Transformador y alimentación				
Transformador Epoxi 33 - 0,4 kV $\pm 2 \times 2,5\%$ - 1000 kVA	2	c/u	20.500,00	41.000
Sonda temperatura PT100	3	c/u	110,00	330
Central de Temperatura	1	c/u	1.250,00	1.250
Cable Subt 33kV AL-XLPE apantallado 1x70 mm ²	140	mts	50,00	7.000
Aisladores terminales termoretractil 33 kV- p/interior	4	c/u	500,00	2.000
Bandeja Esc Tramo Recto 300 mm x 3 mts	13	c/u	65,35	849
Bandeja Esc Curva horizontal 300 mm	1	c/u	29,69	30

Bandeja Esc Union Tee 300 mm	4	c/u	51,63	207
Bandeja Esc Curva vertical 300 mm	8	c/u	43,74	350
Cupla de union completa para bandeja escalera c/bulón	50	c/u	0,44	22
Soporte Band con hierro ángulo 1x1/8" (barra de 6m)	3	c/u	16,53	50
Precintos 200mmx100u	10	c/u	7,11	71
Precintos 300mmx100u	10	c/u	12,04	120
Subtotal de materiales				53.279

Tabla 27: Presupuesto materiales – Transformadores

13.1.2. Tablero General de Baja Tensión (TGBT).

En Tabla 28 se muestra el computo de materiales necesarios para la instalación del tablero de baja tensión general, con sus respectivos interruptores automáticos.

Descripción	Cant.	Un.	Costo Unitario + IVA (USD)	Subtotal + IVA (USD)
Tablero General de Baja Tensión				
Int automático NSX100 36 kA Mic 6.2E	20	c/u	338,94	6.779
Int automático NSX160 36 kA Mic 6.2E	6	c/u	907,57	5.445
Int automático NSX250 36 kA Mic 6.2E	2	c/u	998,33	1.997
Int automático NSX400 36 kA Mic 6.2E	2	c/u	1.197,99	2.396
Int automático NS1000 50 kA Mic 6.2E	1	c/u	1.796,99	1.797
Int automático NS1600 50 kA Mic 6.2E	1	c/u	2.695,49	2.695
Relé de mínima tensión	3	c/u	47,92	144
Power Meter	2	c/u	686,39	1.373
Motor para interruptor	2	c/u	1.195,27	2.391
Bobina de apertura y cierre p/ int NS	2	c/u	308,88	618
TI 1600/5 A	2	c/u	167,70	335
Broca química kit	30	c/u	111,87	3.356
Tablero BlokSeT evo - 6 cubicles (incl. Barras de cobre, circuito de control, borneras, sistema interno de pat, PLC)	1	c/u	80.547,38	80.547
Subtotal de materiales				109.873

Tabla 28: Presupuesto materiales – TGBT.

13.1.3. Celdas de Media Tensión

En Tabla 29 se muestra el computo de materiales necesarios para la instalación del conjunto de celdas de media tensión con tres cuerpos.

Descripción	Cant.	Un.	Costo Unitario + IVA (USD)	Subtotal + IVA (USD)
Celdas de Media tensión				
Celdas de M.T AD6 - Salida	2	c/u	46.545,15	93.090
Celdas de M.T AL6 - Entrada con medición	1	c/u	16.427,70	16.428
Servicios de asistencia	1	c/u	1.980,00	1.980
Subtotal de materiales				111.498

Tabla 29: Presupuesto materiales – Celdas MT.

13.1.4. Alimentadores Tableros Secundarios

En Tabla 30 se muestra el computo de materiales necesarios para la instalación de todos los alimentadores en planta que brindan energía a cada uno de los tableros secundarios.

