

Universidad Nacional de La Pampa  
Facultad de Ingeniería

Exportaciones Agroindustriales Argentinas  
Carnes Pampeanas

Trabajo Final de la carrera de Ingeniería Electromecánica,  
realizado en el marco del Reglamento de Proyecto Final  
como "Práctica en Empresa", por:

Matias de la Mata

Tutores: Ing. Francisco Soto  
Ing. Néstor García

Evaluadores: Ing. Bongianino  
Ing. Giri  
Ing. Paesani

- Año 2005 -



## Índice de contenidos:

Memoria descriptiva	página III
Descripción de la Empresa	página III
Descripción de la Práctica	página IV
Información detallada, esquemas unifilares	página VI
Proyecto de cálculo	página XXI
Presupuesto de la Obra	página XLII
Conclusiones Finales	página XLIII
Bibliografía	página XLIV

## Memoria Descriptiva:

El presente trabajo fue realizado en la empresa de razón social: "Exportaciones Agroindustriales Argentinas", cuyo nombre comercial es: "Carnes Pampeanas", en el marco de lo solicitado por el proyecto final de la carrera de Ingeniería Electromecánica, cursada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa.

El objetivo planteado desde un principio fue acordado por las partes Casa de estudios – Empresa, en el que se solicitaba al pasante una revisión completa de las instalaciones de fuerza motriz y de la capacidad instalada en la subestación transformadora, incluyendo la realización de los esquemas unifilares de los tableros eléctricos de la planta utilizando algún programa de diseño asistido por computadora (AutoCAD fue el elegido).

A medida que el trabajo se fue llevando a cabo, se acordó incluir en el mismo el relevamiento de las instalaciones de iluminación (aunque en menor profundidad, dejando de lado algunos ítems como ser la caída de tensión, pero sí realizando los esquemas unifilares, que resultaron de gran interés debido a la falta de los mismos). Más adelante se acordó no sólo realizar un relevamiento de la subestación transformadora, sino también incluir un proyecto de cálculo para efectuar una futura ampliación, teniendo en cuenta que la empresa está gestionando desde hace algún tiempo el otorgamiento de un crédito que le permita ampliar sus instalaciones, lo que requerirá un aumento de la potencia de la subestación transformadora.

Mi actividad como pasante en la organización comenzó el día Martes 8 de Febrero de 2005, jornada que fue destinada a una recorrida completa de las instalaciones. Durante los primeros cuatro meses se acordó un horario de trabajo de 8 a 12 horas, y en los dos meses restantes se acordó extender el horario hasta las 14 horas (es decir, 6 horas diarias, lo máximo permitido por el contrato de pasantías). A esta altura, podemos decir que el tiempo total demandado se ha extendido en aproximadamente un mes, ya que desde un comienzo calculé el tiempo necesario para realizar el trabajo en 4 meses, pero el mismo terminó realizándose en 5 meses, debido fundamentalmente a las cosas que se le fueron agregando al proyecto, pero también al tiempo que demanda la elaboración de un presupuesto (buscar elementos de fabricación estándar compatibles con los calculados, contactarse con fabricantes y proveedores de los mismos, pedir cotizaciones y sobre todo, esperar una respuesta). La realización del presupuesto (que fue entregado, a decir verdad, en forma incompleta, faltando cotizar algunos ítems no muy representativos) tomó algo más de 15 días. Demasiado tiempo teniendo en cuenta que también en 15 días se realizó el relevamiento y cálculo de la ampliación de la subestación.

Igualmente, si bien no es quien escribe quien debe decirlo, creo que los objetivos han sido cumplidos, ya que el trabajo me ha dejado una enseñanza, he observado cómo se maneja una empresa de estas dimensiones, he visto varios sistemas novedosos para mí, cómo se actúa ante situaciones de emergencia, y además espero que el trabajo realizado haya sido de importancia para la organización, ya que ha sido realizado con responsabilidad, brindando datos fehacientes tanto para la situación actual como para la parte proyectada.

## Descripción de la Empresa:

El frigorífico “Carnes Pampeanas”, sito en la Ruta Nacional nº5, kilómetro 598,5 se encuentra en actividad desde el mes de noviembre de año 1979, aunque de manera intermitente.

Fue cerrado en el mes de julio de 1991, y reabierto también en el mes de julio pero del año 1997, momento desde el cual la actividad no ha cesado hasta hoy en día. Desde el año 1997 y hasta la actualidad funciona bajo la razón social “Exportaciones Agroindustriales Argentinas”.

El frigorífico tiene actualmente 349 empleados, entre administrativos y operarios, por lo que es una importante fuente de trabajo para la zona. La capacidad diaria de producción alcanza las 500 cabezas, pero en promedio se encuentra funcionando al 80% de su capacidad.

La superficie cubierta de la planta alcanza los 6157m<sup>2</sup>, la semicubierta (corrales) alcanza los 3344m<sup>2</sup> mientras que la superficie del predio es de 49320m<sup>2</sup> (esto es, sin contar las lagunas y en resto).

Comenzando por el primer elemento en el layout, tenemos los corrales, con capacidad para 900 animales, a cargo de Médicos Veterinarios, que constatan la salud de los animales al ingreso. Para casos de emergencia se cuenta con una sala especialmente equipada, sala de necropsia y digestor.

En cuanto a la faena, se cuenta con un noqueador por shock eléctrico, un cajón de noqueo, una cuereadora hidráulica, una playa de faena que es recorrida por las norias principal, de cuero, de cabezas y de vísceras (hay una quinta noria que recorre los oreos). El ingreso y egreso del personal hacia los puestos de trabajo se realiza pasando previamente por los vestuarios, donde hay instalados lavabotas para garantizar la higiene en estos sectores.

La producción ya faenada recorre los oreos para luego ir a parar a las cámaras.

El frigorífico posee 15 cámaras, de las cuales 2 son de congelado y 13 de enfriado. Estas cámaras son refrigeradas por un sistema de amoníaco que incluye evaporadores o placas en las mismas, según sean cámaras de enfriado o de congelado. El tratamiento posterior al enfriado se consiste en la tipificación y desposte. En la sala de despostada están instaladas 12 cintas transportadoras y un sinfín para la salida de huesos.

También podemos encontrar en este sector 3 envasadoras de vacío y una máquina de termocontracción.

En el empaque, se almacena la producción en cajas, de todo lo que es exportación, las cuales son estibadas en palets y enviadas a los depósitos 9, 10 y 18 con capacidad para 25 a 30 ton, 150 a 250 ton y 100 a 150 toneladas respectivamente. La capacidad de este último es ampliable hasta 500 toneladas con la futura instalación de estanterías (ítem incluido en la próxima ampliación). En las antecámaras a estos depósitos existen docks de cargas con plataformas hidráulicas para la salida del producto de exportación, ya que todo lo que se exporta se vende por cortes, envasado al vacío, guardado en cajas identificatorias del tipo de producto y con el logotipo de la empresa. Cuando el producto de exportación es envasado en las cajas, a una de las cajas por envío (al azar) se le coloca un dispositivo que censa continuamente la temperatura, desde ese momento y hasta que sea abierto, y los datos registrados por éste pueden ser leídos por el destinatario, asegurándose así de que su producto no ha perdido la cadena de frío. Los productos de consumo no pasan por los depósitos de congelado, y salen directamente a través de docks de cargas ubicados en las antecámaras de las cámaras de enfriado correspondientes. En estos docks de carga hay instalados guinches elevadores para cargar el producto en los camiones.

Este es el recorrido del producto durante su transformación, pero en muchos puntos de la misma se requiere el uso de instalaciones que pasaremos a describir a continuación:

#### Instalaciones de agua:

En primera instancia, la extracción del agua utilizada por la planta se realiza mediante 4 perforaciones donde se han instalado bombas sumergibles multietapas accionadas por motores trifásicos (2 de 7,5HP, una de 5,5HP y una de 4HP, respectivamente). El agua extraída es depositada en dos cisternas de 350000 litros de capacidad cada una, las cuales son techadas y cerradas a fin de mantener la higiene del agua. Desde estas cisternas el agua es impulsada por 4 bombas centrífugas (3 de 15HP y una de 4HP) hacia la sala de calderas, donde hay instalada una planta para el ablandamiento del agua antes del ingreso de la misma a las calderas. Hay dos calderas instaladas en la planta, ambas del tipo humotubular. Una de ellas produce 3000kg de vapor por hora a una presión de trabajo de 8kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la otra produce 2000kg de vapor por hora a una presión de 10kg/cm<sup>2</sup>. Alimentadas originalmente a fuel-oil, pero adaptadas para funcionar a gas natural, proveen agua a 45 y 90°C, utilizada para la faena. El agua a 45°C es utilizada para lavar, mientras que el agua a 90°C es utilizada para esterilizar. El agua ya utilizada es enviada a la planta tratadora de efluentes, para su correcta limpieza, y luego es depositada en lagunas para recibir el correspondiente tratamiento microbiológico, en sus tres etapas: anaeróbica, facultativa y aeróbica. Esta planta tratadora de efluentes es de última generación, automática (comandada por PLC), capaz de tratar 1800m<sup>3</sup> al día, con lo que se lograría una producción de al menos 600 cabezas diarias (en lo que hace a la capacidad de tratamiento de efluentes, teniendo en cuenta el consumo de agua necesario).

#### Instalaciones de aire comprimido:

Se cuenta con una instalación de aire comprimido alimentada por dos compresores a tornillo rotativo marca Sullair, que alcanzan una presión máxima de 7kg/cm<sup>2</sup> (actualmente programados para trabajar en 6,8kg/cm<sup>2</sup>), y son accionados por un motor que tiene una potencia de 60HP. Ambos alimentan un tanque pulmón cilíndrico, horizontal, de construcción mediante láminas de acero soldadas, con un volumen de 9m<sup>3</sup>, que alcanza la nombrada presión de trabajo, mientras que la presión máxima soportada es de 8kg/cm<sup>2</sup>. Solo en casos excepcionales es necesario el uso de ambos compresores a la vez, ya que en general es suficiente con encenderlos en forma alternativa.

#### Instalaciones de gas natural:

Solo se cuenta con este tipo de instalación para alimentar a las calderas, ya que el calefaccionado de las oficinas administrativas se realiza por medio de energía eléctrica. Para esto se hace llegar un tendido de 2kg/cm<sup>2</sup> de presión, que alimenta a las instalaciones previo paso por una pequeña estación reductora de presión.

#### Instalaciones Eléctricas:

La planta toma energía de la red en 13,2kV, la cual es transformada en la subestación a 0,38kV. Actualmente se cuenta en este momento con una potencia de transformación de 1250kVA, logrados por un trafo de 750kVA y otro de 500kVA. En la subestación están instalados (como debe ser) los correspondientes dispositivos de protección y maniobra, llámese fusibles de alta capacidad de ruptura, seccionadores, interruptores, etc. Además de un sistema completo de medición (en media y baja tensión), que sirve para llevar un control no solo del consumo sino también de las pérdidas en los transformadores (que puede funcionar como disyuntor). A la salida de la subestación se encuentran instalados los correctores del factor de potencia, que son dos (uno para cada trafo), con controlador automático, de 150 y 75kvar respectivamente.

### Instalaciones de refrigeración:

El sistema de refrigeración utiliza como gas refrigerante amoníaco, el cual es impulsado por hasta 4 compresores (instalados en la sala de máquinas), de los cuales dos alimentan el sistema de baja presión ( $-0,2\text{kg/cm}^2$ ) utilizado para el congelado, y los otros dos al sistema de media presión ( $1,6\text{kg/cm}^2$ ) utilizado para las cámaras de oreo, enfriado, etc. En este punto, cabe destacar que esa es la configuración típica adoptada, pero los compresores en realidad son duales, ya que cualquiera de ellos puede trabajar en baja o en media. Continuando con el sistema de refrigeración, se incluyen también 4 torres evaporadoras para el condensado, tanques separadores de líquido, bombas de amoníaco y bombas de agua. Como este gas ha de manejarse con considerable precaución, hay instalados sistemas de alarma que monitorean constantemente la presión, y hay trajes especiales listos para usarse en casos de emergencia.

### Descripción de la Práctica:

La primera parte del trabajo consistió en lo que se denomina “trabajo de campo”, en el cual se fue haciendo el relevamiento de las instalaciones, que incluía un esquema a mano alzada de los distintos tableros, la interconexión de los mismos, el tomar nota de la potencia instalada en cada uno, analizar los elementos de protección y maniobra utilizados, la sección de los conductores, la medición de los consumos y de la caída de tensión a plena carga (para lo que se utilizó una pinza multifunción). Estos dos últimos ítems sólo se realizaron en los tableros de fuerza motriz, y no en los de iluminación, ya que la carga que representan los tableros de iluminación es, en comparación, muy pequeña con relación a la demanda de energía de los tableros de fuerza motriz. Esta primera parte fue muy tediosa y llevó mucho tiempo, debido a que estas tareas debían realizarse en su mayoría con la planta en producción, para que las lecturas obtenidas sean lo más certeras posible, cuando se trataba de instalaciones dentro de la línea de producción. Y por el contrario, se hizo necesario trabajar fuera de horario (después de las 18Hs.) cuando se trataba de instalaciones emplazadas dentro del sector administrativo. Además, en la mayoría de los casos se necesitó la colaboración de un operario del sector mantenimiento para facilitar el acceso a ciertos lugares de la planta, y como ayuda para reconocer la función de algunos componentes eléctricos que no era tan fácil de descubrir, ya que el frigorífico no posee planos de la mayoría de las instalaciones, salvo algunas muy recientes, y en la mayoría de los casos la información de los planos no se condice con la realidad de lo instalado. Aquí hay que hacer hincapié en la buena predisposición de la gente de Mantenimiento que no sólo se prestaban a evacuar mis dudas respecto de la parte eléctrica, sino también respecto al funcionamiento de cualquier máquina o instalación que me resultase novedosa, dentro de las cuales puedo nombrar al sistema de refrigeración, el sistema de noqueo, la planta tratadora de efluentes, y algunas cosas más.