Descripción	Cant.	Un.	Costo Unitario + IVA (USD)	Subtotal + IVA (USD)
Alimentadores Tableros Secundarios				
Cable Subt. 4x6 mm ²	45	c/u	14,44	650
Cable Subt. 4x10 mm ²	240	c/u	22,75	5.461
Cable Subt. 4x16 mm ²	315	c/u	36,34	11.446
Cable Subt. 3x25+16 mm ²	190	c/u	54,96	10.443
Cable Subt. 3x35+16 mm ²	245	c/u	69,63	17.060
Cable Subt. 3x50+25 mm ²	225	c/u	93,52	21.042
Cable Subt. 3x70+35 mm ²	70	c/u	94,45	6.612
Cable Subt. 3x95+50 mm ²	43	c/u	181,49	7.804
Cable Subt. 3x150+70 mm ²	45	c/u	339,63	15.283
Cable Subt. 1x70 mm ²	120	c/u	39,20	4.704
Band perf tramo recto 600 mm x 3 mts	37	c/u	86,52	3.201
Band perf tramo recto 450 mm x 3 mts	66	c/u	69,24	4.570
Band perf tramo recto 300 mm x 3 mts	53	c/u	40,76	2.160
Band perf tramo recto 150 mm x 3 mts	5	c/u	27,21	136
Band perf tramo recto 100 mm x 3 mts	20	c/u	22,66	453
Band perf curva horizontal 600 mm	4	c/u	34,62	138
Band perf curva vertical 600 mm	6	c/u	53,38	320
Band perf curva horizontal 450 mm	1	c/u	24,52	25
Band perf curva vertical 450 mm	4	c/u	49,87	199

Band perf curva horizontal 300 mm	2	c/u	11,69	23
Band perf curva vertical 300 mm	6	c/u	45,27	272
Band perf curva horizontal 150 mm	1	c/u	7,13	7
Band perf curva vertical 150 mm	2	c/u	41,69	83
Hierro ángulo 1"x1/8" soporte bandejas	350	mts	16,00	5.600
Terminal ojal 16mm ²	25	C/U	0,80	20
Terminal ojal 25mm ²	90	C/U	1,46	131
Terminal ojal 35mm ²	20	C/U	1,70	34
Terminal ojal 50mm ²	70	C/U	1,95	136
Terminal ojal 95mm ²	35	C/U	4,49	157
Terminal ojal 185mm ²	8	C/U	9,75	78
Roxtec para ingreso 6 conductores diametro D60 mm	1	C/U	550,00	550
Roxtec para ingreso 12 conductores diametro D60 mm	1	C/U	680,00	680
Band sanitaria ac inox tramo recto 450 mm x 3 mts	10	C/U	251,46	2.515
Subtotal de materiales				121.995

Tabla 30: Presupuesto materiales – Alimentación Tableros Secundarios.

13.1.5. Sistema de Puesta Tierra

En Tabla 31 se muestra el computo de materiales necesarios para la instalación del sistema del puesta a tierra de la estación de rebaje.

Descripción	Cant.	Un.	Costo Unitario + IVA (USD)	Subtotal + IVA (USD)
Sistema de Puesta a Tierra				
Jabalina lisa JL 14 3000 x 1/2" acero-cobre	30	c/u	54,76	1.643
Cable desnudo de cobre para PAT 25 mm ²	250	mts	8,53	2.132
Caja de inspección PAT fundición 250X250X100	15	c/u	53,59	804
Grampa C unión cable-cable 25 mm ²	150	c/u	4,03	605
Grampa G unión cable-jabalina	30	c/u	6,42	192
Subtotal de materiales				5.376

Tabla 31: Presupuesto materiales – Sistema de PAT.

13.1.6. Circuitos Auxiliares y Materiales Complementarios

En Tabla 32 se muestra el computo de materiales menores para la conexión de circuitos auxiliares, armados de tableros, conexión de control, alarmas, etc.

Descripción	Cant.	Un.	Costo Unitario + IVA (USD)	Subtotal + IVA (USD)
Circuitos Auxiliares y Materiales Complementarios				
Transformador 380/24 VAC - 300VA	2	C/U	55,74	111
Repartidor tetrapolar 250A - 15 salidas - profesional	2	C/U	224,59	449
Rele 4 inversor 24 VAC	5	C/U	8,96	45
Zocalo rele 4INV	5	C/U	4,55	23
Portafusible c/fusible 2A	3	C/U	5,55	17
Alarma campana 24VAC	1	C/U	29,19	29
Piloto luminoso 24VAC	4	C/U	11	150
Piloto luminoso 220VAC	15	C/U	17	979
Selectora 0-1	5	C/U	43,61	218
Bornera 2,5 mm2	100	C/U	0,46	46
Puente fijo 10 elementos p/ 2,5 mm2	10	C/U	3,47	35
Extremo bornera	20	C/U	0,39	8
Separador bornera	60	C/U	0,19	11
Riel DIN	10	mts	2,66	27
Cable canal ranurado 40x80 mm	30	mts	3,71	111
Prensacable PVC 1"	50	C/U	0,63	31
Cable subt 4x16 mm2	20	mts	36,34	727
Cable subt 5x2,5 mm2	20	mts	9,72	194
Precinto 300 mm	5	C/U	4,80	24
Precinto 200 mm	5	C/U	2,48	12
Numerador ICAB	10	C/U	4,29	43
Cinta helicoidal	5	mts	1,94	10
Cable unipolar 2,5 mm2	200	mts	0,86	173
Cable unipolar 1 mm2	500	mts	0,39	196
Puntera 1 mm2	300	C/U	0,01	3
Puntera 2.5 mm2	500	C/U	0,01	5
Subtotal de materiales				2.847

Tabla 32: Presupuesto materiales – Circuitos Auxiliares.

Siendo un total de USD 294.995 (dólares: doscientos noventa y cuatro mil novecientos noventa y cinco) en materiales para la ejecución del proyecto.

En la Fig. 33 se muestra el porcentaje de gastos en materiales según el rubro. El trabajo en las celdas, en los alimentadores y en el TGBT son los más significantes del proyecto y además

los mismos se encuentran con un presupuesto similar en porcentaje (alrededor del 30% cada uno).

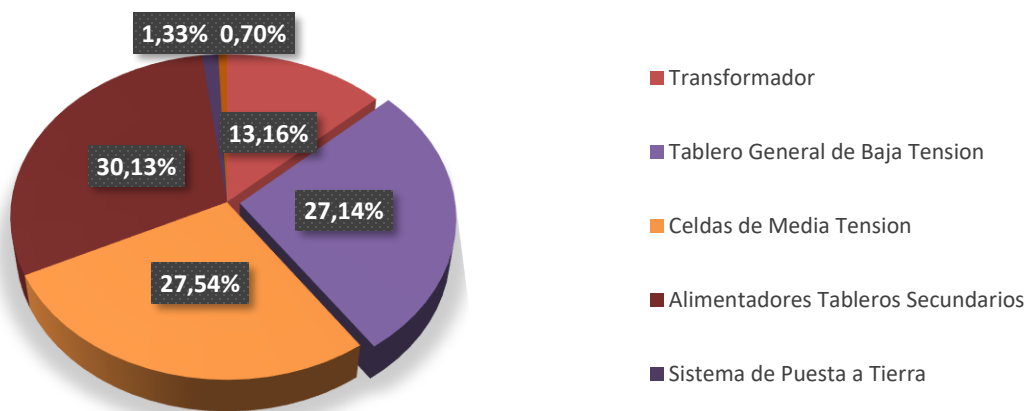


Fig. 33: proporción presupuesto materiales por rubros.

13.2. Presupuesto de mano de obra.

Descripción	Cant.	Un	Subtotal IVA (USD)
Cambio de Celdas MT			
Desmontaje de Celdas Existentes	1	Un.	2784,578313
Adecuaciones electromecánicas para nuevas celdas.	1	Un.	928,1927711
Instalación de Nuevas celdas 33 KV (3 cuerpos)	1	Un.	6823,935743
Provisión, conexionado y ejecución de puntas de nuevos cables de MT y accesorios (bandejas, puntas, etc)	1	Un.	7700,562249
Tendido, conexionado y provisión de bandejas y cables de MT	1	Gbal	9058,473896
Subtotal Provisión			27.295,74
Nuevos transformadores de MT			
Traslado y Montaje de transformador seco de 1000 KVA	2	Un.	928,19
Conexionado de Cables de Transformadores	2	Un.	859,44
Subtotal Provisión			1.787,63
Tablero Gral. de BT			
Montaje de Tablero TGBT en sala de BT	1	Un.	2.255,16
Tendido, conexionado y provisión, de bandejas y cables de potencia provisorios	1	Un.	3.382,75
Subtotal Provisión			5.637,91

Tareas Generales			
Ingeniería ejecutiva del Proyecto	1	Gbal	36.062,01
Ejecución de Sistema de PAT sala de MT, Transformador y nuevo TGBT	1	Un.	7.091,00
Provisión e instalación de bandejas y cables de comunicación y control	1	Un.	2.784,58
Subtotal Provisión			45.937,59
Migración de cargas de TGBT existente a Nuevo TGBT			
Ingeniería ejecutiva del Proyecto	1	Gbal	1.718,88
provisión e instalación de bandejas, cables, conexiónado y puesta en marcha	1	Un.	51.978,80
Subtotal Provisión			53.697,67

Tabla 33: Presupuesto mano de obra.