La segunda parte del trabajo consistió en volcar esa información en planillas individuales por tablero y en realizar el correspondiente esquema unifilar, basándome en las normas vigentes para el dibujo de los componentes eléctricos de la instalación (normas IRAM, Reglamentación). En este punto se incluyeron además de los esquemas unificables por tablero, un esquema tipo red de tableros (para ver la interconexión de cada uno, es decir, de dónde toma energía cada uno) y un esquema del tablero principal de distribución, al cual ingresan los conductores provenientes de los interruptores principales y el banco de capacitores (instalado para la corrección del factor de potencia), que a su vez está conectado directamente con la subestación transformadora. También se incluyó una

planilla de información para cada tablero de fuerza motriz, en la que se detallan los datos obtenidos de cargas instaladas, componentes, corrientes, caídas de tensión, etc. Esta parte requirió de cierto tiempo, aunque no tanto como la anterior, debido a dos motivos fundamentales: la práctica que se adquiere en el uso del AutoCAD y la comodidad que representa estar en una oficina dibujando, aunque también resultó ser menos llevadera. Continuando con la descripción de las actividades realizadas, se decidió incluir en el trabajo no sólo un relevamiento de la subestación transformadora, sino un proyecto de cálculo para la ampliación de la misma, en el marco de la futura pero inminente ampliación de la capacidad de la planta en el corto plazo. Este proyecto comenzó con el análisis de la situación actual y anterior, para lo que se observaron las instalaciones, haciéndose un relevamiento completo de las mismas, y observándose el historial de accidentes y las medidas tomadas. Manejando todos estos datos y los correspondientes a la futura ampliación, se elaboraron las propuestas técnicas, siempre teniendo en cuenta el aspecto económico. La información detallada de este trabajo puede accederse en las páginas siguientes.

A continuación se incluyen los datos obtenidos del estado actual de la instalación eléctrica de la planta. Esta información ha sido separada por tablero, con el fin de hacerla más clara y accesible. Para cada tablero de fuerza motriz se presenta la información detallada con el correspondiente esquema unifilar, mientras que para los tableros de iluminación sólo se presenta el correspondiente esquema unifilar.

A modo de índice se presenta la siguiente tabla con el número de plano y la referencia:

Tablero Principal de Distribución	plano nº1
Tablero Principal de Distribución con potencias	plano nº2
Subestación Transformadora actual	plano nº3
Subestación Transformadora proyectada	plano nº4
Tablero de Frío número 1 (TF1)	plano nº5
Tablero de Frío número 2 (TF2)	plano nº6
Tablero de Frío número 3 (TF3)	plano nº7
Tablero de Frío número 4 (TF4)	plano nº8
Tablero de Frío Cámaras 16 y 17	plano nº9
Tablero de Frío Depósito de Enfriado	plano nº10
Tablero de FM TM1: Noqueo	plano nº11
Tablero de FM TM2: Faena	plano nº12
Tablero de FM TM3: Noria	plano nº12
Tablero de FM TM4: Tipificación	plano nº12
Tablero de FM TM5/1: Menudencias	plano nº13
Tablero de FM TM5/2: Menudencias	plano nº13
Tablero de FM TM5/3: Lavado de roldanas	plano nº14
Tablero de FM TM5/4: Hachadora de cabezas	plano nº15
Tablero de FM TM7: Molino decomisos	plano nº16
Tablero de FM TM9: Termocontracción	plano nº17
Tablero de FM TM10: Montacargas	plano nº18
Tablero de FM TM11: Calderas y anexos	plano nº19
Tablero de FM TM12: Compresores de aire	sin plano, solo información
Tablero de Central Hidráulica	plano nº20
Tablero de Cintas y Máquinas Despostada	plano nº21
Tablero de Forzadores anexo al TM3	plano nº22
Tablero Planta Tratadora de Efluentes	plano nº23
Tablero Sala Bombas de Agua	plano nº24
Tablero Sala de Máquinas	plano nº25
Tablero Administración nº1	plano nº26



Tablero Administración nº2	plano nº27
Tablero Cuarteo Primera Etapa y puerta dep. 10	plano nº28
Tablero Depósito de Cajas	plano nº29
Tablero Depósito (almacenes)	plano nº30
Tablero Edificios Necropsia y Deposito	plano nº31
Tablero Escamadora de Hielo	plano nº32
Tablero Iluminación de Corrales	plano nº33
Tablero Lavadero de Camiones	plano nº34
Tablero Oreo de Medias Reses y Cuartos	plano nº35
Tablero Plataforma de Carga (dock)	plano nº36
Tablero Sala de Capacitación	plano nº37
Tablero Taller de Mantenimiento viejo	plano nº38
Tablero Taller de Mantenimiento nuevo	plano nº39
Tablero Taller Faena	plano nº40
Tablero Tomas de Playa y Guinche	plano nº41
Tablero TS3/1 y TS 3/2: Vestuarios	plano nº42
Tablero TS4/1: Inspección	plano nº43
Tablero TS4/2: Decomisos	plano nº43
Tablero TS5/1: Menudencias y anexo	plano nº44
Tablero TS5/2, TS5/3 y TS5/4: Menudencias	plano nº45
Tablero TS6 y TS8: Iluminación Cámaras	plano nº46
Tablero TS12/1 y TS12/2: Vestuarios	plano nº47
Tablero Vestuarios Menudencias Planta Alta	plano nº48
Esquema Red de Tableros	plano nº49

### Aclaraciones generales de lo que sigue:

- Todos los motores eléctricos en consideración son trifásicos, ya sean forzadores o bombas, y cualquiera sea el valor de la potencia del mismo.
- La potencia instalada se calculó tomando nota de la potencia activa y del factor de potencia, valores obtenidos de las placas de los motores. En algunos pocos casos en que no se disponía del dato correspondiente al factor de potencia, o no se encontraba la placa del motor, los valores fueron estimados.
- La potencia instalada por tablero se expresó en [kVA] para hacer más sencillo el manejo de esta información, teniendo en cuenta que la potencia en los transformadores de distribución viene expresada en esa unidad.
- La caída de tensión se midió y calculó en todos los casos en base a la tensión nominal.
- La densidad de corriente se calculó en todos los casos en base a la sección nominal ( $S_n$ ) del conductor.
- En particular para los tableros del sector menudencias (TM5/1, TM5/2 y TM5/3), se tiene que hay una única línea de bajada del tablero principal que los alimenta, y la carga máxima medida en el tablero TM5/1 indicada a continuación, hace referencia a la carga máxima medida en esta línea de alimentación general (es decir, es la corriente demandada por los tres tableros a la vez). No sucede lo mismo con la potencia instalada en el TM5/1, que sí corresponde a los consumos propios de este tablero.

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TF1 – Cámaras 12 y 14.

Tipo: Frío

Ubicación: Menudencias

Provee energía a: Cámara 12 (1 forzador de 1 HP)  
Cámara 14 (2 forzadores de 0,5HP)  
Antecámara nº1 (1 forzador de 1HP)  
Elaboración de menudencias (3 forzadores de 0,75HP)

Potencia instalada: 4,893kVA

Carga máxima medida: R: 9,4A  
S: 9,5A  
T: 12A

Desequilibrio: 27,65%

Conductores de entrada: 3x25/16mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 0,48A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 380V  
ST: 379V  
TR: 381V

Caída de tensión: 1V (0,26%)

Esquema unifilar, plano nº:5

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TF2 – Cámaras 6 y 7, Oreos

Tipo: Frío

Ubicación: al lado del palco de tipificación.

Provee energía a: Cámara 6 (10 forzadores de 1,5HP)  
Cámara 7 (1 forzador de 1 HP)  
Oreo (4 forzadores de 2HP)  
Oreo continuo 1º etapa (10 forzadores de 1,5HP)  
Oreo continuo 2º etapa (15 forzadores de 1,5HP)  
Pulmón de oreo (2 forzadores de 1HP)

Potencia instalada: 59,182kVA

Carga máxima medida: R: 99,6A  
S: 98,6A  
T: 102,5A

Desequilibrio: 3,49%

Conductores de entrada: 3x50/25mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 2,05A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 380V  
ST: 376V  
TR: 378V

Caída de tensión: 4V (1,05%)

Esquema unifilar, plano nº:6

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TF3 - Cámaras

Tipo: Frío

Ubicación: frente a cámara 4

Provee energía a: Cámara 1 (12 forzadores de 1 HP)  
Cámara 2 (8 forzadores de 1,5HP)  
Cámara 3 (6 forzadores de 1HP)  
Cámara 4 (6 forzadores de 1HP)  
Cámara 5 (3 forzadores de 1HP)  
Cuarteo (4 forzadores de 0,5HP)

Potencia instalada: 38,3kVA

Carga máxima medida: R: 74,5A  
S: 72,5A  
T: 76,2A

Desequilibrio: 0,51%

Conductores de entrada: 3x50/25mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 1,524A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 375V  
ST: 374V  
TR: 376V

Caída de tensión: 6V (1,58%)

Esquema unifilar, plano n°:7

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TF4 - Empaque

Tipo: Frío

Ubicación: Cámara 9

Provee energía a: Cámara 8 (8 forzadores de 0,75HP)  
Cámara 9 (8 forzadores de 1HP)  
Cámara 10 (6 forzadores de 1HP)  
Despostada (10 forzadores de 1HP + 6 forzadores de 4HP)  
Empaque secundario (2 forzadores de 0,5HP)  
Enfarolado (2 forzadores de 0,5HP)  
Termocontracción (2 forzadores de 0,5HP)  
Túnel 1 (6 forzadores de 4HP)

Potencia instalada: 75,46kVA

Carga máxima medida: R: 108A  
S: 103A  
T: 114,5A

Desequilibrio: 11,16%

Conductores de entrada: 3x70/35mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 1,636A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 378V  
ST: 383V  
TR: 377V

Caída de tensión: 3V (0,79%)

Esquema unifilar, plano n°:8

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: Cámaras 16 y 17

Tipo: Frío

Ubicación: al lado dock de carga

Provee energía a: Cámara 16 (15 forz. 1,5HP c/u + 21 eq. Fluo. 2x36W c/u)  
Cámara 17 (15 forz. 1,5HP c/u + 21 eq. Fluo. 2x36W c/u)  
Pasillo caliente (2 forz. 0,75HP c/u +10 eq. Fluo. 2x36W)  
Pasillo frío (5 forz. 0,75HP c/u +12 eq. Fluo. 2x36W)

Potencia instalada: 56kVA

Carga máxima medida: R: 57A  
S: n/m  
T: 50A

Desequilibrio: 14%

Conductores de entrada: 3x70/35mm<sup>2</sup> | Cu | XLPE

Densidad de corriente: 0,815A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 385V  
ST: 389V  
TR: 387V

Caída de tensión: sobretensión

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:9

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: Depósito de enfriado y antecámara

Tipo: Frío

Ubicación: Depósito de enfriado

Provee energía a: Dep. enfriado (8 forz. 1,5HP c/u + 16 eq. ilum. MH250W + motorred.  
puerta 0,75HP + resistencia de puerta)  
Antecámara n<sup>o</sup>3 (6 forz. 0,5HP c/u + 15 eq. fluo. 2x36W)  
Iluminación exterior  
Dock de carga  
Cortinas de enfriado

Potencia instalada: 30kVA

Carga máxima medida: R: 20A  
S: 29A  
T: 26A

Desequilibrio: 45%

Conductores de entrada: 3x35/16mm<sup>2</sup> | Cu | XLPE

Densidad de corriente: 0,83A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 379V  
ST: 377V  
TR: 381V

Caída de tensión: 1V ; 0,26%

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:10

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM1 - Noqueo

Tipo: Fuerza Motriz

Ubicación: faena zona sucia

Provee energía a: Guinche elevador (4HP)  
Noqueador dinamita  
Lavasuelas (2 de 0,5HP)  
Tablero TM5/3

Potencia instalada: 13kVA

Carga máxima medida: R: 6,3A  
S: 7,2A  
T: 6,4A

Desequilibrio: 14,28%

Conductores de entrada: 4x16mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 0,45A/mm<sup>2</sup>

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:11

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM2 - Faena

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: Faena zona limpia

Provee energía a: Sierra de dividir (2HP)

Potencia instalada: 1,9kVA

Carga máxima medida: n/m

Desequilibrio: n/m

Conductores de entrada: 3x10mm<sup>2</sup>+1x6mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: n/m

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:12

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM3 - Noria

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: casilla en terraza del edificio principal

Provee energía a: Noria Principal  
Noria de Transferencia  
Noria de Oreos  
Noria de Cabezas  
Noria de Vísceras

Potencia instalada: n/m

Carga máxima medida: R: 7A  
S: 8A  
T: 7,2A

Desequilibrio: 11,1%

Conductores de entrada: 4x16mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 0,5A/mm<sup>2</sup>

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:12

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM4 - Tipificación

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: Cercano al palco de tipificación

Provee energía a: Bajador de media res (motorreductor 1,5HP)

Iluminación palco tipificación (un reflector MH400W)