Siendo un total de USD 134.356,54 (dólares: ciento treinta y cuatro mil trescientos cincuenta y seis con 54/100) en mano de obra para la ejecución del proyecto.

En la Fig. 34 se muestra el porcentaje de gastos según el rubro de mano de obra, siendo predominante la migración de cargas del TGBT existente al nuevo por la logística y el tiempo que conlleva.

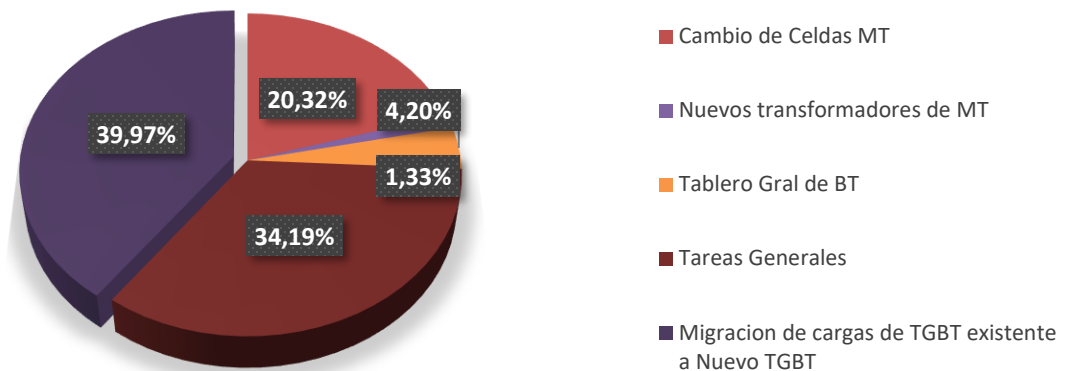


Fig. 34: proporción presupuesto mano de obra por rubros.

En resumen, el total para la provisión de materiales y mano de obra de la ingeniería ejecutiva asciende a los USD 429.351,15 (dólares: cuatrocientos veintinueve mil trescientos cincuenta y

uno con 15/100). En la Fig. 35 se puede ver la gran influencia de los materiales en el costo total del proyecto.

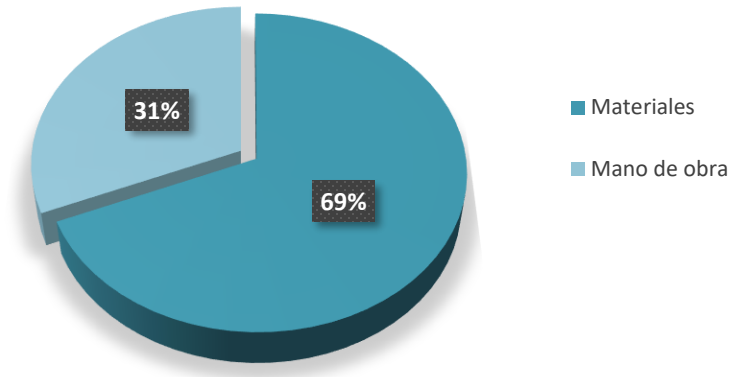


Fig. 35: proporción presupuesto de mano de obra y materiales

14. Conclusiones.

El proyecto ha logrado cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados inicialmente, los cuales pueden resumirse prioritariamente en la adecuación y ampliación de la E.R. de 33/0.4 kV para la industria alimenticia, reducción de la energía no suministrada, implementación de la normativa interna de planta y la mejora en calidad y confiabilidad de la instalación eléctrica.

Se ha puesto especial atención a los altos niveles de calidad asociados a la empresa, desarrollando el proyecto en base a reglamento y criterios internos, lo que ha llevado a sobredimensionar determinados cálculos para garantizar un funcionamiento seguro y confiable.

Este trabajo se ha diseñado teniendo en cuenta el crecimiento de la producción. Esto permitirá a la empresa aumentar su capacidad sin necesidad de realizar grandes modificaciones en la instalación eléctrica.

Cada elemento de la instalación eléctrica ha sido seleccionado y calculado manteniendo una relación técnica-económica adecuada; ajustando el presupuesto final de mano de obra y materiales del proyecto a las necesidades de la empresa.

15. Bibliografía.

- Asociación Electrotécnica Argentina. (2004). *AEA 90909-0: Corrientes de corto circuito en sistemas trifásicos de corriente alterna.*
- Asociación Electrotécnica Argentina. (2006). AEA 95401: Reglamentación sobre centros de transformación y suministro en media tensión.
- Asociación Electrotécnica Argentina. (2006). *AEA 90364-7-771: Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles.*
- Ing. Juan Fernández. (2017). *Catedra máquinas I – Unidad temática N°3: Teoría y funcionamiento del transformador trifásico.*
- Instituto Argentino de Racionalización de materiales. (1996). *IRAM 2281-3: Puesta a tierra de sistemas eléctricos – Instalaciones industriales y domiciliarias (inmuebles) y redes de baja tensión.*
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2000). *Guía para la Seguridad de puesta a tierra en Subestaciones de C.A.*
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. (2002). *IRAM 2281-2: Puesta a tierra de sistemas eléctricos – Guía de mediciones de magnitudes de puesta a tierra (resistencias, resistividades y gradientes).*
- Prysmian Group. (2008). *Cables para baja tensión – Catalogo General.*
- Schneider Electric. (2010). *Compact NSX 100-630 A. Interruptor automático.*

Schneider Electric. (2000). *Cuaderno Técnico N° 158 – Calculo de corrientes de cortocircuito.*

Schneider Electric. (2015). *Sistema Okken; Solución inteligente para envolventes de distribución eléctrica y centros de control motor, hasta 7300 A.*

Schneider Electric. (2020). *Air Insulated Switchgear up to 36 / 40.5 kV Floor rolling circuit breaker.*

Anexo. A Cálculo Cables Seccionales

En Tabla A.1 se realiza el primer cálculo de verificación por máxima temperatura admisible, es decir la iteración I, seleccionando la sección de cable que posee una corriente admisible mayor a la de proyecto y posteriormente se aplican los factores de corrección correspondientes. En este caso, la mayoría de los cables seccionales no cumplen con la primer verificación, es por eso que se procede a elegir la sección inmediata superior que el fabricante de cables ofrece realizando el segundo cálculo de verificación por máxima temperatura admisible. Cada vez que se incrementa la sección comercial del cable, se incrementa el “número de iteración”.

Tag Tablero	Longitud (m)	I.max (A)	k.t°	k.agrup	Sección mm ²	I catalogo A	I adm A	Verifica
TS1-1	50	45	0,96	0,72	4x10	68	47,00	SI
TS1-2	43	170	0,96	0,72	3x95+50	271	187,32	SI
TS1-3	45	40	0,96	0,72	4x10	68	47,00	SI
TS1-4	55	26	0,96	0,75	4x6	49	35,28	SI
TS1-5	60	41	0,96	0,72	4x10	68	47,00	SI
TS1-6	70	23	0,96	0,72	4x4	38	26,27	SI
TS1-7	60	19	0,96	0,72	4x2,5	29	20,04	SI
TS1-8	70	61	0,96	0,72	4x16	91	62,90	SI
TS1-9	55	64	0,96	0,72	3x25+16	115	79,49	SI
TS1-10	35	140	0,96	0,72	3x70+35	224	154,83	SI
TS1-11	35	61	0,96	0,72	4x16	91	62,90	SI
TS1-12	30	18	0,96	0,72	4x2,5	29	20,04	SI
TS1-13	35	128	0,96	0,75	3x70+35	224	161,28	SI
TS2-14	65	12	0,96	0,72				✓
TS2-15	65	45	0,96	0,72	4x10	68	47,00	SI
TS1-16	45	260	0,96	0,77	3x150+70	363	268,33	SI
TS1-17	30	90	0,96	0,72	3x35+16	144	99,53	SI
TS1-18	45	105	0,96	0,72	3x50+25	175	120,96	SI
TS1-19	40	105	0,96	0,72	3x50+25	175	120,96	SI

TS1-20	45	30	0,96	0,75	4x6	49	35,28	SI
TS1-21	30	45	0,96	0,77	4x10	68	50,27	SI
TS2-22	75	37	0,96	0,72	4x10	68	47,00	SI
TS1-23	55	22	0,96	0,72	4x4	38	26,27	SI
TS1-24	15	28	0,96	0,75	4x6	49	35,28	SI
TS2-25	80	12	0,96	0,72				✓
TS1-26	55	15	0,96	0,75				✓
TS1-27	40	18	0,96	0,75				✓
TS1-28	20	100	0,96	0,77	3x35+16	144	106,44	SI

Tabla A. 1: Iteración (II) – Cálculo por temperatura.