Potencia instalada: 2,148kVA

Carga máxima medida: R: 11,3A

S: 9,2A

T: 10A

Desequilibrio: 22,8%

Conductores de entrada: 4x4mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 2,825A/mm<sup>2</sup>

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:12

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM5/1 – Menudencias/Mondonguería

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: Menudencias

Provee energía a: Mondonguera n<sup>o</sup>1 (3HP)

Librillera n<sup>o</sup>2 (2HP)

Esmiladora de librillos (4HP)

Tab. TM5/2, TM5/3 y TM5/4

Potencia instalada: 8,4kVA

Carga máxima medida: R: 26,5A

S: 25,5A

T: 28A

Desequilibrio: 9,8%

Conductores de entrada: 2x6mm<sup>2</sup>+1x10mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: (6mm<sup>2</sup>): 4,42A/mm<sup>2</sup> ;(10mm<sup>2</sup>): 2,8A/mm<sup>2</sup>

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:13

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM5/2 - Menudencias

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: Menudencias

Provee energía a: lavasuelas (2 de 0,5HP)

Potencia instalada:0,932kVA

Carga máxima medida: es alimentado por el TM5/1

Desequilibrio: n/m

Conductores de entrada: 3x6mm<sup>2</sup>+1x4mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: n/m

Tensión entre fases: n/m

Caída de tensión: n/m

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:13

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM5/3 – Lavado de roldanas

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: Sala tratamiento de roldanas

Provee energía a: Guinche (1HP elevado, 1HP traslado)

Noria roldanas (0,5HP)

Forzadores (2 de 1,5HP + 1 de 0,5HP)

Potencia instalada: 8,586kVA

Carga máxima medida: es alimentado por el TM5/1

Desequilibrio: n/m

Conductores de entrada: 4x6mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: n/m

Tensión entre fases: n/m

Caída de tensión: n/m

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:14

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM5/4 – Hachadora de cabezas

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: Oreo de Menudencias

Provee energía a: Máquina Hachadora de cabezas (7HP)

Potencia instalada: 5,833kVA

Carga máxima medida: es alimentado por el TM5/1

Desequilibrio: n/m

Conductores de entrada: 4x6mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: n/m

Tensión entre fases: n/m

Caída de tensión: n/m

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:15

Actualmente se retiró esta máquina hachadora de cabezas debido a que presentaba un gran desgaste (era un equipo muy viejo, accionado por un motor eléctrico, con un volante, biela, y hacha), y fue reemplazada por una mucho más moderna, de accionamiento hidráulico, más segura y silenciosa. Esta incorpora una central hidráulica que la abastece, y es accionada por medio de un motor eléctrico de 4HP. El conexionado de esta maquina a la instalación eléctrica se realiza en el mismo punto en que lo hacía la vieja hachadora.

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM7 – Molino decomisos

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: Decomisos (al final de la faena zona limpia)

Provee energía a: Triturador o Molino (15HP)  
Guinche montacargas (1,5HP)

Potencia instalada: 13,9kVA

Carga máxima medida: R: 10A  
S: 8,5A  
T: 9,5A

Desequilibrio: 17,6%

Conductores de entrada: 3x25mm<sup>2</sup>+1x16mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 0,4A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 377V  
ST: 379V  
TR: 376V

Caída de tensión: 4V (1,05%)

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:16

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM9 - Termocontracción

Tipo: Fuerza motriz / Iluminación

Ubicación: Empaque

Provee energía a: Lavasuelas (0,5HP)  
Esterilizador UV  
Display temperatura cámaras  
Illum. escalera depósito de cajas  
Illum. cámara 8 y 9  
Illum. empaque secundario  
Illum. termocontracción

Potencia instalada: 12,17kVA

Carga máxima medida: n/m

Desequilibrio: n/m

Conductores de entrada: 4x6mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: n/m

Tensión entre fases: RS: 386V  
ST: 382V  
TR: 384V

Caída de tensión: sobretensión

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:17



## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM10 - Montacargas

Tipo: Fuerza motriz / Iluminación

Ubicación: Depósito de cajas

Provee energía a: Montacargas (2HP)

Esterilizador a resistencias (1500W)

Esterilizador UV

Ilum. depósito de cajas

Potencia instalada: 3,8kVA

Carga máxima medida: R: 10,5A

Desequilibrio: n/m

Conductores de entrada: 4x6mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 1,75A/mm<sup>2</sup>

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:18

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: TM11 - Calderas

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: Sala de calderas

Provee energía a: Tablero de caldera n<sup>o</sup>1 (13kVA)

Tablero de caldera n<sup>o</sup>2 (13kVA)

Bomba agua 90 (5,5kW)

Bomba agua 45 (5,5kW)

Extractores (2 de 1,5HP c/u)

Potencia instalada: 39,6kVA

Carga máxima medida: R: 27A

S: 25A

T: 26,6A

Desequilibrio: 8%

Conductores de entrada: 3x35mm<sup>2</sup>+1x16mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 0,77A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 377V

ST: 379V

TR: 380V

Caída de tensión: 3V (0,79%)

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:19



## Información detallada de los tableros:

### Tablero: Cintas y máquinas despostada

Tipo: Fuerza motriz / iluminación

Ubicación: Depósito de cajas

Provee energía a: Envasadoras de vacío (5), con una potencias de 8,5kW c/u.

Máquina de termocontracción

Cinta transportadora nº1 – desposte (2HP)

Cinta transportadora nº2 – huesos superior (1,5HP)

Cinta transportadora nº3 – transferencia (1,5HP)

Cinta transportadora nº4 – charqueo (2HP)

Cinta transportadora nº5 – huesos transver. (1HP)

Cinta transportadora nº6 – huesos secund. (1,5HP)

Cinta transportadora nº7 – empaque primario 1 (1HP)

Cinta transportadora nº8 – empaque primario 2 (1,5HP)

Cinta transportadora nº9 – empaque secund. 1 (1HP)

Cinta transportadora nº10 – empaque secund. 2 (1HP)

Cinta transportadora nº11– salida de grasa 1 (0,75HP)

Cinta transportadora nº12– salida de grasa 2 (0,75HP)

Cinta transportadora nº14– sinfín salida de huesos (5,5HP)

Esterilizador sierra a resistencia

Esterilizador UV

Iluminación despostada

Iluminación cuarteo

Potencia instalada: 50kVA

Carga máxima medida: R: 81A

S: 78A

T: 84A

Desequilibrio: 7,7%

Conductores de entrada: 3x35/16mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 2,4A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 380V

ST: 381V

TR: 379V

Caída de tensión: 1V ; 0,26%

Esquema unifilar, plano nº:21

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: Forzadores (anexo al TM3)

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: terraza, anexo al TM3

Provee energía a: Forzadores faena (11, que comprenden: 1x3/4HP, 9x1HP, y 1x1½HP)  
Forzadores menudencias (6, que comprenden: 3x1HP y 3x1½HP)  
Forzadores noqueo (2, que comprenden: 1x1HP y 1x1½HP)  
Forzadores cambia patas (2x1HP)  
Forzadores cuereadora (2x1HP)  
Forzadores palco tipificación (2x1½HP)  
Otros forzadores: Menudencias cabezas: 1½HP  
Menudencias zona rosa: 1½HP  
Menudencias lavadero: 1HP

Potencia instalada: 27,8kVA

Carga máxima medida: R: 56,1A  
S: 60,8A  
T: 69,8A

Desequilibrio: 24,4%

Conductores de entrada: 3x35/16mm<sup>2</sup> | Cu | PVC

Densidad de corriente: 2A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 387V  
ST: 386V  
TR: 390V

Caída de tensión: Sobretensión

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:22

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: Planta tratadora de efluentes

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: Casilla en planta tratadora de efluentes

Provee energía a: Bombas (3x5,5kW)  
Motor tamiz (1,5HP)  
Motor barredor (0,5HP)  
Bomba de grasa (2HP)  
Aireador (1,5kW)

Potencia instalada: 24,6kVA

Carga máxima medida: R: 15,1A  
S: 15,1A  
T: 14,9A

Desequilibrio: 1%

Conductores de entrada: 4x16mm<sup>2</sup> | Cu | XLPE

Densidad de corriente: 0,94A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 379V  
ST: 376V  
TR: 377V

Caída de tensión: 4V (1,05%)

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:23

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: Sala bombas de agua

Tipo: Fuerza motriz

Ubicación: sala bombas de agua

Provee energía a: Bombas sumergibles (2x7,5HP + 1x5,5HP + 1x4HP)  
Bombas elevadoras (3x15HP + 1x5HP)  
Tablero del Taller de Mantenimiento (Viejo)

Potencia instalada: 68,5kVA

Carga máxima medida: R: 106A  
S: 102A  
T: 103,5A

Desequilibrio: 3,9%

Conductores de entrada: 3x70/35mm<sup>2</sup> | Cu | XLPE

Densidad de corriente: 1,52A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 368V  
ST: 373V  
TR: 370V

Caída de tensión: 12V (3,15%)

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:24

## Información detallada de los tableros:

### Tablero: Sala de máquinas

Tipo: Fuerza motriz / Iluminación

Ubicación: Sala de máquinas

Provee energía a: Magnetrol tanque NH3 1 y 2  
Ilum. exterior (8MH400W)  
Ilum. interior (4R500W+18F36W)  
Electrocure  
Amoladora de pié  
Bomba de agua (5,5HP)  
Bomba reemplazo (1HP)

Potencia instalada: 12,4kVA

Carga máxima medida: R: 0,5A  
S: 0,7A  
T: 1A

Desequilibrio: 50%

Conductores de entrada: 4x6mm<sup>2</sup> | Cu | PVC (principal) y 4x4mm<sup>2</sup> | Cu | PVC (anexo)

Densidad de corriente: 0,16A/mm<sup>2</sup>

Tensión entre fases: RS: 381V  
ST: n/m  
TR: 380V

Caída de tensión: n/m

Esquema unifilar, plano n<sup>o</sup>:25

## Proyecto de cálculo: Ampliación de Subestación Transformadora:

Una de las inquietudes que se me fueron puestas en manifiesto al poco tiempo de ingresar en la organización, es la urgente necesidad de ampliar la capacidad instalada para proveer energía a la planta, es decir, ampliar la capacidad de la subestación transformadora. Esta subestación toma energía de la red de 13,2kV y transforma a 0,38kV mediante dos trafos de distribución.

El inconveniente es que la potencia instalada del lado de los consumos es superior a la capacidad instalada en la subestación, por lo que si no surgen inconvenientes es debido al factor de simultaneidad. Como consecuencia de esto es que los trafos funcionan muy exigidos, a punto tal que se producen fallas en el verano, cuando se requiere un uso más intensivo de los compresores de amoníaco utilizados para refrigeración.

Cuando fui avanzando en el relevamiento de las instalaciones obtuve datos más precisos de la situación, lo que se presenta en el siguiente cuadro:

	Trafo nº1	Trafo nº2
Potencia nominal	750kVA	500kVA
Corriente nominal	1080A	724A
Provee energía a	Compresores	General
Potencia instalada	826kVA	683kVA
Mayor carga medida*	807A(fase T)	759A (fase R)
% de utilización	88,7%	104,8%

\*correspondiente al mes de mayo de 2005

Además hay que tener en cuenta que el actual trafa nº1 no es el original, es un trafa alquilado debido a que se produjo una falla en el conmutador del trafa propio de la empresa (630kVA), y fue retirado con el fin de repararlo.

El cálculo de la nueva subestación transformadora se realizó previendo la demanda de la futura ampliación a realizarse en el corto plazo, para lo que fue necesario investigar sobre los alcances (en materia energética) de esta futura ampliación. Averiguando entre las partes técnicas de los presupuestos intervinientes, y afirmando estos datos previa consulta al Jefe de Mantenimiento, se llegó a elaborar la siguiente lista con los componentes eléctricos a agregar:

Cantidad	Item	(kVA)
1	Motor 350HP para comp. de NH3 (reemplazo de 250HP)	+70
1	Motor 200HP para comp. de baja nuevo	186
1	Bomba de aceite para comp. nuevo (5,5kW)	6,8
1	Bomba de amoníaco (10HP)	9,32
2	Ventiladores para condensador evaporativo (15HPc/u)	28
2	Bombas de agua para cond. evap. (7,5HPc/u)	14
30	Evaporadores para cámaras 19 y 20 (1,5HPc/u)	42
2	Evaporadores para pulmón despacho carne (1,5HPc/u)	2,8
2	Evaporadores preparación de menudencias (0,5HPc/u)	1
2	Evaporadores cámara 11(enfriado de menud.) (4HPc/u)	7,5
2	Evaporadores despacho de menudencias (0,5HPc/u)	1
1	Motorreductor pasillo lavabotas paso obligatorio (1HP)	1
2	Envasadoras de vacío de doble campana (5,5kWc/u)	13,7

Basándome en estos datos que me fueron provistos, la potencia a instalar rondaría los 393kVA, por lo que manejando esta información, y la disposición actual de los consumos en el tablero de distribución principal (ver plano nº2: Tablero Principal con potencias), surgen dos opciones aparentemente viables: en una de ellas se agregaría un trafo de 630kVA para trabajar en paralelo con el trafo de 630kVA en reparación, manteniendo el actual trafo de 500kVA, con lo que la distribución propuesta de los consumos sería la siguiente:

Trafo nº1: 630kVA (nuevo)		Trafo nº2: 630kVA (viejo)	
Carga a considerar	Pot. (kVA)	Carga a considerar	Pot. (kVA)
Comp. Nº1 (350HP)	291	Comp. Nº2 (350HP)	291
Comp. Nº 5 (175HP)	148	Comp. Nº3 (125HP)	110
Comp. Nº4 (80HP)	68	TF1	5
Bombas de amoniaco	42	TF2	35
Bombas de agua	20	TF3	35
Ventiladores sala maq.	7,5	TF4	70
Torre evap. Nº1	7,5	TF futura ampliación	55
Torre evap. Nº2	5,5	TF cámaras 16 y 17	28
Torre evap. Nº3	11,2	Torre evap. Nº4	26
Torre evap. Nº5	40		
TF deposito enfriado	21		

Trafo nº3: 500kVA	
Carga a considerar	Pot. (kVA)
Comp. de aire Nº1	55
Comp. de aire Nº2	55
Forzadores de aire	35
Tab. de iluminación	65
Tab, de fuerza motriz	52
Tab. fuerza mot. Generales	240
Tab. Varios	4

Con esta distribución, tendríamos una carga total instalada para los dos trafos de 630kVA en paralelo de 1316,7kVA (104,5% de la capacidad), mientras que para el trafo de 500kVA tendríamos una carga instalada de 506kVA (101,2% de la capacidad). Con estos números podemos decir que esta propuesta solo es viable debido nuevamente al factor de simultaneidad, porque la potencia instalada supera a la capacidad de transformación, corriéndose el riesgo de sufrir inconvenientes (aunque en menor medida que en la actualidad) en épocas de consumo elevado.

La otra opción que se maneja consta de la colocación de un trafo de 1000kVA, agregado a los actuales de la empresa: el de 630kVA y el de 500kVA. Para este caso, sería necesaria una distribución un poco más precisa, debido a que obviamente los trafos no pueden funcionar en paralelo (aunque igualmente se hace necesaria la instalación de enlaces de barras para paliar posibles fallas).

La propuesta lograda para distribuir las cargas sería la que sigue:

Trafo nº1: 1000kVA		Trafo nº2: 630kVA	
Carga a considerar	Pot.(kVA)	Carga a considerar	Pot.(kVA)
Comp. Nº1 (350HP)	291	Comp. Nº3 (125HP)	110
Comp. Nº5 (175HP)	148	Comp. Nº2 (350HP)	291
Comp. Nº4 (80HP)	68	TF1	5
Bombas de amoniaco	42	TF2	35
Bombas de agua	20	TF3	35
Ventiladores sala maq.	7,5	TF cámaras 16 y 17	28
Torre evap. Nº1	7,5	TF deposito enfriado	21
Torre evap. Nº2	5,5	Torre evap. Nº4	26
Torre evap. Nº3	11,2		
Compresor de aire Nº1	55		
Torre evap. Nº5	40		
TF4	70		
TF ampliación	55		

Trafo Nº3: 500kVA	
Carga a considerar	Pot.(kVA)
Compresor de aire Nº2	55
Forzadores de aire	35
Tableros de iluminación	65
Tableros de fuerza motriz	52
Tab. de f.m. generales	240
Tableros varios	4

Con esta distribución, tendríamos una carga total instalada para el trafo de 1000kVA de 820,7kVA (un 82% de su capacidad), mientras que para el trafo de 630kVA sería de 551kVA (87% de su capacidad), y por último, el trafo de 500kVA tendría una carga de 451kVA (90% de su capacidad).

Así podemos asegurar que esta propuesta proporciona una mayor seguridad de continuidad del servicio, debido a que los trafos funcionan más aliviados (aunque ninguno trabajaría con baja carga, donde las pérdidas se hacen proporcionalmente mayores), además de que deja abierta la posibilidad de pensar en una futura ampliación (de hasta 267kVA, con lo que se alcanzaría el 100% de uso de la capacidad instalada), sin necesidad de realizar inversiones en la subestación transformadora. Además hay que tener en cuenta que en el edificio en el que se encuentra instalada la subestación no hay espacio físico para agregar un cuarto trafo, pensando en una futura ampliación.

Nuevamente desde el punto de vista económico podemos decir que se obtienen mejores beneficios al comprar un trafo de 1000kVA respecto de uno de 630kVA, ya que la diferencia en el costo es proporcionalmente menor a la diferencia de las potencias que estos trafos manejan. (Se paga menos por cada kVA obtenido). Respecto del resto de los componentes a agregar en la subestación necesarios para la incorporación de un nuevo trafo (elementos de protección y maniobra), se tiene que no representa un gasto sustancialmente mayor la colocación de un trafo de 1000kVA respecto de uno de 630kVA, ya que todos los instrumentos nuevos necesarios no varían en gran medida su precio respecto de los de menor capacidad.

Cabe destacar que es de primordial importancia para el diseño que sea posible mantener un mínimo de consumos de energía en caso de que se produzca una falla en alguno de los componentes de la subestación transformadora, que permita asegurar la continuidad



de la faena ya comenzada, la continuidad de las líneas de oreo, y de la cadena de frío. Para esto se averiguó cuáles eran los consumos necesarios para lograrlo, siendo éstos descritos a continuación:

Cargas a intentar mantener	Pot. (kVA)
Compresor nº2 Mycom 350HP baja (nuevo)	290
Bomba de aceite del compresor (5,5HP)	5
Bombas de amoníaco (2 x 7,5HP)	14
Bomba de agua de evaporador EVAPCO (5,5kW)	6,5
Forzador de aire de evaporador EVAPCO (21HP)	19
Tableros de frío: de todos algo: Considerar el de mayor potencia	70
Compresor de aire nº1	55
Caldera de menor capacidad	15
Tableros de FM: TM1 noqueo	6
Tableros de FM: TM2 faena	2
Tableros de FM: TM3 norias	8
Tableros de FM: TM4 tipificación	8
Tableros de Iluminación: Administración	5
Tableros de Iluminación: taller faena	7,4
Tableros de Iluminación: Inspección (TS4/1, TS4/2 y TS4/3)	4,3
Tableros de Iluminación: Cámaras 2,3 y 4	2,7
Tableros de Iluminación: Cámaras 16 y 17	6
Tableros de Iluminación: Oreos (TS8 y tab. oreo frente a cám. 1)	5,5
Tableros de Iluminación: Calderas (TS14)	1,5
Tableros Varios: Sala de máquinas	5
Tableros Varios: Cuarteo primera etapa	3
Tableros Varios: Oficina de sistemas	1,5
Tableros Varios: Central Hidráulica	20
Tableros Varios: Bombas de agua (1 cisterna + 2 pozos)	28
Tableros Varios: Corrales	5
Tableros Varios: Taller de mantenimiento	1
Tableros Varios: Planta tratadora de efluentes	13
Tableros Varios: Administ./Programación/RRHH/Usuarios/etc.	10
Total aproximado de potencia a intentar mantener	622

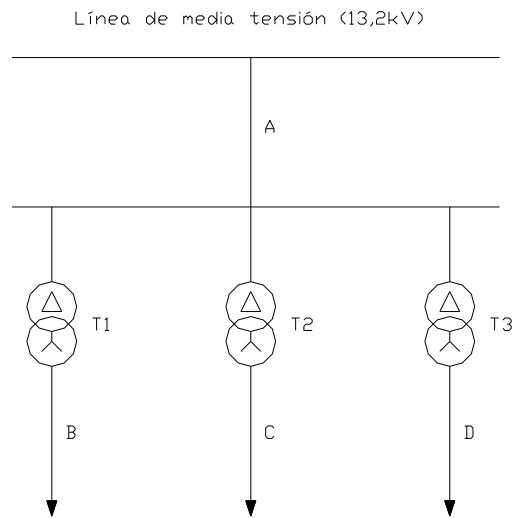
NOTA: para ver los ítems seleccionados y su ubicación en el tablero principal, véase el plano nº2: Tablero Principal con indicación de potencias instaladas, en el CD adjunto.

Conociendo todos estos datos, el paso siguiente consistió en comenzar el cálculo de la subestación transformadora, teniendo en cuenta todos y cada uno de sus componentes, para lo que se realizó un relevamiento de los mismos.

La idea era verificar que los componentes instalados sean aptos teniendo en cuenta la potencia instalada y a instalar, así como el dimensionamiento y selección de los futuros componentes a colocar con motivo de la ampliación.

Para realizar el cálculo fue necesaria la consulta a la cooperativa proveedora del servicio eléctrico, para conocer los datos de la línea de media tensión que provee energía a la planta. Se pudo conocer que ésta transporta energía en 13,2kV, tiene aproximadamente 15km, y la corriente de cortocircuito trifásico es de 1352A, por lo que la potencia de cortocircuito trifásico es de 30,91MVA.

El cálculo de la subestación comenzó con el cálculo de las corrientes de cortocircuito actuantes. Para esto se consideró el siguiente esquema:



En el cual podemos ver la línea de media tensión, la bajada de energía, las barras principales y de alimentación de los trafos, los posibles puntos de cortocircuito (A, B, C y D) y los tres transformadores a instalar (T1, T2 y T3).

Datos de la línea:  $U=13,2\text{kV}$   
 $I_{cc}=1352\text{A}$  → para cortocircuito trifásico.  
 $P_{cc}=\sqrt{3}.I_{cc}.U=30,91\text{MVA}$   
 $P_n=2130\text{kVA}$  →  $I_n=93\text{A}$

Datos de los trafos:

	Trafo nº1 - 500	Trafo nº2 - 630	Trafo nº3 - 1000
Tensión de primario	13,2kV	13,2kV	13,2kV
Tensión de secundario	0,4-0,231kV	0,4-0,231kV	0,4-0,231kV
Potencia	500kVA	630kVA	1000kVA
Reactancia subtransitoria	4%	4%	6%

Considerando un cortocircuito en el punto A:

$$I_{cc}=1,352\text{kA}$$

$$I_{ch}=2,55.I_{cc}=3,4476\text{kA}$$

$$I_{cc}/I_n \approx P_{cc}/P_n \approx 1352/93=14,5$$

Suponiendo un retardo mínimo de desconexión de 0 segundo (fusibles), se obtiene :

$$\mu=1 \quad \text{Luego:}$$

$$I_d=\mu.I_{cc}=1.1,352 \rightarrow I_d=1,352\text{kA}$$

Ese es el valor de la corriente de desconexión. De ahí surge que:

$$P_r=\mu.P_{cc}=1.30,91\text{MVA} \rightarrow P_r=30,91\text{MVA}$$

Ese es el valor de la capacidad de ruptura mínima de las protecciones.

Según la figura, para  $I_{cc}/I_n=14,5$  y funcionando a plena carga, tenemos:

$$\mu_d=0,25 \quad \text{Luego:}$$

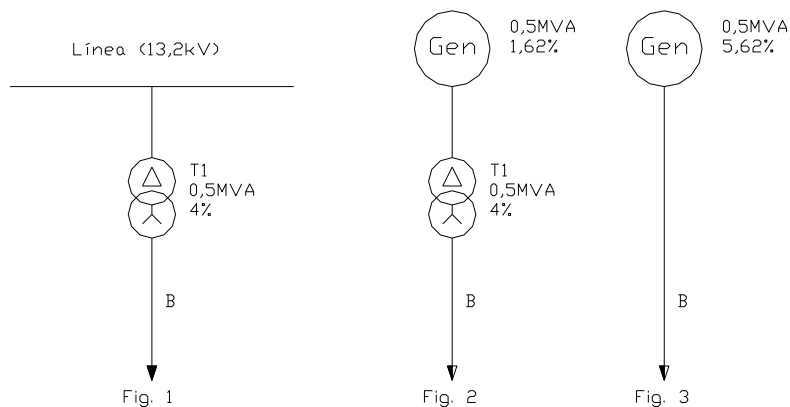
$$I_p=\mu_d \cdot I_{cc}=0,25 \cdot 1,352\text{kA} \rightarrow I_p=0,338\text{kA}$$

Ese es el valor de la corriente permanente de cortocircuito.

Estos cálculos son todos los que corresponden a un cortocircuito en el punto A. Si tuviésemos un cortocircuito en el punto B, tenemos:

### Corto circuito en el punto B:

La situación sería la que se plantea a continuación:



En un principio, tendríamos lo correspondiente a la figura nº1, pero si sustituimos a la línea por un generador de igual potencia a la del trafo (500kVA) pero con la correspondiente potencia de cortocircuito ( $P_{cc}=30,91\text{MVA}$ ), se tiene que la reactancia subtransitoria será:

$$X_d=P/P_{cc} \cdot 100=(0,5/30,91) \cdot 100 \rightarrow X_d=1,62\%$$

Conociendo este dato, podemos pasar de la figura 1 a la figura 2.

El próximo paso es sumar las reactancias subtransitorias, por lo que obtendríamos lo esquematizado en la figura 3: un generador equivalente con una potencia igual a la del trafo (0,5MVA) y con una reactancia subtransitoria de 5,62%. Con todo esto, se tiene:

$$P_{cc}=(P/X_d) \cdot 100=(0,5/5,62) \cdot 100 \rightarrow P_{cc}=8,896\text{MVA}$$

$$I_{cc}=P_{cc}/(\sqrt{3} \cdot U)=8,896/(1,73 \cdot 0,38) \rightarrow I_{cc}=13,52\text{kA}$$

$$I_{ch}=2,55 \cdot I_{cc}=2,55 \cdot 13,52\text{kA} \rightarrow I_{ch}=34,47\text{kA}$$

$$I_{cc}/I_n \approx P_{cc}/P_n \approx 13520/760=17,8$$

Suponiendo un retardo mínimo de desconexión de 0 segundo (fusibles), se obtiene:

$$\mu=1 \quad \text{Luego:}$$

$$I_d = \mu \cdot I_{cc} = 1 \cdot 13,52 \rightarrow I_d = 13,52 \text{ kA}$$

Ese es el valor de la corriente de desconexión. De ahí surge que:

$$P_r = \mu \cdot P_{cc} = 1 \cdot 8,896 \text{ MVA} \rightarrow P_r = 8,896 \text{ MVA}$$

Ese es el valor de la capacidad de ruptura mínima de las protecciones.