Habiendo sido verificada la sección por máxima temperatura admisible, a continuación, se realiza la primera verificación por caída de tensión, utilizando las secciones que cumplen con la verificación por temperatura de la iteración número II.

En Tabla A. 2 se muestra que algunos de los cables seccionales están por debajo del 1% de caída de tensión respecto a la tensión nominal, pero la gran mayoría de los cables no cumple con esta condición por eso es necesario otra iteración de cálculo para salvar la situación de los cables que no cumplen.

Si bien esta es la primera iteración por caída de tensión, se la nombrará como iteración III para evitar confusiones a la hora del análisis de este proyecto.

Tag Tablero	Longitud (m)	I.max (A)	Sección por temp (mm ²)	Resist Ω/km	React Ω/km	ΔU	%	Verifica
TS1-1	50	45	4x10	2,34	0,08	8,75	2,30%	NO
TS1-2	43	170	3x95+50	0,246	0,071	3,24	0,85%	SI
TS1-3	45	40	4x10	2,34	0,08	7,00	1,84%	NO
TS1-4	55	26	4x6	3,92	0,085	9,28	2,44%	NO
TS1-5	60	41	4x10	2,34	0,08	9,57	2,52%	NO
TS1-6	70	23	4x4	5,87	0,0894	15,61	4,11%	NO
TS1-7	60	19	4x2,5	9,44	0,0957	17,75	4,67%	NO
TS1-8	70	61	4x16	1,47	0,075	10,49	2,76%	NO
TS1-9	55	64	3x25+16	0,926	0,075	5,50	1,45%	NO

TS1-10	35	140	3x70+35	0,341	0,073	2,94	0,77%	SI
TS1-11	35	61	4x16	1,47	0,075	5,24	1,38%	NO
TS1-12	30	18	4x2,5	9,44	0,0957	8,41	2,21%	NO
TS1-13	35	128	3x70+35	0,341	0,073	2,69	0,71%	SI
TS2-14	65	12	4x1,5	15,4	0,103	19,79	5,21%	NO
TS2-15	65	45	4x10	2,34	0,08	11,38	2,99%	NO
TS1-16	45	260	3x150+70	0,158	0,071	3,49	0,92%	SI
TS1-17	30	90	3x35+16	0,668	0,075	3,07	0,81%	SI
TS1-18	45	105	3x50+25	0,493	0,074	4,02	1,06%	NO
TS1-19	40	105	3x50+25	0,493	0,074	3,57	0,94%	SI
TS1-20	45	30	4x6	3,92	0,085	8,76	2,31%	NO
TS1-21	30	45	4x10	2,34	0,08	5,25	1,38%	NO
TS2-22	75	37	4x10	2,34	0,08	10,79	2,84%	NO
TS1-23	55	22	4x4	5,87	0,0894	11,73	3,09%	NO
TS1-24	15	28	4x6	3,92	0,085	2,73	0,72%	SI
TS2-25	80	12	4x1,5	15,4	0,103	24,35	6,41%	NO
TS1-26	55	15	4x2,5	9,44	0,0957	12,84	3,38%	NO
TS1-27	40	18	4x2,5	9,44	0,0957	11,21	2,95%	NO
TS1-28	20	100	3x35+16	0,668	0,075	2,28	0,60%	SI

Tabla A. 2: Iteración (III) – Cálculo por caída de tensión.

En Tabla A. 3 se realiza la iteración IV, incrementando la sección nuevamente para los casos en que no se cumple con la condición de caída de tensión.