Según la figura, para  $I_{cc}/I_n = 17,8$  y funcionando a plena carga, tenemos:

$$\mu_d = 0,2 \quad \text{Luego:}$$

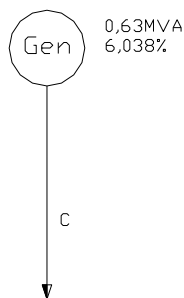
$$I_p = \mu_d \cdot I_{cc} = 0,2 \cdot 13,52 \text{ kA} \rightarrow I_p = 2,7 \text{ kA}$$

Ese es el valor de la corriente permanente de cortocircuito.

Estos cálculos son todos los que corresponden a un cortocircuito en el punto B. Si tuviésemos un cortocircuito en el punto C, tenemos:

### Corto circuito en el punto C:

En definitiva, la situación sería la que se plantea a continuación:



Realizando el procedimiento análogo al caso anterior, obtenemos lo esquematizado en la figura, es decir un generador equivalente con una potencia igual a la del trafo (0,63 MVA) y con una reactancia subtransitoria que será:

$$X_d' = (P/P_{cc}) \cdot 100 = (0,63/30,91) \cdot 100 \rightarrow X_d' = 2,038\%$$

Si consideramos la propia del trafo, que era del 4%, tenemos en total para este caso:

$$X_d = 6,038\%$$

Entonces, utilizando los datos de la fig. 4, tenemos:

$$P_{cc} = (P/X_d) \cdot 100 = (0,63/6,038) \cdot 100 \rightarrow P_{cc} = 10,43 \text{ MVA}$$

$$I_{cc} = P_{cc} / (\sqrt{3} \cdot U) = 10,43 / (1,73 \cdot 0,38) \rightarrow I_{cc} = 15,85 \text{ kA}$$

$$I_{ch} = 2,55 \cdot I_{cc} = 2,55 \cdot 15,85 \text{ kA} \rightarrow I_{ch} = 40,42 \text{ kA}$$

$$I_{cc}/I_n \approx P_{cc}/P_n \approx 15850/957 = 16,55$$

Suponiendo un retardo mínimo de desconexión de 0 segundo (fusibles), se obtiene:

$$\mu = 1 \quad \text{Luego:}$$

$$I_d = \mu \cdot I_{cc} = 1 \cdot 15,85 \rightarrow I_d = 15,85 \text{ kA}$$

Ese es el valor de la corriente de desconexión. De ahí surge que:

$$P_r = \mu \cdot P_{cc} = 1 \cdot 10,43 \text{ MVA} \rightarrow P_r = 10,43 \text{ MVA}$$

Ese es el valor de la capacidad de ruptura mínima de las protecciones.

Según la figura, para  $I_{cc}/I_n = 16,55$  y funcionando a plena carga, tenemos:

$$\mu_d = 0,2 \quad \text{Luego:}$$

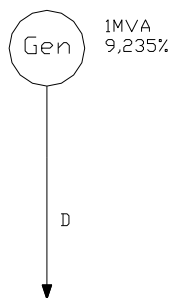
$$I_p = \mu_d \cdot I_{cc} = 0,2 \cdot 15,85 \text{ kA} \rightarrow I_p = 3,17 \text{ kA}$$

Ese es el valor de la corriente permanente de cortocircuito.

Estos cálculos son todos los que corresponden a un cortocircuito en el punto C. Si tuviésemos un cortocircuito en el punto D, tenemos:

### Corto circuito en el punto D:

La situación sería la que se plantea a continuación:



Realizando el procedimiento análogo al caso anterior, obtenemos lo esquematizado en la figura, es decir un generador equivalente con una potencia igual a la del trafo (1MVA) y con una reactancia subtransitoria que será:

$$X_d' = (P/P_{cc}) \cdot 100 = (1/30,91) \cdot 100 \rightarrow X_d' = 3,235\%$$

Si consideramos la propia del trafo, que era del 6%, tenemos en total para este caso:

$$X_d = 9,235\%$$

Entonces tenemos:

$$P_{cc}=(P/X_d).100=(1/9,235).100 \rightarrow P_{cc}=10,83\text{MVA}$$

$$I_{cc}=P_{cc}/(\sqrt{3}.U)=10,83/(1,73.0,38) \rightarrow I_{cc}=16,45\text{kA}$$

$$I_{ch}=2,55.I_{cc}=2,55.16,45\text{kA} \rightarrow I_{ch}=41,95\text{kA}$$

$$I_{cc}/I_n \approx P_{cc}/P_n \approx 16450/1520=10,827$$

Bajo iguales condiciones de retardo, se obtiene:

$$\mu=1 \quad \text{Luego:}$$

$$I_d=\mu.I_{cc}=1.16,45 \rightarrow I_d=16,45\text{kA}$$

Ese es el valor de la corriente de desconexión. De ahí surge que:

$$P_r=\mu.P_{cc}=1.10,83\text{MVA} \rightarrow P_r=10,83\text{MVA}$$

Ese es el valor de la capacidad de ruptura mínima de las protecciones.

Según la figura, para  $I_{cc}/I_n=10,83$  y funcionando a plena carga, tenemos:

$$\mu_d=0,32 \quad \text{Luego:}$$

$$I_p=\mu_d.I_{cc}=0,32.16,45\text{kA} \rightarrow I_p=5,264\text{kA}$$

Ese es el valor de la corriente permanente de cortocircuito. Estos cálculos son todos los que corresponden a un cortocircuito en el punto D.

Con todo esto, disponemos de las características que deberían tener los posibles cortocircuitos en las instalaciones proyectadas.

Estos cálculos se plantearon bajo la posibilidad de un cortocircuito trifásico, pero se sabe que los más perjudiciales son los cortocircuitos bipolares, cuyos valores de corrientes se obtienen aproximadamente al multiplicar los valores de corrientes obtenidos para cortocircuitos trifásicos por un coeficiente que varía de 0,9 a 1,4. La elección de este valor depende de cuán cerca se produce el corto respecto del generador. Vamos a adoptar entonces para todos los casos posibles de cortocircuito, un coeficiente de 1,4 (el más desfavorable). Podemos así confeccionar una tabla con los valores obtenidos:

Tabla de valores de corrientes para cortocircuitos bipolares				
Punto	I de corto ( $I_{cc}$ )	I de choque ( $I_{ch}$ )	I desconexión ( $I_d$ )	I permanente ( $I_p$ )
A	1,8928kA	4,826kA	1,8928kA	0,4732kA
B	18,928kA	48,258kA	18,928kA	3,78kA
C	22,19kA	56,58kA	22,19kA	4,438kA
D	23,03kA	58,73kA	23,03kA	7,36kA

Conociendo las corrientes intervinientes ya estamos en condiciones de calcular los esfuerzos provocados en caso de cortocircuito. Para cada tipo de esfuerzo a verificar,

debemos utilizar un tipo distinto de corriente de cortocircuito: los esfuerzos electrodinámicos se verifican utilizando la corriente de choque, la capacidad de ruptura de los elementos de protección se determina utilizando la corriente de desconexión, mientras que los esfuerzos térmicos se determinan utilizando principalmente la corriente permanente.

### Esfuerzos electrodinámicos:

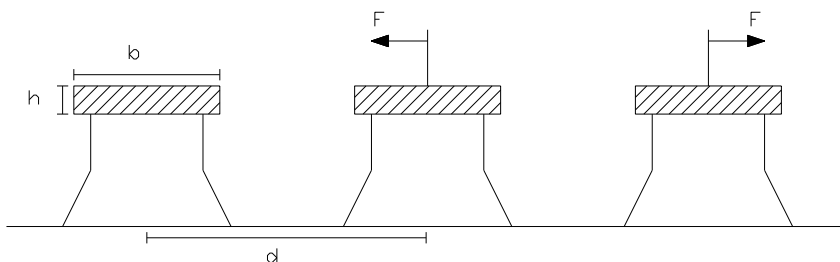
Estos se deben verificar en barras, apoyos, aisladores y demás elementos de las instalaciones. Consideraremos, como ya dijimos, un cortocircuito bipolar, ya que es más sencillo de calcular, y es el más desfavorable. Como es de esperar, los máximos esfuerzos se producen cuando fluye la corriente de choque, que es la mayor. La teoría utilizada para el cálculo se basa en que la fuerza producida entre dos conductores situados a una distancia (d) entre sí (expresada en cm.), y por los que circula la corriente de choque (I<sub>ch</sub>) (expresada en kA), viene dada por:

$$F=2,04.(I_{ch}^2/d) \text{ [kg/m]}$$

Que como vemos, viene expresada por metro de conductor.

Colocando las barras como puede verse en la figura siguiente, se tiene que el momento resistente será:

$$W_r=h.b^2/6 \text{ [cm}^3\text{]}$$



Para dimensionar las barras, se debe considerar a éstas como vigas sometidas a una carga uniformemente distribuída, donde el momento de flexión será:

$$M=F.l/16 \text{ [kg.cm]}$$

Siendo (l) la longitud entre apoyos, expresada en [cm]. Como el momento resistente necesario viene dado por:

$$W_{rn}=M/k \text{ [cm}^3\text{]}$$

Donde (k) es la carga admisible del cobre, que varía entre 1000 y 1200kg/cm<sup>2</sup>

Puede verse entonces que para que una instalación sea apropiada, debe cumplir:

$$W_r > W_{rn}$$

Con lo que se verifica, y en caso de no cumplir, deben cambiarse algunos parámetros convenientemente.

Cálculo de los esfuerzos electrodinámicos en el punto A:

Como primera medida de aproximación, podemos determinar la distancia entre barras teniendo en cuenta que el mínimo reglamentario es de 10cm más 1cm por cada (kV) de tensión de la línea:

$$d_{\min}=10+1.13,2 \rightarrow d_{\min}=23,2\text{cm}$$

Como en lo actualmente emplazado tenemos  $d=26\text{cm}$ , vemos que cumple con la primera aproximación. Además, en lo actual, la máxima distancia entre apoyos medida fue de 99cm.

Como habíamos calculado, en media tensión (13,2kV) y para un cortocircuito en el punto A, tenemos:

$$I_{ch}=4,826\text{kA}$$

Entonces el esfuerzo será:

$$F=2,04.(4,826^2.1/26)=1,827\text{kg.}$$

Mientras que el momento de flexión será:

$$M=1,827.99/16=11,3\text{kg.cm}$$

Como tenemos barras de Cu, adoptando la menor carga admisible ( $k=1000\text{kg/cm}^2$ ), el momento resistente necesario será de:

$$W_{rn}=M/k=11,3/1000 \rightarrow W_{rn}=0,0113\text{cm}^3$$

Para calcular el momento resistente, vamos a considerar nuestras barras, que son de 50x5mm y de emplazamiento paralelo a la pared. Entonces:

$$W_r=(5^2.0,5)/6 \rightarrow W_r=2,08\text{cm}^3$$

Que por lo que vemos, nos alcanza para cumplir holgadamente los esfuerzos electrodinámicos.

### Esfuerzos Térmicos:

Los esfuerzos térmicos que se desarrollan en el cortocircuito dependen del cuadrado de la intensidad permanente, y de la duración del corto; pero es necesario también considerar los esfuerzos provocados (aunque se trate de un pequeño lapso) por la corriente de choque. Para esto se agrega un diferencial de tiempo que es:

$$\Delta t=(I_{cc}/I_p)^2.T$$

donde T es un factor de tiempo a determinar, sabiendo que:

- Para cortocircuito trifásico:  $0,15 < T < 0,3$
- Para cortocircuito bipolar:  $0,25 < T < 0,6$

Y dentro de esta clasificación, se tiene que los valores de T se eligen menores cuanto mayores sean las distancias del punto afectado (del punto en consideración) al punto donde se halla producido el cortocircuito.



Ya conociendo el valor de  $\Delta t$ , debemos aplicar:

$$\theta = (k \cdot I_p^2 / s^2) \cdot (t + \Delta t) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

donde:  $(\theta)$  es el calentamiento (en  $^\circ\text{C}$ )  
 $(s)$  es la sección del conductor (en  $\text{mm}^2$ )  
 $(k)$  es la constante del material ( $k=0,0058$  para Cu)  
 $(t)$  es el tiempo transcurrido desde la iniciación del cortocircuito hasta la desconexión de los elementos de protección. (en s)

Se tiene que para el caso de barras desnudas, las sobre temperaturas admisibles son:

- Conductores de cobre:  $200^\circ\text{C}$
- Conductores de aluminio:  $180^\circ\text{C}$

Mientras que para cables de baja tensión, de cobre, podemos admitir una temperatura de hasta  $150^\circ\text{C}$ , y para cables de media tensión debemos remitirnos a la siguiente lista:

- Cables para  $U_n=6\text{kV} \rightarrow 120^\circ\text{C}$
- Cables para  $U_n=13,2\text{kV} \rightarrow 110^\circ\text{C}$
- Cables para  $U_n=20\text{kV} \rightarrow 100^\circ\text{C}$
- Cables para  $U_n=33\text{kV} \rightarrow 80^\circ\text{C}$

Cálculo de los esfuerzos térmicos:

Considerando un corto circuito en el punto A (media tensión), adoptamos el factor de tiempo más desfavorable ( $T=0,6\text{s}$ ), que corresponde a un cortocircuito bipolar producido a una distancia lo más corta posible al punto afectado. Entonces:

$$\Delta t = (1,352/0,4732)^2 \cdot 0,6 \rightarrow \Delta t = 4,89\text{s}$$

Considerando un tiempo de  $10\text{ms}$  transcurrido desde la iniciación del corto hasta la desconexión por parte de los fusibles HH intervinientes (Informativo sobre los fusibles HH de Sica electric), podemos aplicar entonces la ecuación general:

$$\theta = (0,0058 \cdot 473,2^2 / 250^2) \cdot (0,01 + 4,89) \rightarrow \theta = 0,1018^\circ\text{C}$$

Por lo que se puede apreciar, este requisito también es cumplido holgadamente por las actuales barras de  $50 \times 5\text{mm}$ .

Por último debemos verificar la corriente nominal que iría a circular por la barra. Para esto debemos tener en cuenta que la potencia instalada es de:

$$P = 500\text{kVA} + 630\text{kVA} + 1000\text{kVA} \rightarrow P = 2130\text{kVA}$$

Por lo que la demanda máxima de corriente del lado de  $13,2\text{kV}$  será:

$$I = P / \sqrt{3} \cdot U = 2130 / \sqrt{3} \cdot 13,2 \rightarrow I = 94\text{A}$$

Observando la tabla para selección de barras, se tiene que una barra de  $50 \times 5\text{mm}$  soporta hasta  $700\text{A}$  si se encuentra pintada como en nuestro caso, por lo que supera ampliamente los requerimientos.

Todos estos cálculos se realizaron pensando en las barras, pero el otro conductor que se encuentra dentro de lo que correspondería al "punto A" son los cables. El actual conductor

de 13,2kV es un tripolar de 25mm<sup>2</sup> que se encuentra muy deteriorado, por lo que sería recomendable reemplazarlo, más aún si consideramos el aumento de la potencia requerida. Elegimos para esto un conductor con aislamiento XLPE (polietileno reticulado) de categoría II (mayor espesor de la aislación), tripolar, de Cu, de 3x35mm<sup>2</sup>, que soporta hasta 157A al aire. Como ese valor de corriente es mayor que la que se calcula debería circular, el cálculo de la densidad de corriente se satisface. Faltaría entonces realizar el cálculo de los esfuerzos térmicos a los que será sometido.

Siendo el cálculo del diferencial de tiempo idéntico, lo que debemos pasar a calcular es directamente el calentamiento. Entonces:

$$\theta_{\text{cond}}=(0,0058.473,2^2/35^2).(0,01+4,89) \rightarrow \theta_{\text{cond}}=5,2^{\circ}\text{C}$$

Lo cual lo hace apto, ya que soportan por norma, al menos 110°C.

Considerando un corto circuito en el punto D (punto más desfavorable del lado de baja tensión), adoptamos un factor de tiempo de T=0,6s. Entonces:

$$\Delta t=(16,45/7,36)^2.0,6 \rightarrow \Delta t=3\text{s}$$

ahora podemos aplicar la ecuación general:

$$\theta=(0,0058.7360^2/150^2).(0,01+3) \rightarrow \theta=45,38^{\circ}\text{C}$$

Los conductores para baja tensión a utilizar soportan todos hasta 160°C, y como podemos ver, el conductor utilizado en este caso es de 150mm<sup>2</sup> de sección, y se utilizará tanto en el tramo que va desde la bajada del transformador hasta el interruptor principal, como en el tramo que va desde el interruptor principal hasta el tablero principal en sala de máquinas. Ahora debemos comprobar a este conductor elegido por densidad de corriente, para lo cual debemos tener en cuenta que la potencia instalada es de:

$$P=1000\text{kVA}$$

Por lo que la demanda de corriente del lado de 0,38kV será:

$$I=P/\sqrt{3}.U=1000/\sqrt{3}.0,38 \rightarrow I=1520\text{A}$$

Observando la tabla para la selección de conductores, vemos que los conductores de 150mm<sup>2</sup> de sección soportan una corriente nominal de 463A en aire y 429A en tierra, por lo que se hace necesaria la colocación de 4 conductores de estas características, con lo que se obtendría una corriente admisible máxima del conjunto de 1716A. Entonces:

- Conductores para baja tensión: 4x(3x150/70mm<sup>2</sup>), I<sub>adm.conj.</sub>=1716A.  
Para el tramo entre el transformador y el interruptor principal (22m) se necesitan 264 metros para las fases y 88 metros para el neutro, mientras que para el tramo entre el interruptor principal y el tablero principal (36m) se necesitan 432 metros para las fases y 144 metros para el neutro.

Nota: en la descripción anterior se anotaron como conductores tetrapolares para facilitar la comprensión, pero en realidad deben colocarse conductores unipolares. Respecto al emplazamiento de los mismos se tiene que debe realizarse en 4 ductos (3 fases + neutro), y debe evaluarse económicamente la sugerencia planteada por el ingeniero Charritton, que consiste en dejar instalados los conductores correspondientes a una fase para casos de emergencia. Como puede verse es una buena propuesta desde el punto de vista

técnico y de la calidad de servicio (ya que ante un inconveniente en los conductores, éste se podría solucionar en minutos), pero representa sin dudas un costo mayor en la instalación.

### Limitación de las corrientes de cortocircuito:

Se puede considerar que una instalación está asegurada contra cortocircuitos, si la capacidad de ruptura de los elementos de protección, así como las resistencias mecánica y térmica de los elementos del sistema superan los máximos esfuerzos que se pueden presentar en dicho sistema.

Si fuese necesario disminuir el efecto de las corrientes de cortocircuito, no sería factible elevar la tensión de servicio ya que todos los consumos están preparados para trabajar con una tensión nominal de 380V entre fases, por lo que esta necesidad quedaría acotada al aumento de la impedancia de cortocircuito. Este aumento puede realizarse a partir del aumento de la resistencia o de la reactancia del circuito, aunque pensar en un aumento de la resistencia no es ventajoso debido al consiguiente aumento de las pérdidas por efecto Joule. Entonces aumentar la reactancia del sistema resulta ser el único método eficaz, y se puede lograr intercalando bobinas de inducción, las que se construyen con núcleo de aire para que el valor de la reactancia sea siempre proporcional a la corriente. Debe considerarse que las bobinas o reactancias limitadoras (también llamadas bobinas de choque) no pueden utilizarse en baja tensión, debido a que las importantes corrientes de servicio generarían grandes pérdidas, y es así que su uso queda acotado a sistemas de media y alta tensión. Observando nuestro sistema del lado de media tensión, se tiene que sólo nos faltaría seleccionar los elementos de protección, pero sabemos que cualquier fusible de alta capacidad de ruptura supera los 10kA, cuando nosotros tenemos apenas 1,5kA como corriente de desconexión. Todo esto sugiere que no sería necesario pensar en colocar elementos limitadores de las corrientes de cortocircuito.

### Elementos de protección: Protección de Transformadores:

En la actualidad se emplean elementos de protección selectivos, sensibles y de acción rápida, como la protección diferencial y Buchholz, en instalaciones de mediana a alta potencia, aunque no hay inconvenientes si se eligen simples fusibles como único elemento de protección cuando se trata de instalaciones de mediana a baja potencia. La protección diferencial compara las corrientes a la entrada y a la salida del trafo, aunque como es de esperar, con una cierta "permisibilidad", ya que en el trafo se producen pérdidas debido a la corriente magnetizante, las cuales son proporcionalmente mayores cuando la máquina trabaja con baja carga. No es un sistema de protección muy aplicado ya que requiere de una instalación relativamente costosa y compleja, y puede prescindirse de ella.

La protección Buchholz es simple y eficaz, y se puede aplicar a todos los transformadores refrigerados en aceite, equipados con depósito de expansión.

Cuando sucede alguna anomalía, se producen burbujas y gases en la cuba del trafo, de los cuales el relé toma una muestra, y avisa con una señal generalmente sonora (cuando no es una falla de gravedad), o procede directamente a la desconexión de la máquina cuando el defecto es más importante. Uno de las grandes ventajas de este sistema consiste en que estos gases son llevados hasta un depósito conservador, donde se puede observar la cantidad y el aspecto de los mismos, lo que permite localizar la gravedad y naturaleza del defecto, analizando su color:

- Gases blancos: proceden de la destrucción del papel.
- Gases amarillos: proceden del deterioro de piezas de madera.
- Gases negros o grises: proceden de la descomposición del aceite.

La activación de la alarma del relé Buchholz no determina el sacar de servicio al transformador con urgencia, ya que en algunos casos pueden ser fenómenos sin gravedad, casi imperceptibles, pero que a la larga pueden llevar a la destrucción de la máquina (detecta los primeros síntomas de la falla, siendo en muchos casos factible la corrección de la misma, en un momento conveniente). Sí debe considerarse que para la total desconexión de la máquina el relé debe poder actuar sobre algún interruptor automático que se encuentre aguas arriba de la misma. Aquí tenemos un inconveniente, porque en nuestras instalaciones no hay interruptores automáticos del lado de media tensión, por lo que este sistema sería poco conveniente de instalar.

Es así que para la protección de los transformadores nos inclinamos por la protección por fusibles, ya que resulta más simple y adecuada al considerar la potencia instalada en la subestación.

### Elementos de protección: Protección de las instalaciones:

En toda estación transformadora deben colocarse aparatos de protección que permitan desconectar a la misma de la línea, también se hace necesario asegurar una buena puesta a tierra en la instalación, protecciones para los elementos de medición, seccionadores fusibles para las bajadas a trafos, etc.

Como normas generales para la selección de los elementos de protección, debemos tener en cuenta que la capacidad de ruptura de los fusibles debe verse aumentada en un 20% en relación con el valor que resulte del cálculo de las corrientes de cortocircuito, además de que la extinción del arco en caso de cortocircuito debe producirse en un intervalo preferentemente no superior a los diez ciclos (0,2 segundos). Deben emplearse dispositivos térmicos para protección contra sobrecargas en los circuitos de fuerza motriz, y si fuese posible, agregar relés de tensión mínima que provoquen la desconexión de la carga cuando la tensión sea inferior al 50% de la tensión nominal. Deben colocarse a tierra los arrollamientos secundarios de los transformadores de medición, para que en caso de falla en los aislantes, se proteja al circuito y a los elementos de medición.

La puesta a tierra de la instalación estará compuesta por un sistema de tres puestas a tierra independientes, separadas entre sí por una distancia horizontal de al menos 5m, y con una resistencia menor a 2 Ohm (medida con telurímetro). A una de ellas se conectarán los descargadores de 13,2kV, a otra el centro de estrella de 0,4kV, y a la tercera se conectará la estructura, cubas y gabinetes de medición, elementos de protección y maniobra y partes metálicas en general. Se instalará en cada puesta a tierra una jabalina de cobre y un conductor de cobre, desnudo, sin empalmes, de 35mm<sup>2</sup>, y protegido con caño de hierro galvanizado o de PVC, desde el nivel del terreno y hasta la profundidad necesaria para lograr el valor de puesta a tierra requerido.

Para la selección de los elementos de protección y maniobra, vamos a referirnos al esquema unifilar de la actual subestación transformadora (ver plano n°3).

Vamos a ir analizando cada elemento desde la bajada de la línea de 13,2kV hasta el tablero principal. Se puede observar que la disposición de los elementos utilizados es aceptable para realizar eventuales maniobras de reparación y/o mantenimiento, y que los elementos de protección se encuentran colocados en los lugares apropiados. Por esto, y tratando de lograr un equilibrio entre los costos y los beneficios de lo proyectado para la futura ampliación, se ha decidido mantener el esquema actual, pero ajustando la capacidad de los elementos de protección para hacerlos más efectivos. Sí es necesario agregar los elementos de protección y maniobra correspondientes al nuevo trafo, pero manteniendo el esquema básico.

Con el fin de dejar lo más en claro posible cuáles serían los nuevos elementos a utilizar, se confeccionó la siguiente tabla:

Item	Elemento	Función	Caract. Actual	Caract. Reemplazo
1	Descargador	Protección	15kV/5kA(x2)	-
1	Descargador	Protección	12kV/5kA(x1)	15kV/5kA(x1)
2	Sec. Fusible	Maniobra	Unip.- positrol 100A(x3)	-
3	Conductor	Conductor	13,2kV-3x25mm <sup>2</sup> -135A	13,2kV-3x35mm <sup>2</sup> -157A
4	TI medición	Medición	50/5-30VA-0,5-<5(x3)	100/5-30VA-0,5-<5(x3)
5	Seccionador	Maniobra	Desp.-15kV-400A	-
6	Barras Princ..	Conductor	Rect. de Cu-50x5mm	-
7	Sosten barras	Aislador	Epoxi-conico-148mm	-
7	Barras bajadas	Conductor	Rect. de Cu-38x5mm	-
8	Seccionador #1	Maniobra	Perno-17,5kV-400A	-
9	Fusible HHC#1	Protección	13,2kV-40A-900MVA	13,2kV-30A-900MVA
10	Pasamuros#1	Aislador	13,2kV-Int./Ext.	-
11	Barras trafos#1	conductor	Red. de Al-d=32mm	-
12	Trafo pot.#1	Trafo	13,2/0,4kV-750kVA-DY	13,2/0,4kV-630kVA-DY
13	Conductores	conductor	4(3x150/70)-335Ac/u	-
14	Interruptor	maniobra	AEG 400V-1250A	-
15	Corrector FP		Autom.-150kVAr	-
16	Seccionador #2	Maniobra	Perno-17,5kV-400A	-
17	Fusible HHC#2	Protección	13,2kV-30A-900MVA	13,2kV-25A-900MVA
18	Pasamuros#2	Aislador	13,2kV-Int./Ext.	-
19	Barras trafos#2	conductor	Red. de Cu-d=22mm	-
20	Trafo pot.#2	Trafo	13,2/0,4kV-500kVA-DY	-
21	Conductores	conductor	3(3x150/70)-335Ac/u	-
22	Interruptor	maniobra	AEG 400V-1250A	-
23	Corrector FP		Autom.-75kVAr	-
24	Fusible HHC#4	Protección	Unip.-HHC100A(x3)	Unip.-HHC6A(x3)
25	TT medición	medición	13,2/0,11kV-30VA-1	-
26	Seccionador #3	Maniobra	-	Perno-17,5kV-400A
27	Fusible HHC#3	Protección	-	13,2kV-50A-900MVA
28	Pasamuros#3	Aislador	-	13,2kV-Int./Ext.
29	Barras trafos#3	conductor	-	Red. de Al-d=32mm
30	Trafo pot.#3	Trafo	-	13,2/0,4kV-1000kVA
31	Conductores	conductor	-	4(3x150/70)-1716A
32	Conductores	conductor	-	4(3x150/70)-1716A
33	Interruptor	maniobra	-	Siemens 400V-2000A
34	Corrector FP		-	100kvar
37	Accionador	maniobra	-	Para seccionador#3

Considerando estas modificaciones, se realizó el esquema unifilar de la nueva subestación transformadora, indicado como plano n°4.