Tag Tablero	Longitud (m)	I.max (A)	Sección mm ²	Resist Ω/km	React Ω/km	ΔU	%	Verifica
TS1-1	50	45	4x16	1,4700	0,075	5,53	1,45%	NO
TS1-2	43	170						✓
TS1-3	45	40	4x16	1,4700	0,075	4,42	1,16%	NO
TS1-4	55	26	4x10	2,3400	0,080	5,56	1,46%	NO
TS1-5	60	41	3x25+16	0,9260	0,075	3,84	1,01%	SI
TS1-6	70	23	4x16	1,4700	0,075	3,95	1,04%	SI
TS1-7	60	19	4x10	2,3400	0,080	4,43	1,17%	NO
TS1-8	70	61	3x35+16	0,6680	0,075	4,86	1,28%	NO
TS1-9	55	64	3x35+16	0,6680	0,075	4,01	1,05%	SI
TS1-10	35	140						✓
TS1-11	35	61	3x25+16	0,9260	0,075	3,34	0,88%	SI

TS1-12	30	18	4x4	5,8700	0,089	5,24	1,38%	NO
TS1-13	35	128						✓
TS2-14	65	12	4x6	3,9200	0,085	5,06	1,33%	NO
TS2-15	65	45	3x25+16	0,9260	0,075	4,57	1,20%	NO
TS1-16	45	260						✓
TS1-17	30	90						✓
TS1-18	45	105						✓
TS1-19	40	105						✓
TS1-20	45	30	4x10	2,3400	0,080	5,25	1,38%	NO
TS1-21	30	45	4x16	1,4700	0,075	3,32	0,87%	SI
TS2-22	75	37	3x25+16	0,9260	0,075	4,34	1,14%	NO
TS1-23	55	22	4x10	2,3400	0,080	4,71	1,24%	NO
TS1-24	15	28						✓
TS2-25	80	12	4x10	2,3400	0,080	3,73	0,98%	SI
TS1-26	55	15	4x6	3,9200	0,085	5,35	1,41%	NO
TS1-27	40	18	4x6	3,9200	0,085	4,67	1,23%	NO
TS1-28	20	100						✓

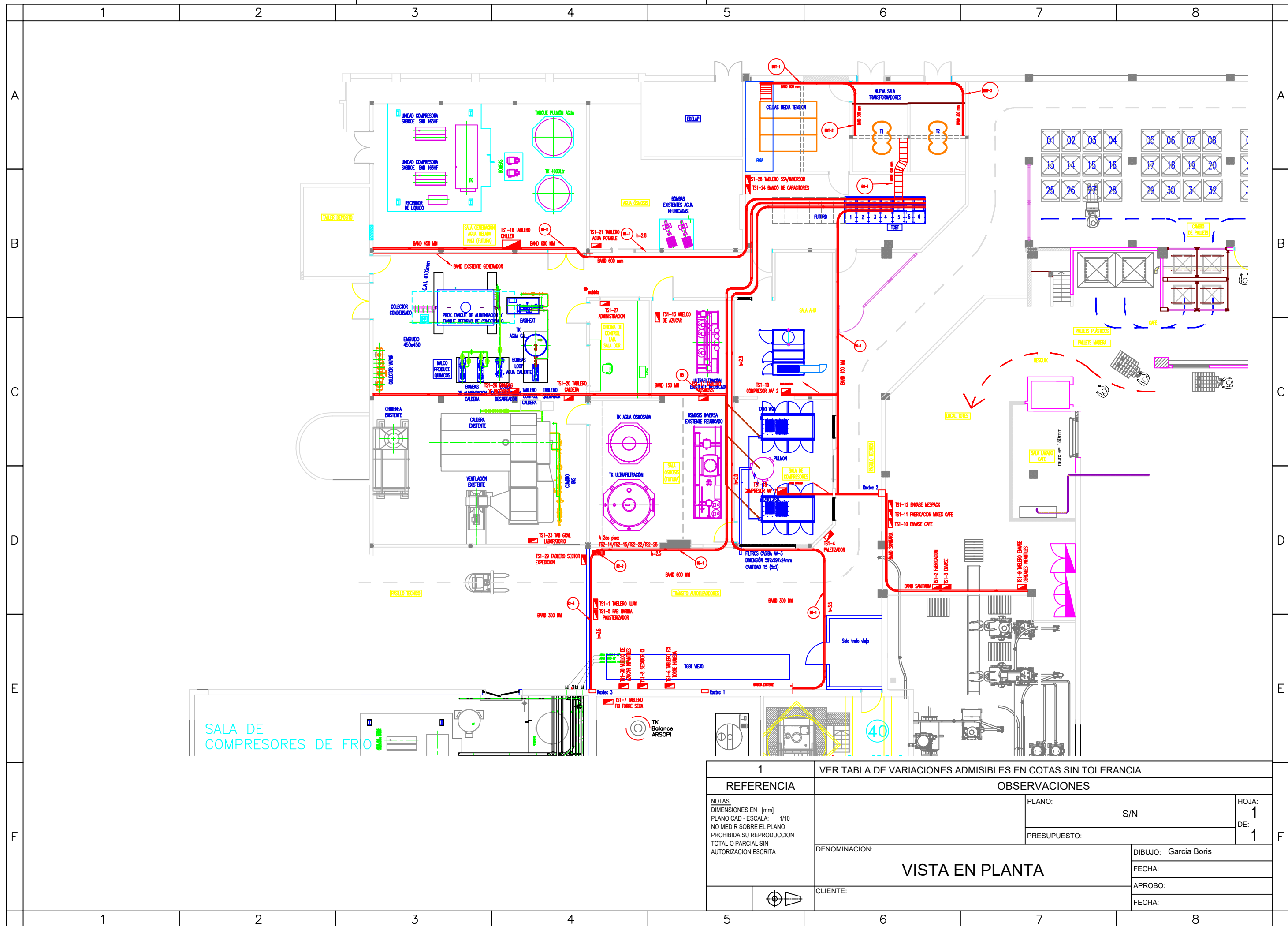
Tabla A. 3: Iteración (IV) – Calculo por caída de tensión.