A continuación se incluyen en detalle las características de los nuevos componentes a colocar, donde pueden observarse los cálculos, datos técnicos, dimensiones y costos de los mismos.

- Item n°1: Descargador:

Este elemento sirve para proteger las instalaciones en caso de que se produzca en la línea alguna descarga de origen atmosférico, provocando una sobretensión en la misma.

Se ha adoptado un descargador para media tensión de ZnO, 15kV, 5kA, tipo Vari Gap, con envoltura polimérica, que puede adquirirse del catálogo Nollmann, número de pedido 460605 o del catálogo SICA, número de pedido 460405 (con envoltura cerámica únicamente).

- Item nº2: Seccionador fusible:

Este elemento sirve para protección de las instalaciones y de la línea de energía, ante eventuales corto circuitos o sobrecargas. También sirve para seccionar a toda la subestación en caso de necesitarse hacer algún tipo de mantenimiento. El actual seccionador tiene incorporado un fusible tipo positrol de 100A, lo que puede resultar poco al momento de utilizar la máxima capacidad de transformación a instalar, que va a estar rondando los 2130kVA, con lo que la corriente tomada de la red alcanzaría los 93A. No sería necesario proceder al cambio inmediato de los fusibles ya que aún teniendo en cuenta la demanda de la futura ampliación, la corriente máxima demandada alcanzaría los 82A, lo que deja un margen aceptable para evitar la falla del elemento. Igualmente, los datos del eventual elemento reemplazo son: seccionador autodesconectador modelo XS código 89072 de la empresa Fammie Fami S.R.L., de características: tensión nominal 15kV, máxima tensión resistida de 125kV, corriente nominal de 200A.

- Item nº3: Conductor:

Este elemento conduce la corriente desde el desconectador hasta el interior de la subestación. La tensión de servicio es de 13,2kV y la corriente que se calcula debería circular a plena carga es de 90A. Estos conductores son tripolares, con aislación XLPE y vaina de PVC, con conductor de cobre de 35mm<sup>2</sup> son capaces de conducir hasta 157A (en aire) o hasta 182A (en tierra), trabajan a una temperatura de 90°C, y soportan hasta 250°C en caso de corto circuito. Estos conductores pueden adquirirse del catálogo de IMSA o Pirelli.

- Item nº4: TI de medición:

Este elemento se utiliza para conocer la corriente que se está tomando de la red, ya que es atravesado por esta corriente en el primario, y entrega un valor proporcional a la misma en el secundario, de acuerdo a la relación de transformación. Es usado por amperímetros, wattímetros, cofímetros y medidores. Las características son: relación de transformación 100/5, tensión de servicio 13,2kV, potencia 30VA, clase 0,5 preferentemente o clase 1 como máximo. Estos pueden adquirirse del catálogo de CR Margnetics, del de ABB, o del de Nollmann. También está la opción de adquirir un transformador de corriente con doble relación de transformación: 100/5 y 200/5, lo que hace apto al elemento en caso de una futura ampliación, pero también tiene un costo algo mayor.

- Item nº7: Barras de bajada:

Este elemento se utiliza para conducir la corriente desde las barras principales hacia los seccionadores. Si bien no es necesario cambiar las existentes, sí será necesario agregar las correspondientes al nuevo trafo de 1000kVA. Las dimensiones serán de 38x5mm (iguales que las de los trafos actuales), se requerirán al menos 2,5m y serán pintadas según Normas. El pedido puede realizarse a la empresa ESEGE S.A.

- Item nº9: Fusible HHC:

Este elemento se utiliza para interrumpir en forma automática la corriente que por él circula cuando ésta supera su valor máximo, ya sea debido a una sobrecarga o a un corto circuito, protegiendo de esta manera las instalaciones. Son fusibles de alta capacidad de ruptura, y como características principales se tiene que su tensión nominal es de 13,2kV,

que su corriente nominal es de 30A y que su capacidad de interrupción alcanza una potencia de 900MVA (es decir, 40kA aproximadamente). Estos fusibles pueden adquirirse del catálogo de Nollmann, número de pedido 423300, o del catálogo de SICA, bajo igual número de pedido.

- Item nº12: Trafo de potencia:

El transformador de potencia de 630kVA a instalar ya pertenece a la empresa, pero se lo ha retirado actualmente para realizarle la reparación necesaria. Sus características técnicas son: 13,2/0,4kV - 630kVA - DY11 - Ucc=4%. El costo actualizado de la reparación puede verse en el presupuesto.

- Item nº17: Fusible HHC:

Idem al correspondiente item nº9, pero en este caso las características del mismo son: tensión nominal de 13,2kV, corriente nominal de 25A capacidad de interrupción de 900MVA (es decir, 40kA aproximadamente). Estos fusibles pueden adquirirse del catálogo de Nollmann, número de pedido 423250, o del catálogo de SICA, bajo igual número de pedido.

- Item nº24: Fusible HHC:

Idem al correspondiente item nº9, pero en este caso las características del mismo son: tensión nominal de 13,2kV, corriente nominal de 6A capacidad de interrupción de 900MVA (es decir, 40kA aproximadamente). Estos fusibles pueden adquirirse del catálogo de Nollmann, número de pedido 423060, o del catálogo de SICA, bajo idéntico número de pedido. Lo recomendable sería cambiar el seccionador utilizado y colocar fusibles más pequeños, del orden de los 0,5A, ya que eso sería suficiente para los elementos de medición utilizados.

- Item nº26: Seccionador #3:

Este elemento sirve para seccionar la bajada al nuevo trafa de 1000kVA, y se eligió de idénticas características a los instalados para este fin en los trafos nº1 y nº2, debido a que excede los requerimientos de potencia del nuevo trafa, se ha comprobado su eficiencia y calidad, y además el edificio está preparado para incluir un nuevo seccionador con esas dimensiones. Los datos técnicos corresponden al modelo LVP-IV de la empresa Lago.

- Item nº27: Fusible HHC:

Idem al correspondiente ítem nº9, pero en este caso las características del mismo son: tensión nominal de 13,2kV, corriente nominal de 50A capacidad de interrupción de 900MVA. Estos fusibles pueden adquirirse del catálogo de Nollmann, número de pedido 423500, o del catálogo de SICA, bajo idéntico número de pedido.

- Item nº28: Aislador pasamuros:

Este elemento sirve para aislar los puntos con tensión del muro, al momento de traspasarlo. En este caso se lo necesita apto para interior/exterior, y posee las siguientes características: tensión nominal: 15kV, corriente nominal: 400A, corriente máxima: 10kA, rigidez dieléctrica: 45kV, impulso: 95kV, línea de fuga: 325mm, resistencia a la flexión: 300kg. Este aislador puede adquirirse del catálogo de Proind Ingeniería, bajo el código: A270, o del catálogo de Comem.

- Item nº29: Barras a trafos:

Este elemento se utiliza para conducir la corriente desde el aislador pasamuros del item 28 hasta el trafa de 1000kVA. Las barras que se colocarán serán redondas, de aluminio, pintadas con colores indicativos de las fases según norma, de 32mm de diámetro y

preferentemente 3mm de pared (aunque una pared de 2mm es admisible), y se requerirá un total de al menos 12m.

- Item nº30: Transformador de distribución:

El trafo de distribución es el elemento fundamental de la instalación, y se encarga de transformar la tensión de entrada a la subestación (13,2kV) en la tensión utilizada por los consumos (0,4kV). La potencia que éste es capaz de entregar alcanza los 1000kVA, y el grupo de conexión es DY11 (triángulo en el primario para un mejor equilibrio de las fases, estrella en el secundario por la necesidad de tener neutro del lado de baja tensión), deberá estar libre de PCB y poseer el certificado correspondiente. La máquina con todas estas características puede adquirirse a cualquiera de las siguientes empresas: Brenta-Miron, Vasile & Cía, Tadeo Czerweny, IATRA, o a la cooperativa de electricidad local.

- Item nº31 y 32: Conductor para baja tensión:

Este elemento conduce la corriente desde el transformador hasta interruptor principal, y desde el interruptor principal hasta el tablero principal, sito en la sala de maquinas. La tensión de servicio es de 0,38kV y la corriente que se calcula debería circular a plena carga es de aproximadamente 1500A. Los conductores a instalar deberán ser unipolares de 150mm<sup>2</sup> para las fases y unipolares de 70mm<sup>2</sup> para el neutro (en 5 pasadas). Estos conductores pueden seleccionarse del catálogo de IMSA o Pirelli.

- Item nº33: Interruptor de potencia:

Este elemento es fundamental a la hora de la protección de la instalación, ya que el corte es automático y regulable, o a la hora de realizar cualquier tipo de reparación o mantenimiento debido a que es el único elemento de la subestación capaz de interrumpir bajo carga con total seguridad. La tensión de servicio es de 400V, y la corriente que es capaz de entregar el secundario del trafo ronda los 1520A, por lo que el interruptor debe soportar esta potencia. Es apto el interruptor Siemens modelo Sentron, tripolar, con  $U_n=480V$  y una capacidad de ruptura de 50kA, ya sea en el modelo de 1600 o 2000A, aunque se recomienda, a modo de mantener una holgura, el de 2000A. Cabe destacar que este interruptor brinda la posibilidad de regular el tiempo de desconexión ante corto circuitos entre 10ms y 100ms, datos usados para calcular los esfuerzos térmicos. Su número de pedido es HRD63 B200. Con características semejantes podemos encontrar del catálogo Zoloda los interruptores automáticos de potencia marca Terasaki modelos XS1600 y XS2000, pero con un mayor poder de corte (75kA). Debería evaluarse la posibilidad de cambiar al menos uno de los interruptores actuales y enviarlo a servicio para tenerlo como reemplazo en caso de urgencias. Con esto aseguraríamos la continuidad del servicio ante eventualidades, más aún si tenemos en cuenta que el plazo de entrega de este elemento ronda los 90 días. Hay que tener en cuenta que los actuales interruptores datan del año 1980 y ya demuestran evidentes signos de desgaste.

- Item nº34: Corrector del factor de potencia:

El corrector del FP es muy importante en una instalación de estas dimensiones ya que sin la presencia del mismo, la corriente reactiva debería ser tomada de la red, ocasionando sobrecargas, recalentamientos (pérdidas) y caídas de tensión, y todo esto sin producir ningún tipo de trabajo. Además, la organización prestataria del servicio de energía eléctrica aplica multas cuando los grandes usuarios (como es el caso del frigorífico) poseen en sus instalaciones un factor de potencia bajo, correspondiente a  $\tan \phi > 0,43$ . Para evitar estos inconvenientes se instalan bancos de capacitores que entregan energía reactiva capacitiva, con lo que compensa la carga. La potencia reactiva que estos bancos deben entregar depende de la potencia instalada y del factor de potencia de la instalación.



Para el cálculo del reactivo necesario debemos analizar los componentes instalados, y remitirnos a la siguiente expresión:

$$FP=(P/S)=(U.I.\cos\varphi)/(U.I)=\cos\varphi$$

Que como vemos es el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente. La corriente reactiva debe inyectarse lo más cerca posible de los consumos que la requieran (para que circule por la menor longitud posible de conductor), por lo que parece una buena opción el compensar individualmente los consumos, aunque inmediatamente surge el inconveniente de la gran cantidad y diseminación de correctores que se tendría. Así resulta (para el caso de grandes empresas como Carnes Pampeanas) más conveniente la instalación de un corrector general constituido por capacitores de potencia, ya que se presentan las siguientes ventajas:

- Bajo costo y mantenimiento
- Pérdidas menores
- Facilidad de montaje
- Posibilidad de ampliación
- Facilidad para solucionar posibles inconvenientes

Para el cálculo de la potencia reactiva a instalar debemos tener en cuenta que para aumentar el FP desde  $\cos\varphi_1$  hasta  $\cos\varphi_2$ , la potencia necesaria viene dada por:

$$Q=P.(\tan\varphi_1-\tan\varphi_2)$$

Para conocer el actual factor de potencia de las instalaciones se procedió de distintas maneras: para los consumos alimentados por el trafo de 750kVA (actualmente sin corrección) se calculó:

Pot. Activa:  $P=582\text{kW}$   
Pot. Reactiva requerida:  $Q=311\text{kvar.}$

Con lo que obtenemos:

Pot. Aparente:  $S=660\text{kVA}$   
Factor de potencia:  $\cos\varphi=0,88$

Como queremos evitar los recargos por consumo de energía reactiva, necesitamos tener un  $\cos\varphi_2=0,92$ . Con estos datos podemos calcular:

$$Q_{\text{nec.}} = P.(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad \rightarrow \quad Q_{\text{nec.}} > 63,3\text{kvar.}$$

Esa es la mínima potencia reactiva que se necesita tener en el banco de capacitores para alcanzar un factor de potencia de 0,92 y evitar el recargo, ya que con eso se debería alcanzar:  $\tan\varphi = 0,426$ .

Para los consumos alimentados por el trafo de 500kVA (cuyo banco de capacitores funciona correctamente), fue posible evitar parte de los cálculos colocando el controlador en modo manual, y procediendo a la desconexión de los capacitores. Luego se observaron los datos arrojados por el controlador:

Factor de potencia:  $\cos\varphi_1=0,73$   
Potencia activa:  $P=371\text{kW}$

Con estos datos, pudimos obtener:

$$Q_{nec.} = P \cdot (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \rightarrow Q_{nec.} > 188 \text{ kvar.}$$

Lo que nos deja en claro las falencias de la instalación, ya que el trafo de 750kVA tiene conectado el banco de 150kvar (el que actualmente no funciona), mientras que el trafo de 500kVA tiene conectado el banco de 75kvar, con lo que apenas se obtiene un factor de potencia cercano a 0,8 (según el controlador, y verificado por cuentas).

Volviendo a lo proyectado, como la idea es mantener la actual configuración, en la que encontramos un corrector de FP para cada trafo, resulta conveniente hacer un análisis de las instalaciones propuestas como opción 2 (la más factible), teniendo en cuenta el reactivo demandado por cada uno de los consumos, lo que se representa en la siguiente tabla:

Trafo nº1: 1000kVA		Trafo nº2: 630kVA	
Carga a considerar	Pot.(kVAr)	Carga a considerar	Pot.(kVAr)
Comp. Nº1 (350HP)	130	Comp. Nº3 (125HP)	32
Comp. Nº5 (175HP)	70	Comp. Nº2 (350HP)	130
Comp. Nº4 (80HP)	32	TF1	3,6
Bombas de amoniaco	16	TF2	34
Bombas de agua	10	TF3	25
Ventiladores sala maq.	4	TF cámaras 16 y 17	17
Torre evap. Nº1	3	TF deposito enfriado	14
Torre evap. Nº2	6	Torre evap. Nº4	13
Torre evap. Nº3	6,5		
Compresor de aire Nº1	23		
Torre evap. Nº5	20		
TF4	45		
TF ampliación	32		
Total trafo 1000kVA	397,5	Total trafo 630kVA	268,6

Trafo Nº3: 500kVA	
Carga a considerar	Pot.(kVAr)
Compresor de aire Nº2	23
Forzadores de aire	20
Tableros de iluminación	45
Tableros de fuerza motriz	36
Tab. de f.m. generales	156
Tableros varios	2,5
Total trafo 500kVA	282,5

Observando la distribución de cargas propuesta en la página 24, que era:

$$\begin{aligned} T1 (1000kVA): & \quad S=820,7kVA \\ T2 (630kVA): & \quad S=551kVA \\ T3 (500kVA): & \quad S=451kVA \end{aligned}$$

Y el requerimiento de potencia reactiva, que era:

T1 (1000kVA): Q=397,5kvar  
 T2 (630kVA): Q=268,6kvar  
 T3 (500kVA): Q=282,5kvar

Podemos obtener por:  $S^2=P^2+Q^2$  el valor de la potencia activa, y por  $\cos \varphi=P/S$  el valor del factor de potencia, por lo que se presenta la siguiente tabla:

	S(kVA)	Q(Kvar)	P(kW)	Cos $\varphi$ 1
T1 (1000kVA)	820,7	397,5	718	0,874
T2 (630kVA)	551	268,6	481	0,873
T3 (500kVA)	451	282,5	351,5	0,78

Ahora podemos calcular la potencia de los bancos de capacitores a instalar para evitar el recargo por reactivo, aplicando:

$$Q_{nec.} = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Donde se tiene para todos los casos:  $\cos \varphi_2=0,92 \rightarrow \tan \varphi_2=0,426$ . Entonces:

$Q_{nec.}(T1)>92\text{kvar}$   
 $Q_{nec.}(T2)>64\text{kvar}$   
 $Q_{nec.}(T3)>132,8\text{kvar}$

Teniendo en cuenta que los transformadores son capaces de entregar más energía que la requerida por estas instalaciones y que los correctores utilizados tienen un escalonamiento de 12,5 o 25 kvar, elegimos entonces las siguientes configuraciones:

Banco 1 (T1): 12,5 / 12,5 / 25 / 25 / 25  $\rightarrow$  100kvar en total.  
 Banco 2 (T2): 12,5 / 12,5 / 25 / 25 /  $\rightarrow$  75kvar en total.  
 Banco 3 (T3): 25 / 25 / 25 / 25 / 25 / 25  $\rightarrow$  150kvar en total.

Con estos correctores obtendríamos un factor de potencia mayor a 0,92 y así evitaríamos el recargo.

En lo que hace a la ampliación de la capacidad de transformación, también se consideró en algún momento una tercera opción, que consistía en el emplazamiento de dos transformadores en paralelo de 1000kVA cada uno.

Esta opción presenta algunas ventajas del punto de vista de la ingeniería, ya que se tendría sólo dos máquinas de iguales características, que podrían aportar a un circuito enlazado en el tablero principal, del cual estarían tomando energía todos los consumos. Además este sistema sería óptimo para casos de emergencia, se obtendría una mayor seguridad de servicio y se obtendría un mejor rendimiento de las instalaciones. Por todo esto, sin dudas esta sería la opción a encarar si se quisiera hacer algo de cero, pero como se dispone de las instalaciones actuales, deja de ser una buena opción cuando se considera el punto de vista económico, ya que no hay compatibilidad entre los componentes instalados actualmente y los necesarios para el proyecto. Como esta opción no solo se manejó de palabra, sino con seriedad, he aquí los números que ponen en manifiesto lo dicho anteriormente:

Los ítems contemplados en la opción 2, que ya no serían necesarios, son:

- Fusible HHC25A(x3)
- Fusible HHC50A(x3)
- Reparación del trafo de 630kVA
- Trafo nuevo de 1000kVA(x1)
- Barras de Cu, 38x5mm, 2,5m aproximadamente
- Aislador pasamuros(x3)
- Barras redondas d=32mm, s>2mm, 15m aprox.
- Conductores trafo-interruptor-tab.principal
- Interruptor automático 380V-2000A(x1)
- Servicio trafo 500kVA
- Seccionador a perno LVP-IV 13,2kV-400A
- Accionador del seccionador serie DM
- Nuevo corrector de FP

Y la suma del costo de estos ítems alcanza al menos un valor de \$74000

Además se produce un descuento debido a que se podrían vender o entregar en parte de pago los transformadores actuales, es decir que se tendría:

- Venta / entrega trafo 630kVA (en las condiciones en que se encuentra) \$3000
- Venta / entrega trafo 500kVA \$4800

Por lo que el ahorro total obtenido al elegir la opción de colocar dos trafos de 1000kVA en paralelo sería de \$81800

Mientras que los elementos a agregar para adoptar la opción de colocar dos trafos de 1000kVA en paralelo contempla:

- Fusible HHC50A(x6)
- Trafos nuevos de 1000kVA(x2)
- Conductores trafo-interruptor-tab.principal
- Interruptores automáticos 380V-2000A(x2)
- Ampliación de los bancos de capacitores actuales

Y la suma del costo de estos ítems alcanza los \$96000

Así se tiene que la opción de colocar los dos trafos de 1000kVA en paralelo representa un costo extra por sobre la opción de agregar un solo trafo más de al menos \$15000. Con toda esta información a la vista, la decisión económica debe ser tomada por las personas responsables en este punto, sabiendo que ambas opciones son viables desde el punto de vista ingenieril.

## Presupuesto de materiales:

(este presupuesto fue realizado para la opción que se viene manejando, es decir, agregar un trafo de 1000kVA solamente)

Item	Descripción	Costo (\$)
1	Descargador 15kV/5kA (1)	147
3	Conductor 13,2kV-3x35mm <sup>2</sup> (16m aprox.)	
4	TI para medición 13,2kV-100/5-30VA-cl1 (3)	661,2
7	Barras de Cu 38x5mm (2,5m)	154
17	Fusible HHC25A (3)	750
24	Fusible HHC6A (3)	656
26	Seccionador Lago LVP-IV (1)	3419
27	Fusible HHC50A (3)	1070
28	Aislador pasamuros (3)	
29	Barras redondas de Al de 32mm de diámetro (12m)	
30	Transformador de distrib. 13,2/0,4kV-1000kVA-DY11 (1)	28000
31	Conductor trafo-interruptor (22m aprox.)	4209
32	Conductor interruptor-tablero principal (36m aprox.)	6887
33	Interruptor de potencia 380V-2000A	13000
34	Corrector de factor de potencia de 100kvar	9000
35	Reparación transformador 630kVA	5000
36	Servicio al transformador de 500kVA	2000
38	Accionador de seccionador Lago serie DM	564
Costo total de la ampliación (sin mano de obra)		75517

## Conclusión:

Como comentario general de lo observado, se puede decir que eléctricamente en esta planta hay mucho por mejorar, tal vez no tanto en lo que hace al funcionamiento de las instalaciones (ya que así como está todo funciona desde hace tiempo), sino desde el punto de vista de la funcionalidad y sobre todo, de la seguridad.

En lo que hace a la funcionalidad, se detectaron elementos de maniobra y seguridad emplazados en lugares que no resultan ser los óptimos, e incluso, en algunos casos, fuera del recinto donde se encuentran los consumos accionados por esos elementos. Además, como falencia importante en este aspecto, se descubrió que se encuentra no operativo el PLC que comanda las norias, por lo que si se produce una des sincronización de las mismas, es necesario corregir manualmente la velocidad, y lo propio sucede al PLC que comanda la planta tratadora de efluentes. También se detectó un mal uso de elementos de protección, accionándolos como si fuesen interruptores de uso cotidiano (por ejemplo, en la sala de calderas, se encienden manualmente unas bombas de agua mediante un guardamotor), y en casi todas partes (salvo en las oficinas) los consumos se encienden por medio de un interruptor termomagnético, lo que es, si se quiere, menos grave, pero igualmente no es un uso apropiado para ese elemento (el interruptor termomagnético ha sido diseñado como elemento de seguridad, no de maniobra). En el aspecto de la seguridad, las faltas son mayores, debido a que, por ejemplo, se encontraron tableros de potencia en lugares con humedad permanente a los que los operarios deben acceder para comandar las instalaciones, componentes agregados a los mismos sin ninguna medida de seguridad (contactores colgando de los cables, al no quedar más lugar dentro del tablero para emplazarlos mediante el riel DIN), falta de placas interiores que impidan el acceso a puntos con tensión, falta de protección diferencial, ingreso de los conductores a los mismos “desde arriba”, lo que facilita el

ingreso también de la condensación, comando de las instalaciones mediante interruptores de potencia (sin usar baja tensión de seguridad), y en algunos casos grado de protección IP nulo, etc.

Se me ha manifestado que existe la intención por parte de la empresa de mejorar esta situación colocando en el lugar de los tableros de potencia cajas estancas con comando por pulsadores mediante baja tensión, lo que permite colocar los tableros de potencia en un lugar seguro, libre de agua y humedad, fuera del alcance de los operarios, para que sólo sean accesibles por gente de mantenimiento, y así los operarios podrán comandar las maquinarias de manera segura. Esta es sin dudas una muy buena opción para mejorar en gran parte a la mayoría de los inconvenientes antes descriptos. Lo que no comparto totalmente es la idea de agrupar los tableros de potencia en la sala de maquinas, como se me comentó en alguna oportunidad, ya que si bien sería una ventaja importante en lo que hace a la facilidad de comando de las instalaciones, se necesitaría un tendido de conductores muy complejo y costoso, ya que se requeriría de gran cantidad de conductores que deberían ser de generosa sección debido a las caídas de tensión. Otro inconveniente que he detectado y que no solo involucra a la instalación eléctrica sino también a la mayoría de las instalaciones del frigorífico, es la falta de un plan de mantenimiento preventivo confeccionado en base a estadísticas de las fallas de los elementos por desgaste o fatiga. Este tipo de controles puede evitar una parada de emergencia durante la producción, demoras importantes en caso que no se consigan los reemplazos en forma inmediata, y mayor tranquilidad para el cumplimiento de los compromisos adquiridos. Además puede terminar produciendo una disminución de los costos si se piensa en cuánto vale decomisar la producción de tan solo un par de horas. Sin lugar a dudas con el tiempo se irán solucionando éstos y otros inconvenientes, con la buena voluntad y el aporte de las personas entendidas en cada rubro, logrando una organización eficiente de todos los recursos de que dispone la empresa: gente, cosas, dinero e información.

## Bibliografía:

“Estaciones de Transformación y Distribución. Protección de Sistemas Eléctricos”  
Enciclopedia: CEAC, España.  
Autor: José Ramírez Vázquez.

Y carpetas de cátedras cursadas.