Como en ciertos casos no se ha verificado, en Tabla A. 4 se realiza la iteración V, donde para esta instancia, finalmente se ha verificado con todos los cables seccionales la condición de caída de tensión.

Tag Tablero	Longitud (m)	I.max (A)	Sección mm ²	Resist Ω/km	React Ω/km	ΔU	%	Verifica
TS1-1	50	45	3x25+16	0,9260	0,075	3,52	0,93%	SI
TS1-2	43	170						✓
TS1-3	45	40	3x25+16	0,9260	0,075	2,81	0,74%	SI
TS1-4	55	26	4x16	1,4700	0,075	3,51	0,92%	SI
TS1-5	60	41						✓
TS1-6	70	23						✓
TS1-7	60	19	4x16	1,4700	0,075	2,80	0,74%	SI
TS1-8	70	61	3x50+25	0,4930	0,074	3,63	0,96%	SI
TS1-9	55	64						✓
TS1-10	35	140						✓
TS1-11	35	61						✓
TS1-12	30	18	4x6	3,9200	0,085	3,50	0,92%	SI

TS1-13	35	128							✓
TS2-14	65	12	4x10	2,3400	0,080	3,03	0,80%	SI	
TS2-15	65	45	3x35+16	0,6680	0,075	3,33	0,88%	SI	
TS1-16	45	260							✓
TS1-17	30	90							✓
TS1-18	45	105							✓
TS1-19	40	105							✓
TS1-20	45	30	4x16	1,4700	0,075	3,32	0,87%	SI	
TS1-21	30	45							✓
TS2-22	75	37	3x35+16	0,6680	0,075	3,16	0,83%	SI	
TS1-23	55	22	4x16	1,4700	0,075	2,97	0,78%	SI	
TS1-24	15	28							✓
TS2-25	80	12							✓
TS1-26	55	15	4x10	2,3400	0,080	3,21	0,84%	SI	
TS1-27	40	18	4x10	2,3400	0,080	2,80	0,74%	SI	
TS1-28	20	100							✓

Tabla A. 4: Iteración (V) – Calculo por caída de tensión.



1	VER TABLA DE VARIACIONES ADMISIBLES EN COTAS SIN TOLERANCIA		
REFERENCIA	OBSERVACIONES		
NOTAS: DIMENSIONES EN (mm) PLANO CAD - ESCALA: 1/10 NO MEDIR SOBRE EL PLANO PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACION ESCRITA	PLANO:	S/N	HOJA: 1
	PRESUPUESTO:		DE: 1
	DENOMINACION:	DIBUJO: Garcia Boris	
	CLIENTE:	FECHA:	
	VISTA EN PLANTA		APROBO:
			FECHA: