



UNIVERSITAT  
JAUME·I

**UNIVERSITAT JAUME I**  
**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES**  
**EXPERIMENTALS**  
**GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

MEJORAS EN LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN  
ININTERRUMPIDA Y DE COMPENSACIÓN DE ENERGÍA  
REACTIVA DE UNA REFINERÍA DE PETRÓLEO

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

AUTOR:

*GUILLEM ULLDEMOLINS AMELA*

DIRECTOR:

*EMILIO PÉREZ SOLER*

Castellón, Julio de 2020



*Mejoras en los sistemas de alimentación ininterrumpida y de compensación de energía reactiva de una refinería de petróleo*



*Mejoras en los sistemas de alimentación ininterrumpida y de compensación de energía reactiva de una refinería de petróleo*

*AGRADECIMIENTOS:*

Han sido largos años de estudio hasta llegar a este punto, buenos y malos momentos, con decepciones, frustraciones pero también alegrías y buenos recuerdos vividos en la Universidad.

Me gustaría dedicar este trabajo que representa el final de una etapa de mi vida fundamentalmente a mis padres, han estado apoyando en todo momento y siempre me han animado a seguir hacia adelante a pesar de las difíciles situaciones surgidas y a no darme nunca por vencido. Parte de que yo esté terminando esta carrera es gracias a ellos así como de todo el resto de mi familia que siempre ha estado ahí para cualquier tipo de ayuda que fuese necesaria.

Por otro lado, a mis compañeros de carrera. A lo largo de estos años siempre nos hemos estado apoyando los unos a los otros, sabiendo de las dificultades que se nos presentaban a medida que se iban sucediendo los años universitarios. Os recordaré por estar siempre a la broma en los ratos libres entre las clases, por los suspensos que se iban sucediendo y pensábamos que nos acompañarían hasta el final de nuestros días en la Universidad. Estaréis en mi recuerdo para siempre y espero que en un futuro no se pierda la amistad creada en estos años.

Finalmente a los profesores que han hecho de mí un ingeniero eléctrico y me han ayudado a crecer como persona. Espero que en un futuro su dedicación se vea reflejada y seguro me servirá de ayuda en mi vida profesional.

A todos ellos, gracias.



*Mejoras en los sistemas de alimentación ininterrumpida y de compensación de energía reactiva de una refinería de petróleo*

## *ÍNDICE DE CONTENIDOS*

<b>1. MEMORIA.....</b>	<b>- 8 -</b>
1.1. Definiciones y abreviaturas.....	- 8 -
1.2. Relación de ecuaciones, imágenes y tablas.....	- 9 -
1.3. Objeto.....	- 11 -
1.4. Alcance.....	- 11 -
1.5. Antecedentes.....	- 12 -
1.6. Requisitos de diseño.....	- 20 -
1.6.1. Necesidades de la empresa.....	- 20 -
1.6.2. Emplazamiento.....	- 22 -
1.6.3. Metodología de trabajo.....	- 23 -
1.6.4. Equipos nuevos.....	- 24 -
1.7. Análisis de soluciones.....	- 26 -
1.8. Resultados finales.....	- 30 -
1.9. Planificación.....	- 32 -
1.9.1. Trabajos en parada.....	- 32 -
1.9.2. Programación.....	- 32 -
1.10. Normas y referencias.....	- 34 -
<b>2. ANEXOS.....</b>	<b>- 35 -</b>
A) LISTADO DE CARGAS DE CADA UNO DE LOS SAI.....	- 35 -
B) CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONADO DEL NUEVO CABLEADO.....	- 40 -
B.1. Hipótesis inicial.....	- 40 -
B.2. Procedimientos de cálculo.....	- 41 -
B.3. Resultados.....	- 44 -
C) ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS NUEVOS SAI.....	- 45 -
C.1. Esquema general.....	- 45 -
C.2. Detalle del rectificador.....	- 46 -
C.3. Detalle del inversor.....	- 47 -
C.4. Salida del inversor.....	- 48 -
C.5. Detalle de la salida trifásica.....	- 49 -
C.6. Acoplamiento de la salida.....	- 50 -
C.7. Transformador de la salida de 230V.....	- 51 -
C.8. Transformador de la salida de 500V.....	- 52 -
C.9. Vista frontal de los armarios.....	- 53 -

C.10. Vistas de los armarios 1 y 2.....	- 54 -
C.11. Vistas del armario 4.....	- 55 -
C.12. Vista de los armarios de las baterías.....	- 56 -
C.13. Vistas de los armarios 8 y 9.....	- 57 -
C.14. Medidas de la fijación al suelo de los armarios .....	- 58 -
C.15. Medidas de la fijación al suelo de los armarios .....	- 59 -
D) ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS DE CONDENSADORES.....	- 60 -
<b>3. PLANOS.....</b>	<b>- 61 -</b>
<b>4. PLIEGO DE CONDICIONES.....</b>	<b>- 62 -</b>
4.1 Especificaciones del cable .....	- 62 -
4.2. Normativa eléctrica.....	- 62 -
4.2.1 Norma IEC 61439 .....	- 62 -
4.2.2. Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT).....	- 66 -
<b>5. PRESUPUESTO.....</b>	<b>- 70 -</b>

## 1. MEMORIA

### 1.1. Definiciones y abreviaturas

REBT: Reglamento electrotécnico de baja tensión.

GTAR: Periodo de parada general en la refinería.

AC: Corriente alterna (del inglés *alternating current*).

DC: Corriente continua (del inglés *direct current*).

UPS o SAI: Sistema de alimentación ininterrumpida (del inglés *Uninterrupted Power System*).

PLC: Controlador lógico programable (del inglés *Programmable Logic Controller*). También puede aparecer como autómata programable.

CCM: Caja de control de motores

kV: abreviatura de kilovoltio.

kVAR: abreviatura de kilovoltamperio reactivo.

kVA: abreviatura de kilovoltamperio.

kVArh: abreviatura de kilovoltamperio reactivo por hora.

W: abreviatura de vatios.

FP: factor de potencia de una instalación.

GLP: gas licuado del petróleo.

Trafo: abreviatura de transformador.

Alta tensión en refinería: 66kV.

Media tensión en refinería: 6,6kV.

Baja tensión hay varios niveles:

500V trifásicos (líneas de fuerza).

400V trifásico (no habitual, en casos específicos).

230V monofásicos (alumbrado y tomas generales de corriente).

117V monofásicos (analizadores, equipos de instrumentación, medida y control).



## 1.2. Relación de ecuaciones, imágenes y tablas

### **ECUACIONES:**

Ecuación 1: cálculo del factor de potencia.....	- 15 -
Ecuación 2: cálculo de la intensidad de uso .....	- 41 -
Ecuación 3: cálculo de la intensidad real .....	- 42 -
Ecuación 4: cálculo de la caída de tensión máxima en una línea.....	- 43 -
Ecuación 5: cálculo de la caída de tensión real.....	- 44 -
Ecuación 6: cálculo longitud máxima para la caída de tensión máxima .....	- 44 -

### **IMÁGENES:**

Imagen 1: esquema unifilar de uno de los SAI instalados actualmente .....	- 13 -
Imagen 2: gráfico de potencias .....	- 15 -
Imagen 3: torre de destilación y derivados que se obtienen.....	- 18 -
Imagen 4: esquema unifilar de los nuevos SAI.....	- 25 -
Imagen 5: previsualización de lo que sería un cable de este tipo (en este caso con más de 3 conductores) .....	- 62 -
Imagen 6: tipos de segregación dentro de un cuadro de BT .....	- 64 -

### **TABLAS:**

Tabla 1: resumen de las características de los equipos actuales a sustituir .....	- 14 -
Tabla 2: situación de la subestación 1X.....	- 16 -
Tabla 3: situación de la subestación 101.....	- 16 -
Tabla 4: situación de la subestación 301.....	- 16 -
Tabla 5: situación de la subestación 401.....	- 17 -
Tabla 6: exceso de energía reactiva a compensar en cada subestación.....	- 22 -
Tabla 7: relación entre subestación y área a la que alimenta.....	- 23 -
Tabla 8: lista de pasos a seguir en este proyecto.....	- 24 -
Tabla 9: cantidad de reactiva que se compensaría .....	- 27 -
Tabla 10: cantidad total a compensar en cada embarrado de las subestaciones .....	- 28 -
Tabla 11: propuestas de baterías para las subestaciones.....	- 28 -
Tabla 12: baterías que están fuera de servicio y se cambiarían por unas iguales .....	- 29 -
Tabla 13: coste de cambiar las baterías .....	- 29 -
Tabla 14: excedente total de reactiva que hay en la refinería.....	- 29 -
Tabla 15: coste del exceso de reactiva por periodos de tiempo.....	- 30 -
Tabla 16: resultados obtenidos para cada caso .....	- 30 -
Tabla 17: comparativa de las dos opciones .....	- 31 -
Tabla 18: organigrama de los trabajos a realizar durante la parada .....	- 33 -
Tabla 19: descripción de los trabajos a realizar en parada .....	- 34 -
Tabla 20: detalle de las salidas del SAI301A.....	- 35 -
Tabla 21: detalle de las salidas del SAI301B.....	- 36 -
Tabla 22: detalle de las salidas del SAI401A.....	- 37 -
Tabla 23: detalle de las salidas del SAI401B.....	- 38 -
Tabla 24: detalle de las salidas del SAI501A.....	- 39 -

Tabla 25: detalle de las salidas del SAI501B.....	- 39 -
Tabla 26: secciones de los cables de alimentación de los SAI actuales .....	- 40 -
Tabla 27: longitudes de cable de alimentación de cada SAI .....	- 41 -
Tabla 28: tipo de instalación .....	- 42 -
Tabla 29: factor de corrección por agrupamiento para cada caso .....	- 42 -
Tabla 30: intensidades normalizadas para cada sección de conductor, método de instalación y tipo de cable.....	- 43 -
Tabla 31: resultados de la caída de tensión en cada caso .....	- 44 -
Tabla 32: resultados obtenidos para cada caso .....	- 44 -
Tabla 33: relación de cada armario con su contenido .....	- 53 -
Tabla 34: intensidad máxima admisible, en amperios, en servicio permanente para cables con conductores de cobre en instalación al aire en galerías ventiladas.....	- 67 -
Tabla 35: coste de los equipos eléctricos nuevos .....	- 70 -
Tabla 36: coste del montaje eléctrico .....	- 70 -
Tabla 37: coste de la obra civil y trabajos de construcción.....	- 71 -
Tabla 38: resumen final del total del presupuesto .....	- 71 -

### 1.3. Objeto

El planteamiento de este proyecto consiste en realizar mejoras eléctricas en diversas subestaciones de una refinería de petróleo.

Por un lado, es necesario reemplazar varios equipos de alimentación ininterrumpida en las subestaciones de la refinería de petróleo. A partir del año 2021, el fabricante comunica que para determinados modelos deja tanto de fabricar repuestos como de garantizar reparaciones. Es por ello por lo que surge la necesidad de comprar equipos nuevos para sustituirlos con el estudio que ello implica, tanto a nivel técnico como económico.

Dichos equipos se encargan de garantizar una alimentación segura, si se produce un fallo de cualquier tipo, a aquellas cargas que se consideran críticas y que bajo ningún concepto no se deben quedar aisladas.

Desde el departamento de ingeniería de la refinería se encargarán de que todos los equipos nuevos encajen en las subestaciones existentes. Se deben valorar tanto las disposiciones eléctricas como constructivas. Por eso es esencial una cooperación entre el departamento eléctrico y el de construcción, para así asegurar un buen resultado final.

En segundo lugar, también se valorará un posible reemplazo de las baterías de condensadores encargadas de compensar exceso de energía reactiva. Esta parte del proyecto está enfocada en la energía reactiva. Desde el departamento de mantenimiento eléctrico se observó que algunas subestaciones presentaban niveles de energía reactiva muy por encima de los que actualmente se puede compensar. Por ello, se inició un estudio para ver en cuánto se superaban los límites en cada una de las subestaciones y qué medidas se pueden adoptar para abordar dichos problemas.

### 1.4. Alcance

La primera parte del proyecto consiste en cambiar 6 equipos de alimentación ininterrumpida ubicados en 4 subestaciones diferentes, y que cada una de ellas está destinada a la alimentación de un sector de la planta. Es por ello por lo que una planificación y organización de los eventos que se van a llevar a cabo es fundamental, desde asegurarse de que todos los materiales están disponibles el día de trabajo hasta una nueva organización del horario de trabajo de los empleados en el momento en el que se van a realizar los trabajos.

El proceso a seguir para llevar a cabo el cambio es simple, pero a la vez complejo. El cambio de un SAI no solo es un cambio de un equipo por otro, si no que implica un redimensionado de los cables de alimentación o un cambio de los cuadros con todas las protecciones relativas al equipo.

La misión de un sistema de alimentación ininterrumpida, es nunca dejar sin tensión aquellas cargas que sean críticas y que no se deban quedar aisladas en ningún momento. Para ello se necesitan baterías que sean capaces de suministrar toda la potencia necesaria. Al ser las cargas de baja potencia a una tensión de 117V (fase + neutro), no se necesitan un gran número de baterías ni de gran potencia y voltaje.

No se trata de alimentar motores que actúan grandes bombas o compresores ya que la potencia se dispararía y la cantidad de baterías sería enorme, suponiendo un coste inasumible. Por eso, las cargas que se alimentan de los SAI, son todos aquellos componentes que se encargan de controlar motores, válvulas o demás equipos que garanticen la seguridad y la operación de la

planta en caso de emergencia. Más adelante se adjuntará una lista de las cargas que se alimentan de cada uno de los equipos con una pequeña descripción.

En el caso de los sistemas de compensación de energía reactiva se va a explicar la problemática presente para valorar las diferentes medidas que se pueden tomar para tratar de corregir el exceso de potencia reactiva.

No son medidas urgentes que se deban tomar en un breve periodo de tiempo como en el caso anterior de los sistemas de alimentación ininterrumpida sino que se van a plantear para valorar con tiempo la situación. Dependerá de una valoración consensuada del departamento eléctrico de la entidad actuar con mayor o menor urgencia. Al contrario que en el apartado de los SAI, en este apartado se van a ver implicadas más subestaciones.

Las baterías de condensadores sirven para consumir la energía reactiva que se genera en las instalaciones eléctricas de carácter inductivo, ya que esta no produce trabajo útil pero viaja por las líneas eléctricas provocando pérdidas no deseadas. Hay que destacar que prácticamente todas las instalaciones eléctrica son inductivas y para poder funcionar, precisan tanto de potencia activa (la realmente útil) como de reactiva. Más adelante (en el apartado 1.5 Antecedentes) se explicará todo lo relativo a la potencia consumida por una instalación de tipo inductivo.

Los principales efectos de un alto valor de energía reactiva en una instalación eléctrica podrían ser los siguientes:

- Los generadores perderían capacidad para suministrar energía útil.
- La capacidad de transformación en los transformadores se vería reducida al encontrarse el sistema más cargado. Sucedería lo mismo con la capacidad de distribución de las líneas.
- Mayor caída de tensión a lo largo de las líneas de fuerza.
- Aumento de las pérdidas por efecto Joule.
- Encarecimiento del coste de la energía: por una parte se aplicaría el complemento por energía reactiva además de que las pérdidas en el transporte harían el sistema más ineficiente.

## 1.5. Antecedentes

En puntos anteriores se ha explicado qué es un equipo de alimentación ininterrumpida. Ahora se explicará cómo funciona y de qué partes está compuesto dicho equipo.

Lo primero que se encuentra en todo lo que es el equipo son los interruptores encargados de la transferencia entre la alimentación directa y el *bypass* para garantizar una segunda alimentación. Cada una de las alimentaciones se conecta a un embarrado independiente el uno del otro procedente de dos transformadores diferentes. En caso de cualquier fallo aguas arriba en un embarrado, se puede precisar del otro para obtener la alimentación eléctrica.

Seguidamente en cada una de las ramas, se encuentra un transformador que pasa de 500V a 400V en la rama de alimentación directa (que es la alimentación exigida por el fabricante para el equipo y a su vez sirve como un filtro para limpiar la señal de cualquier ruido o cualquier pico de corriente que llega al equipo), mientras que en la de *bypass* se deja una tensión en el secundario de 230V.

A partir de este punto, cada una de las ramas sigue un camino diferente. El *bypass* como su nombre indica, hace un puente a todo el sistema de electrónica y baterías para que en caso de fallo en esa rama, las salidas a los equipos que alimenta el SAI siga teniendo tensión desde las barras de la subestación.

Por otro lado, la parte que contiene todos los sistemas de electrónica, después del transformador que deja una tensión de 400V, se encuentra el rectificador AC/DC. El rectificador es el encargado de crear una tensión continua para que se pueda acoplar el elemento clave de este tipo de equipos: las baterías.

Las baterías son las encargadas de suministrar eléctricamente las cargas en caso de fallo del sistema. Debido a que entregan tensión continua, se debe precisar de un rectificador que transforme la corriente alterna en continua, y posteriormente un inversor que haga el proceso al revés. La conexión de las baterías al bus de continua que sale del rectificador AC/DC lleva las protecciones correspondientes, definidas por el fabricante.

Seguidamente a las baterías, el inversor convierte la tensión continua en alterna para proporcionar una salida de alterna a la que se conectará otro transformador para obtener la tensión deseada a la salida. Dependiendo del caso que se necesite, las salidas serán trifásicas (500V) o monofásicas a diversos niveles de tensión (117V o 230V).

A continuación en la Imagen 1, se puede ver un esquema unifilar general de un SAI de los que hay actualmente instalado en una de las subestaciones de la refinería.

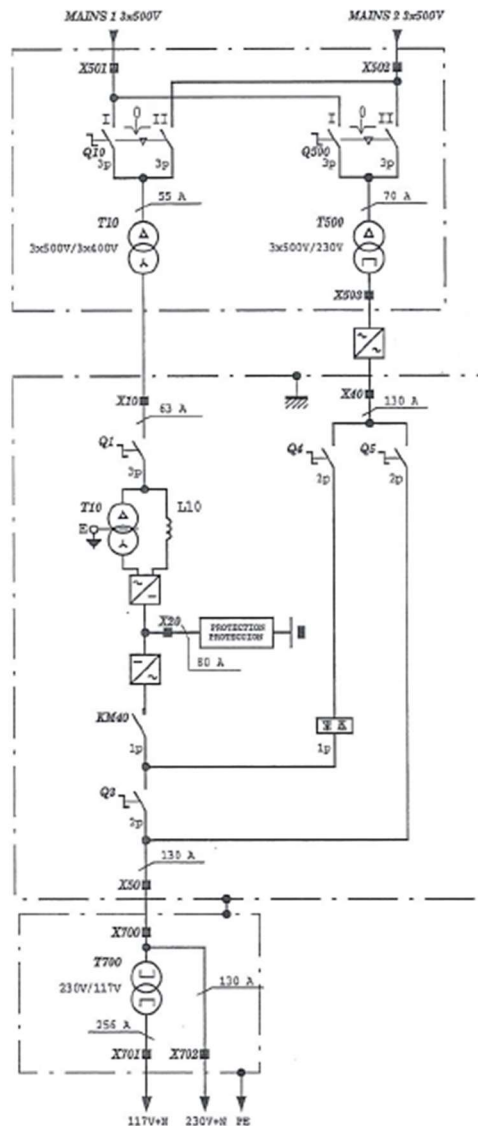


Imagen 1: esquema unifilar de uno de los SAI instalados actualmente

Viendo la imagen del esquema unifilar es más fácil diferenciar las tres partes que componen un sistema de alimentación ininterrumpida, marcadas cada una de ellas mediante una línea discontinua. La primera son los transformadores que se necesitan para conseguir la tensión de 400V para alimentar el equipo así como los interruptores encargados de la transferencia. En la segunda de ellas, se encuentra lo que es el sistema en sí, tanto la rama que contiene la parte de electrónica y la rama que establece el *bypass* a la primera. La última de ellas, es la parte de salidas en las que se encuentra un último transformador para conseguir las tensiones necesarias a la salida. En este caso se precisa de dos salidas monofásicas, una de 117V y una de 230V por lo que la primera se obtiene de la salida del transformador y la segunda de antes del mismo.

En el caso que se muestra en la imagen 1, en la rama del *bypass* aparece un estabilizador tras el transformador de 500V a 230V para que actúe como filtro y limpie la señal antes de que entre a lo que viene siendo el equipo de alimentación ininterrumpida.

El transformador que lleva el *bypass* a la entrada deja una tensión de 230V para que directamente se pueda conectar a la salida del inversor ya que su nivel de tensión.

La información resumida de los equipos actualmente instalados se recoge en la Tabla 1. En ella aparecen los diferentes SAI implicados en este proyecto y sus características.

Tabla 1: resumen de las características de los equipos actuales a sustituir

Subestación	Nombre	Potencia (kVA)	Tipo entrada	Tensión entrada (V)	Tipo salida	Tensión salida (V)
SUB 301	301A	30	Trifásica	400	Monofásica	117 y 230
	301B	30	Trifásica	400	Monofásica	117 y 230
SUB 401	401A	60	Trifásica	400	Monofásica	117
	401B	60	Trifásica	400	Monofásica	117
SUB 501	501A	20	Trifásica	400	Trifásica	500
	501B	30	Trifásica	400	Monofásica	117 y 230

Por su parte, los sistemas de compensación de energía reactiva están formados por baterías de condensadores que se encargan de consumir el exceso de reactiva de una instalación.

Como se ha dicho anteriormente, la mayoría de las instalaciones industriales son de carácter inductivo por lo que en ellas, se precisará tanto de energía activa como reactiva. La reactiva no resulta útil, por lo que se precisará de sistemas que la consuman para evitar los efectos no deseados que se explican en el apartado anterior.

Para explicar la relación entre potencias activa y reactiva hay que entender otra más: la potencia aparente. Cuando se trata de corriente alterna (AC), se explica la relación de estas tres mediante el triángulo de potencias.

La potencia reactiva (representada mediante la letra Q), indica en qué estado se encuentra una instalación, dependiendo de si es mayor, menor o igual a 0. Como se puede observar en la Imagen 2, en el eje de abscisas (parte Real) se halla la potencia útil, o lo que es lo mismo, la potencia activa (representada mediante la letra P). En cambio en el eje de ordenadas (parte Imaginaria) se representa la potencia reactiva o no útil. La potencia aparente (representada mediante la letra S) es la hipotenusa que completaría el triángulo con P y Q.

El último concepto que hay que explicar es el ángulo de carga ( $\varphi$ ), que mediante relaciones trigonométricas se podrá calcular y que va a ser el indicador más claro sobre qué estado se encuentra una instalación.

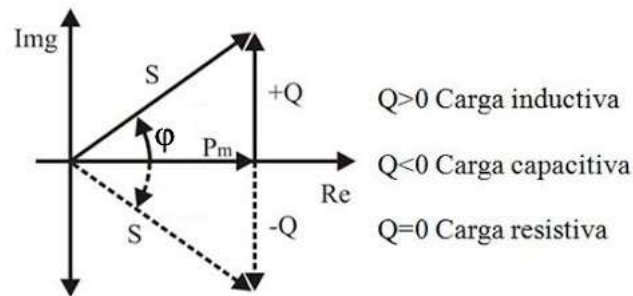


Imagen 2: gráfico de potencias

Aplicando relaciones trigonométricas a un triángulo rectángulo, podemos obtener el  $\cos \varphi$  de la forma que se muestra en la Ecuación 1. **No se encuentra el origen de la referencia.** A este parámetro, también se le conoce como factor de potencia (FP) de una instalación.

Ecuación 1: cálculo del factor de potencia

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Para tener una instalación lo más eficiente posible, se tiene que disminuir tanto como se pueda el valor de Q a 0. Es por ello que van a ser necesarias baterías de condensadores que se encargarán de consumir la energía reactiva excesiva. Cuanto más se acerque el valor del  $\cos \varphi$  a 1, será un indicador del buen estado de una instalación eléctrica en el apartado de la energía reactiva.

En este apartado del trabajo, se pretende conocer al detalle la situación de muchas de las subestaciones de la refinería para poder tomar ciertas medidas para mejorar la eficiencia de las instalaciones. No van a ser medidas de carácter urgente, si no que se elaborará un estudio para conocer la problemática existente y proponer una serie de modificaciones.

En primer lugar, hay que conocer la situación actual de las subestaciones. En este caso se ven implicadas más que en el apartado de los sistemas de alimentación ininterrumpida. Para ello es necesario un trabajo de campo recorriendo dichas subestaciones y tomando los datos de los valores de potencias activa y reactiva. También es necesario saber que hay dos niveles de compensación en las subestaciones, baja tensión (500V) y media tensión (6,6 kV). Por otra parte se compensan independientemente las barras A y las barras B de cada subestación, ya que en algunos casos no tienen que presentar los mismos niveles de carga. Hay que entender que hay unas subestaciones de las que se alimentan otras más pequeñas. Por ejemplo, del embarrado A de una subestación mayor se alimenta el embarrado A de otra más pequeña. En algún caso concreto, de un embarrado de una subestación maestra se alimenta una subestación entera más pequeña.

Para ver un ejemplo más gráfico, se pone el caso de la subestación 1X (ver la Tabla 2). En el embarrado A en la parte de alta, se observa que hay en funcionamiento 2500 kVAr y aun así sigue habiendo un exceso de 1100 kVAr, mientras que en la de baja se ven todas las subestaciones secundarias que cuelgan de la primaria así como qué capacidad de baterías de condensadores hay en cada una de ellas. En este caso, se ve que toda la subestación 3 cuelga del embarrado A. La misma interpretación se da en el embarrado B.

Tabla 2: situación de la subestación 1X

SUB 1X				
	Embarrado A		Embarrado B	
6,6 kV	Compensación	2500 kVAr	Compensación	1500 kVAr
	Consumo	1100 kVAr	Consumo	1940 kVAr
500 V	SUB 2-A	865 kVAr	SUB 2-B	865 kVAr
	SUB 3	0	-	
	SUB 102-A	0	SUB 102-B	0
	SUB 106-A	0	SUB 106-B	0

Una vez explicada la forma en la que se van a presentar los estados de cada una de las subestaciones, se va a proceder a presentar tablas similares para todas las implicadas. En el caso de que en la tabla aparezca a expresión “fuera de servicio”, indicará que una batería de condensadores de una subestación no se encuentra conectada a la instalación.

Tabla 3: situación de la subestación 101

SUB 101				
	Embarrado A		Embarrado B	
6,6 kV	Compensación	2500 kVAr + 2x1500 kVAr	Compensación	0
	Consumo	1620 kVAr	Consumo	1200 kVAr
	SUB 105	0		
500 V	SUB 105-A	0	SUB 105-B	0
	SUB 103-A	500 kVAr	SUB 103-B	500 kVAr
	Losa-A	0	Losa-B	0

Tabla 4: situación de la subestación 301

SUB 301				
	Embarrado A		Embarrado B	
6,6 kV	Compensación	2750 kVAr fuera de servicio	Compensación	2750 kVAr fuera de servicio
	Consumo	3200 kVAr	Consumo	1820 kVAr
500 V	SUB 301-A	450 kVAr fuera de servicio	SUB 301-B	450 kVAr fuera de servicio
	SUB 302-A	450 kVAr fuera de servicio	SUB 302-B	450 kVAr fuera de servicio



Tabla 5: situación de la subestación 401

SUB 401				
	Embarrado A		Embarrado B	
6,6 kV	Compensación	2750 kVAr fuera de servicio	Compensación	2750 kVAr fuera de servicio
	Consumo	1230 kVAr	Consumo	2690 kVAr
500 V	SUB 401-A	450 kVAr	SUB 401-B	450 kVAr
	SUB 4-A	260 kVAr	SUB 4-B	0
	SUB 5-A	0	SUB 5-B	0
	SUB 7-A	0	SUB 7-B	0
	SUB 8	0	-	
	SUB ISLA-A	0	SUB ISLA-B	0

- Proceso productivo

En una refinería de petróleo como esta, el proceso se basa en aprovechar al máximo el petróleo que llega de los pozos submarinos transportados por los barcos petroleros que atracan en el puerto de Castellón. Una vez atraca el barco, se descarga el producto bombeándose desde los propios barcos a través de 4 grandes bombas, siendo estas fundamentales ya que un fallo en alguna de ellas obliga a modificar el proceso de producción. Cuando llega a planta, se empieza a tratar al crudo para poder aplicarle el proceso de refinado en la torre de destilación y así obtener los derivados finales.

Explicar el proceso completo, desde que llega el crudo hasta que salen los productos finales para vender, resultaría tedioso y muy complejo. Además, es un proceso en el que interviene la ciencia de la química y que sus actividades quedan fuera del alcance de este proyecto. Pero para conocer qué es lo que se está alimentando desde cada una de las subestaciones, es necesario saber a grandes rasgos y sin profundizar demasiado cómo funciona una refinería de petróleo.

La electricidad está presente en todos y cada uno de esos tratamientos y procesos adicionales para la obtención del producto final. Para entender a qué partes de la refinería alimentan hace falta conocer brevemente el proceso de producción a grandes rasgos. Todo el proceso que conlleva aplicar tratamientos (químicos, físicos o de cualquier índole) adicionales al crudo para poder obtener derivados industriales se conoce como refinado del petróleo.

La refinería de Castellón sigue un esquema típico de refinado de crudo como cualquier otra que pueda existir. Una vez el crudo llega a planta, se le aplica un proceso de desalado para eliminar toda la sal proveniente del agua marina, ya que siempre queda en el crudo. Como se puede suponer, la sal es corrosiva y resulta dañina para los componentes de la instalación si no se elimina previamente. El proceso de desalado consiste en eliminar primero el agua y luego las sales disueltas que comúnmente son cloruro de sodio, sal común o halita. La sal se elimina mediante un proceso electrostático.

Una vez que el petróleo ya se encuentra listo, se aplica el primer tratamiento conocido como destilación y que es el más importante de toda la refinería. Este proceso se realiza a presión atmosférica y consiste en calentar el crudo en los hornos adyacentes a la torre de destilación hasta una temperatura cercana a los 400°C y, seguidamente, bombearlo hacia la base de la torre de destilación. Una vez allí se deja enfriar a presión atmosférica, y debido a que cada uno de los productos presentes en el crudo posee una temperatura de ebullición distinta, se consigue recoger cada uno de los productos fraccionadamente a diferentes alturas de la torre.

Se conoce como destilación fraccionada a este proceso ya que en la torre hay instaladas una serie de bandejas en las que se recogen los subproductos. Los más pesados se quedan en el fondo de la torre mientras que los más ligeros se encuentran más arriba.

Los derivados obtenidos son diversos y cada uno de ellos tiene un uso. Una lista resumida es la siguiente, ordenados de más pesados a más ligeros:

- Asfalto, alquitrán y aceites pesados.
- Lubricantes, parafinas y aceites ligeros.
- Combustible tipo diésel.
- Naftas y queroseno.
- Bencinas y gasolinas.
- Gases ligeros (etano y metano, además de butano y propano conocidos como GLP).

En la Imagen 3, se puede ver de forma gráfica en qué consiste una torre de destilación y qué grupos de productos se obtienen a medida de que la temperatura va disminuyendo.

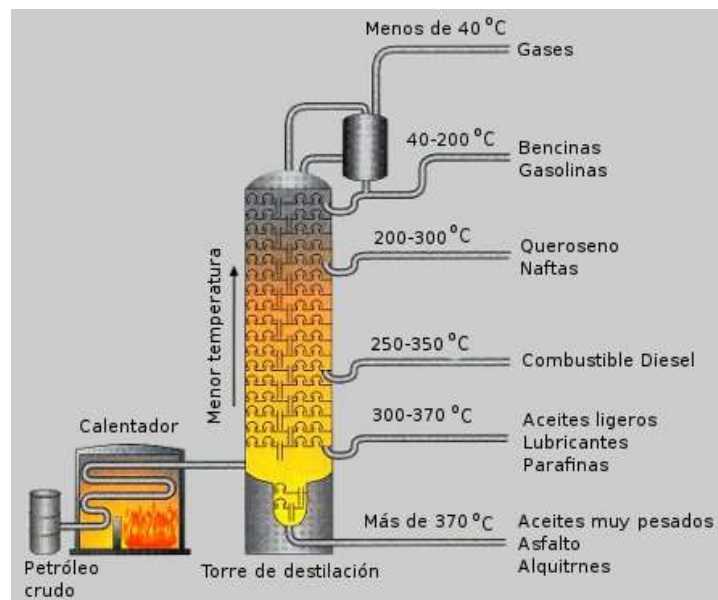


Imagen 3: torre de destilación y derivados que se obtienen

Una vez ya se ha fraccionado el crudo y se han obtenido los derivados fraccionados, cada uno de ellos puede recibir un tratamiento diferente para obtener el producto final. Uno de los más importantes y característicos es la destilación al vacío.

Como su propio nombre indica, en la unidad de destilación al vacío, se vuelve a destilar el producto que queda en la parte más baja de la torre de destilación pero esta vez al vacío y no a presión atmosférica. En esta unidad se introduce el residuo más pesado del fondo de la torre de destilación con el fin de obtener 2 subproductos: el gasoil de vacío pesado y el ligero. El primero de ellos, mediante un tratamiento secundario de hidrocraqueo, sirve para obtener diésel; mientras que el segundo, se introduce en la unidad de FCC (del inglés *Fluid Catalytic Cracking*) junto al gasoil obtenido en la destilación atmosférica.

La unidad de FCC es otra de las partes importantes de una refinería en la que introduciendo los elementos descritos en el párrafo anterior junto con un catalizador (un lecho fluido generalmente), se consigue obtener los siguientes productos:

- Gasolina de FCC: se usará en la producción de gasolina.
- Gasoil de FCC: se usará en la producción de diésel para automóviles o combustible para calefacción.
- Diésel pesado: producto final conocido como fueloil.
- Gas combustible que se inserta a la red interna para consumo propio de la refinería.

Seguidamente, una de las salidas del FCC que contiene isobutano y butenos va a la unidad de alquilación en la que hay presentes productos altamente peligrosos y nocivos, principalmente ácido fluorhídrico (HF) o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). El resultado del proceso de alquilación se conoce en este ámbito como alquilato, que posteriormente se utilizará para la fabricación de gasolinas.

De la estación de destilación al vacío, los residuos más pesados también se utilizan, aunque ya es un residuo que ha sido doblemente refinado y parezca que no tenga valor económico. Es aquí cuando aparece otra unidad de las que hay en refinería: coque.

En esta unidad el proceso que sigue el residuo más pesado es simple. Dicho residuo que proviene de la destilación de vacío sale en forma de piedras de tamaño considerable. Un chorro de agua a muy alta presión se encarga de partir dichas piedras en unas de tamaño mucho menor y más manejables. Una vez reducido el tamaño, su principal destino es ser utilizado como combustible en generadores eléctricos, pero cada vez se complica más su venta ya que posee un contenido alto en azufre, por lo que las medidas ambientales cada vez más estrictas complican su quemado.

Para todos los procesos descritos anteriormente, es necesaria una gran cantidad de vapor de agua. Por eso, hay una unidad que no está directamente relacionada con el refinado de petróleo pero sí es fundamental en el proceso productivo: energías.

En esta área, están ubicadas las turbinas de gas en las que se quema el propio gas que se produce en la torre de destilación. Tiene dos funciones principales: la primera es el control de la energía reactiva según el estado en el que se encuentre el balance total de energías en un momento determinado para poder cumplir con la normativa eléctrica y no tener grandes recargos económicos en la factura; la segunda es aprovechar el calor residual de los humos de escape tras quemar el gas para calentar un circuito independiente de agua-vapor.

El vapor producido es utilizado para varias aplicaciones del proceso entre las que se incluyen mantener calientes ciertas tuberías o mover otras turbinas secundarias a vapor.

A grandes rasgos este sería el proceso básico de una refinería, y en el punto siguiente se explicará cada una de las subestaciones a qué parte del proceso afecta así como las características eléctricas que presentan.

## 1.6. Requisitos de diseño

### 1.6.1. Necesidades de la empresa

Los equipos que se van a reemplazar se encuentran por las diferentes subestaciones de la refinería, y cada uno de ellos presenta unas características propias. Actualmente los SAI que hay instalados van desde los 20 hasta los 60 kVA de potencia, teniendo diferentes niveles de tensión a la entrada y salida.

En cada una de las subestaciones hay 2 equipos que alimentan exactamente a las mismas cargas cada uno de ellos. Por tanto se establece una alimentación doble de cada carga que depende de un SAI. Por ejemplo, un presostato instalado en una tubería que es capaz de detectar un valor de presión anormal y enviar una señal a sala de control en cuanto se supera el valor establecido está duplicado; es decir, en esa tubería habrá dos detectores de presión iguales (A y B), y cada uno de ellos recibirá una alimentación directa y otra de SAI.

Cuando se encuentre en un estado de funcionamiento normal, se alimentará mediante la alimentación directa, mientras que si hay algún problema o fallo de cualquier tipo en la instalación eléctrica se alimentará mediante SAI.

Debido a que hay dos iguales instalados (como se explica en el párrafo anterior), uno de ellos recibirá alimentación directa de las “barras A” a la tensión correspondiente y otra del SAI301-A (por ejemplo). El otro recibirá alimentación de la misma manera pero desde las “barras B” así como del SAI301-B.

Por otra parte, en este mismo proyecto de cambio de sistemas de alimentación ininterrumpida, se puede dar el caso de que sea necesario un cambio de cuadros de distribución para la alimentación de dichos equipos.

Los métodos de instalación así como la normativa vigente aplicable a este caso es la norma IEC 61439 (partes 1 y 2), que en el punto 0 4.2.1 Norma IEC 61439 se puede consultar un extracto de las condiciones exigidas para conocer cuál es un cuadro correcto y qué características debe presentar.

- Lista de cargas críticas

Como se ha mencionado anteriormente, los equipos SAI alimentan cargas relacionadas con todo lo relacionado con el control y maniobra en caso de emergencia. En un supuesto estado de corte de suministro eléctrico o cualquier fallo relativo al proceso productivo de la planta que afecten al mismo, tienen que entrar en juego todos los equipos que garanticen un mínimo de seguridad. En el ANEXO A) LISTADO DE CARGAS DE CADA UNO DE LOS SAI se pueden encontrar todas las salidas de cada uno de los SAI, mientras que a continuación se presenta de manera resumida todas las categorías de forma general, de cargas alimentadas mediante SAI:

a) Sistemas contra incendios: tanto detectores de fuego como actuadores que muevan las tomas de agua que se orientan de forma remota desde la sala de control hasta el punto donde se encuentra el fuego.

b) Paneles locales de grandes equipos: estos paneles recogen todos los instrumentos de medida de cualquier parámetro, así como pantallas para la visualización de alarmas. También hay paneles locales que recogen señales del estado de válvulas motorizadas, que en caso de emergencia deben permanecer alimentadas ya que puede ser necesario que se precise de su apertura o cierre para asegurar una parada de emergencia segura. La alimentación segura de estos paneles permite actuar sobre los equipos lo poseen ya sea de local o remotamente.

c) Detectores de gas: en caso de fuga de gases deben permanecer activos ya que deben ser capaces de enviar la señal correspondiente a los actuadores para que salten las alarmas y avisos. Fundamentalmente se trata de detectores de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y de ácido fluorhídrico (HF), gases altamente peligrosos para las personas que se encuentren en ese momento por la planta de proceso productivo (básicamente en el área de alquilación).

d) PLC de reacceleración de una subestación: estos PLC se encargan de arrancar de forma escalada y ordenada los equipos de una subestación tras un pico de corriente que puede hacer que algunos se desconecten. En ese caso, son capaces de repasar el histórico de equipos que estaban en marcha en ese momento y ordenan el arranque de cada uno de ellos. Previamente se le ha configurado un orden de prioridad teniendo en cuenta qué motores hay, a qué parte del proceso afectan y qué accionan (compresores, bombas, etc.). Se escala la puesta en marcha cada cierto tiempo (es cuestión de milisegundos) para que no se produzcan daños en la instalación y evitar que pueda haber otra caída pequeña de tensión.

e) Sistema *Benly Nevada*: este sistema se encarga del control de vibraciones de grandes motores en los que una pequeña vibración puede afectar al eje y causar problemas en equipo que actúan (bombas, rodillos para mover cintas, etc.).

f) Caudalímetro que indiquen el estado de los conductos que transportan producto para saber su estado y recogen datos sobre el histórico para saber qué puede desencadenar cualquier anomalía detectada.

g) Emisoras: en cada subestación hay una emisora fija que permite la comunicación en cualquier momento y en caso de emergencia debe tener alimentación asegurada.

h) Fibra óptica: se alimentan cables de este tipo para transmitir gran cantidad de datos y señales a la sala de control para que sepan en qué estado se encuentra cada subestación.

i) Salidas a 24V de tensión continua para alimentar equipos auxiliares.

j) Variadores de frecuencia de motores que la parte de control no puede quedarse aislada en ninguna circunstancia. Sobre todo, afecta a los motores que accionan ventiladores y tienen un papel importante en el proceso productivo, ya que se utilizan para refrigerar partes del proceso que si se sobrecalientan tienen efectos nefastos para la producción.

k) Algunos equipos de pequeña potencia que tienen que estar siempre alimentados. Aunque es algún caso aislado, hay 3 ventiladores de baja potencia (1kW cada uno de ellos) que se alimentan de baterías en caso de emergencia.

l) Comunicaciones entre PLC de sala de control y subestaciones: es muy frecuente tener un PLC maestro en cada una de las subestaciones que tiene la función de recoger todas las señales de la misma. Este PLC tiene como misión enviar todas las señales a la sala de control para que puedan visualizarlas. Si no existiese este PLC, se debería tender un cable para cada una de las señales que se necesiten, por lo que se instala un PLC maestro en la subestación y otro igual en la sala de control que se comunica mediante cable con el primero. Es obvio que debe llevar una alimentación mediante SAI para que no se quede aislado bajo ningún concepto.

- Mantenimiento

En cuanto se refiere al mantenimiento de los equipos, se seguirá en la misma línea de los que hay actualmente instalados. Las reparaciones básicas que necesitan estos se equipos se pueden realizar mientras el equipo se encuentra en funcionamiento normal, es decir cuando la alimentación no depende de las baterías. En caso de sustitución de las placas que forman la electrónica del equipo (rectificador e inversor), se pasa a *bypass* para poder trabajar de forma segura sin tensión y sin comprometer la alimentación de los equipos aguas abajo.

Cada uno de los elementos que lo conforman y que se pueden cambiar (principalmente las baterías y las tarjetas de la electrónica) deben tener planificadas unos periodos máximos de funcionamientos y cuando se vean cumplidos proceder a su recambio.

El cambio de dichos elementos se llevará a cargo mediante operarios de la empresa suministradora del SAI que se desplazarán hasta la refinería y realizarán las operaciones correspondientes.

Será responsabilidad de la empresa BP, tanto del departamento eléctrico como del de fiabilidad de controlar si se cumplen los recambios así como de avisar a los operarios de la empresa suministradora para que realicen los trabajos. También, se deberá controlar el stock de recambios en el almacén de la refinería por si surgen averías y se precisa de dichas piezas.

- Reactiva

Una vez conocidas las situaciones en cuanto a niveles de energía reactiva se refiere de las diferentes subestaciones involucradas, se puede resumir la cantidad de energía reactiva a compensar.

Las medidas tomadas en campo corresponden a un día normal en el que el proceso productivo no se ve alterado significativamente. Debido a que en la parte de baja tensión (500V) está prácticamente todo en servicio, no se van a tomar medidas en este apartado, tan solo se va a actuar en la parte de media tensión (6,6 kV). Aquí es donde más medidas son necesarias ya que hay varios supuestos en cada una de las subestaciones y se encuentra la mayor parte de energía reactiva a compensar.

En la Tabla 6, se puede ver resumidamente la cantidad que aún falta por compensar en cada una de las subestaciones en cada embarrado (A y B). Todos los datos de dicha tabla se muestran en kVAr.

Tabla 6: exceso de energía reactiva a compensar en cada subestación

	Embarrado A	Embarrado B
<b>SUB 1X</b>	1100	1940
<b>SUB 101</b>	1620	1200
<b>SUB 301</b>	3200	1820
<b>SUB 401</b>	1230	2690

### 1.6.2. Emplazamiento

- Subestaciones en refinería

Todos los equipos que se van a reemplazar se encuentran ubicados en las diferentes subestaciones que hay en la planta de producción de la refinería de petróleo. Mediante ellas se abastece eléctricamente a todos los equipos ubicados en las diferentes áreas que componen el proceso productivo de la refinería. Todas tienen una misma estructura en cuanto a esquema eléctrico se refiere, y se pueden distinguir varios niveles de tensión dentro de una misma subestación.

En el punto 3 PLANOS, viendo los planos número 2 a 5, se pueden consultar las ubicaciones de todas las subestaciones implicadas en este proyecto.

El suministro eléctrico en cualquier actividad industrial se considera esencial. Cualquier equipo precisa de electricidad para poder funcionar y aportar su parte al proceso productivo. Se puede comparar con una cadena, si un eslabón falla parte de la planta se ve afectada y se puede detener la línea de producción causando enormes pérdidas económicas para la empresa. En la Tabla 7, se recogen cuáles son las unidades que se alimentan de cada una de las subestaciones:

*Tabla 7: relación entre subestación y área a la que alimenta*

Subestación	Área
SUB1X	Energías
SUB101	Energías
SUB301	Alquilación
SUB401	Coque
SUB501	Energías

Reciben alimentación mediante 2 transformadores independientes de 66 a 6,6 kV y cada uno de ellos alimenta a un embarrado (A y B). En cada uno de esos embarrados se conectan los equipos de media tensión correspondientes, así como 1 transformador que suele tener una configuración de doble secundario con salidas a 400 V y 500 V dependiendo de los equipos que se conectan en cada uno de ellos. En los casos que sólo se precise de un nivel de tensión, el transformador dispondrá de un secundario solamente.

En el punto 3 PLANOS, viendo el plano número 1, se puede consultar el esquema unifilar básico (de manera resumida y simplificada) de una subestación como las que hay en la refinería. De un vistazo a ese plano, se entenderá mejor cómo está configurada una subestación.

Las grandes cargas que se alimentan a media tensión, se conectan directamente al embarrado de 6,6kV con sus respectivas protecciones, sistemas de control, medida y comunicación.

Mientras que las cargas alimentadas a 500V (que son mucho más numerosas que las anteriores) se conectan mediante cubículos que contienen también las protecciones, aparatos de medida, control y comunicación. Ejemplos de estas cargas son equipos de unos pocos kilovatios, y entre ellas se encuentra la alimentación a los SAI que incumbe este proyecto.

Como se ha mencionado anteriormente, todos los equipos están instalados por duplicado; por ejemplo una válvula motorizada no lleva uno sino dos motores capaces de accionarla. Es por eso que cada salida de los transformadores mencionados antes alimenta a un CCM por separado, y cada uno de los CCM (A y B) contiene las mismas cargas.

### 1.6.3. Metodología de trabajo

Una forma ordenada de llevar a cabo todo el proyecto y asegurarse que se realizan todas las operaciones necesarias, es útil elaborar una serie de lista pasos a seguir como la siguiente que se muestra en la Tabla 8:

Tabla 8: lista de pasos a seguir en este proyecto

PASOS A SEGUIR EN EL PROYECTO	
1	Estudiar la instalación actual (secciones de los cables)
2	Comprobación de los espacios disponibles en las subestaciones
3	Estimar si hay que hacer alguna modificación constructiva
4	Medir la longitud de cables para el nuevo dimensionado
5	Cálculo de las secciones de los cables
6	Valoración de los resultados
7	Compra de los materiales necesarios
8	Compra de los nuevos equipos
9	Planificar los trabajos para el periodo de parada
10	Ejecución de los trabajos correspondientes

En el punto 1.9 Planificación, se explicará cuáles son los trabajos a realizar, de qué manera, quién y cuándo se llevaran a cabo.

#### 1.6.4. Equipos nuevos

Para la compra de los nuevos equipos de alimentación ininterrumpida, desde el departamento de la refinería se escogió un único fabricante, ya que es el suministrador habitual de estos equipos y la experiencia de otras compras anteriores se valora en gran medida. En este caso la empresa que fabrica dichos equipos es SOCOMEC. Este fabricante tiene su origen en Francia sobre los años 50 del siglo pasado pero a día de hoy tiene filiales alrededor de todo el mundo. En el caso de España, se encuentra en Barcelona.

El hecho de que ya se dispongan de más equipos eléctricos en la refinería de este mismo fabricante facilita las relaciones comerciales así como la obtención de información además de un posible mejor precio en la compra final de los equipos. Por eso, desde la refinería va a recurrir a este fabricante.

En la Imagen 4 se puede ver el esquema unifilar de los nuevos equipos facilitado por el fabricante. Se puede comprobar que se repite el mismo esquema que en los viejos (ver Imagen 1).



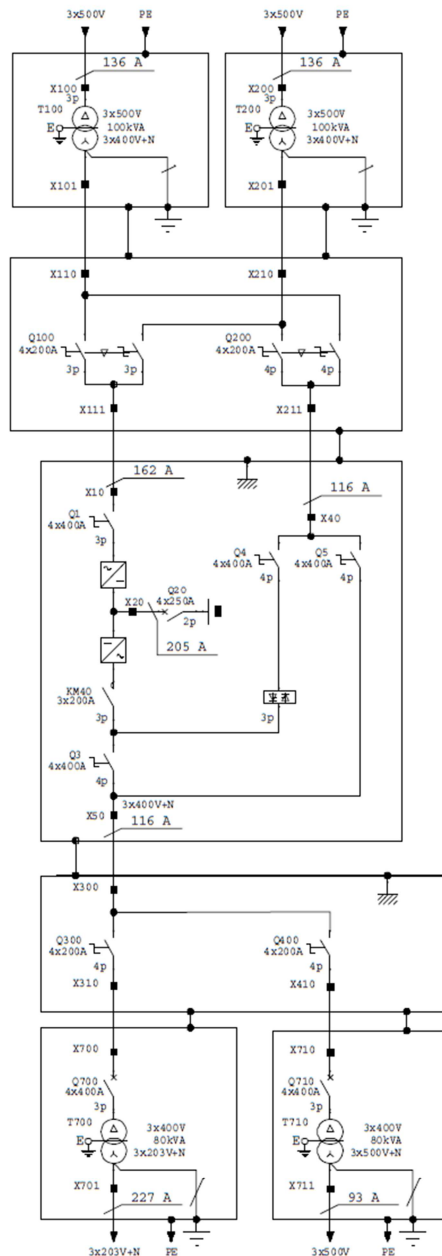


Imagen 4: esquema unifilar de los nuevos SAI

La configuración de los nuevos equipos es similar a la de los antiguos. Presentan una doble entrada con sendos transformadores que pasan la entrada de 500V a 400V que es lo que requiere el equipo.

A partir de ahí la estructura es la misma que en los antiguos: una rama de *bypass* y otra que contiene toda la parte de la electrónica (rectificador, inversor y baterías).

A continuación de esto, aparece un selector de salidas para poder escoger entre ambas. Las dos son trifásicas, una de ellas a 203V más neutro y la otra a 500V.

En el Anexo C) ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS NUEVOS SAI, se pueden consultar todas las características al detalle de este equipo, tanto las eléctricas como las constructivas.

## 1.7. Análisis de soluciones

Como ya se ha comentado anteriormente, el hecho de que en la refinería se disponga de más equipos de éste tipo del fabricante SOCOMEC, ya no se va a recurrir a buscar otras alternativas para la compra de los nuevos equipos. El histórico de buenos resultados cuando se comercia con este fabricante, hace que no se valoren más alternativas para la compra de nuevos productos.

Por otra parte, desde el departamento de ingeniería eléctrica tan solo se tiene que comunicar al fabricante las condiciones que deben cumplir los nuevos sistemas ya que éstos deben cumplir ciertos requisitos establecidos por BP.

La normativa eléctrica de la refinería se puede consultar en el apartado 0 4.2. Normativa eléctrica.

Las soluciones que se van a plantear para la parte de la energía reactiva, como ya se ha comentado, no son de carácter urgente ni tampoco son de extrema necesidad. Tan solo se presentan como propuestas de mejoras tras observaciones de parte del personal perteneciente al departamento eléctrico, y que después de realizar comentarios y observaciones en equipo, se puedan valorar de forma seria para futuras acciones a tomar. A continuación, se presentan 4 modelos de propuestas diferentes para abordar este problema de la mejor manera posible, atendiendo a criterios técnicos y económicos.

### A) PROPUESTA A

La solución más fácil de adoptar sería dejar todo tal cual está. Al fin y al cabo, la refinería produce derivados del petróleo en grandes cantidades y al ser una corporación tan grande, tiene un beneficio neto al cabo del año muy cuantioso.

Por tanto, se puede valorar la opción de pagar los peajes que establece la comercializadora de energía eléctrica por exceso de reactiva antes que gastar dinero en mejorar las instalaciones que sirven para compensar dicho exceso.

Al tener muchas subestaciones en las que actuar, muchos equipos en los que realizar modificaciones o cambiarlos por unos nuevos, el desembolso para sufragar la compra de los mismos así como el personal necesario podría no compensar los recargos establecidos por la empresa comercializadora.

### B) PROPUESTA B

Otra alternativa muy simple (desde el punto de vista técnico), consiste en conectar a la red aquellas baterías que se encuentran fuera de servicio. El coste de esta medida es mínimo, pero debido a que dichas baterías se hallan desde hace tiempo, el simple hecho de conectarlas así sin más, puede generar problemas en los equipos y sistemas de las subestaciones. También podrían causar daños a las personas que trabajan en ese momento debido al posible mal estado de los elementos eléctricos instalados.

Antes de llevar a cabo cualquier acción, sería necesario un estudio del estado actual de las protecciones y equipos auxiliares de las baterías. Una vez se tengan los resultados a la vista, se tomarían las decisiones oportunas.

Esta alternativa es similar a la anterior. No tiene un coste de compra de nuevos sistemas y tampoco de instalación de nuevos. Pero a largo plazo, estos costes pueden ser mayores tanto si hay un exceso mayor de reactiva que no se pueda compensar y por el que se pagará más peaje o si por otra parte hay un fallo de cualquier índole en los equipos que se conecten.

En caso de que se optase por conectar aquellas baterías que ahora mismo se hallan fuera de servicio, el estado de la reactiva en la refinería quedaría de la siguiente manera.

La subestación más afectada sería la 301, en la que se conectarían sus baterías tanto de alta tensión como de baja en ambos embarrados. Por su parte, en la 401 se tendrían que conectar solamente las de la parte de alta tensión.

En la Tabla 9, se recogen los valores (en kVAr) que pasarían a compensarse en caso de conectar las que ahora mismo están en fuera de servicio. Como se puede comprobar si se mira en la Tabla 6, con esta solución se sobrepasaría ampliamente el exceso que hay ahora mismo en ambas subestaciones.

Tabla 9: cantidad de reactiva que se compensaría

	SUB301	SUB401
<b>Embarrado A</b>	3650	2750
<b>Embarrado B</b>	3650	2750

Esta propuesta, tan solo soluciona los problemas en estas dos subestaciones. En las demás, el estado sería el mismo que en el principio y no se llegaría a compensar la totalidad de la energía reactiva.

### C) PROPUESTA C

En caso de que se quiera hacer una inversión mayor en cuanto a material se refiere, se podría optar por sustituir las baterías que ahora se encuentran fuera de servicio. De esta forma, se mantendría compensando el mismo nivel de reactiva que en la actualidad con las baterías viejas que están conectadas pero en el momento que se instalen las nuevas, se procedería a cambiar las más antiguas.

Ya que se van a instalar unas de nuevas, se podría ampliar la capacidad en comparación a las que hay ahora. Más adelante, cuando se vayan a reemplazar las que son más viejas, se podría optar por instalar aún más capacidad para poder hacer frente a posibles ampliaciones de la refinería y que no vuelva a aparecer el mismo problema que existe ahora.

Con esta propuesta, se podría hacer frente al coste económico de la actualización de las baterías en dos fases, haciendo que sea más cómodo costear el proyecto. De esta manera, llegado el momento en el que se vaya a llevar a cabo el proyecto no se dispone de la totalidad del dinero necesario (ya que puede ser más urgente destinarlo a otros fines en los que la dirección de la planta vea más provechoso), se afronta en dos fases precisando de menos dinero en cada una de ellas.

Como ventaja, se puede destacar que una vez cambiadas las que están fuera de servicio y se disponga de su total funcionamiento las nuevas, las que ya están instaladas se pueden continuar usando mientras no causen problemas. Se conseguiría actualizar las más viejas y poner en servicio unas de nuevas pero a su vez las que ahora ya están funcionando continuarían en servicio y se irían reemplazando a medida que haya ampliaciones que requieran más potencia o antes si causan problemas.

#### D) PROPUESTA D

Otra opción, sería cambiar la totalidad de las baterías que haya ahora instaladas, tanto las que están en funcionamiento como las que estén fuera de servicio. Además, se valorará la posibilidad de instalar capacidad adicional para poder compensar más potencia reactiva en caso de que en el futuro, se produzcan ampliaciones de la subestación en cuestión y no volver a tener la misma problemática actual.

Asimismo, se presentará la posibilidad de incorporar escalones que permitan adaptar el nivel de energía reactiva a compensar, según el estado en el que se encuentre la subestación en un momento determinado.

Esta propuesta sería la más cara económicamente hablando ya que aparte de sustituir todas las baterías actuales (tanto las que están en uso como las que no), se instalaría más capacidad de la que ya hay ahora mismo. Por lo tanto, para saber la cantidad total de energía reactiva que se debería compensar, se debería sumar los excesos actuales (véase Tabla 6) más los valores de reactiva que ya se están compensando ahora mismo que se muestran de la Tabla 2 a la Tabla 5 según qué subestación. Sumando ambos valores, se queda que para cada embarrado de cada una de las subestaciones quedarían los siguientes valores (en kVAr):

Tabla 10: cantidad total a compensar en cada embarrado de las subestaciones

	Embarrado A	Embarrado B
<b>SUB 1X</b>	4465	4305
<b>SUB 101</b>	7620	1700
<b>SUB 301</b>	6850	5470
<b>SUB 401</b>	4690	5890

Esta última opción sería la más costosa de las 4, pero por otra parte se aseguraría un nuevo diseño en el apartado de sistemas de compensación de reactiva con equipos completamente nuevos y con garantías de un buen funcionamiento.

Como mejora, se va a proponer una previsión de escalones en dichas baterías que permitan ajustar la compensación dependiendo de si hay más o menos energía a compensar. En todos los casos (como se ve en la Tabla 11), hay un escalón fijo que previsiblemente va a estar siempre en funcionamiento y se añadirán escalones en función de la cantidad que se tiene que compensar atendiendo a los valores de la Tabla 10.

En la Tabla 11, se presentan las propuestas para cada una de las subestaciones. Los valores aparecen en kVAr.

Tabla 11: propuestas de baterías para las subestaciones

	SUB 1X	SUB 101	SUB 301	SUB 401
<b>Embarrado A</b>	3000 + 4x500	5000 + 4x750	4000 + 4x750	3000 + 4x500
<b>Embarrado B</b>	3000 + 4x500	1000 + 2x750	3000 + 4x750	3000 + 4x750

- COMPARATIVA PROPUESTAS C y D

A modo de comparar cuál de estas dos propuestas resulta más rentable económicamente, se va a preparar un pequeño estudio económico para determinar cuál de ellas es más beneficiosa.

En primer lugar hay que presentar qué es lo que se va a comparar:

Por un lado la propuesta C, tiene como costes el cambio de las que están ahora mismo fuera de servicio (ver de la Tabla 2 a la Tabla 5) además de costear el exceso que aún quedaría de reactiva en las subestaciones. Por otro lado, si se mira la propuesta D, se debería costear el cambio de la totalidad de las baterías en las subestaciones pero se eliminaría el recargo de reactiva ya que no habría exceso.

Tabla 12: baterías que están fuera de servicio y se cambiarían por unas iguales

	Embarrado A	Embarrado B
<b>SUB 301 (6,6 kV)</b>	2750 kVAr	2750 kVAr
<b>SUB 301 (500V)</b>	450 kVAr	450 kVAr
<b>SUB 302 (500V)</b>	450 kVAr	450 kVAr
<b>SUB 401 (6,6 kV)</b>	2750 kVAr	2750 kVAr

Sumando los valores de las baterías, da que se van a cambiar 12800 kVAr. El cambio de esas baterías por unas de nuevas con la misma potencia sería el siguiente:

Tabla 13: coste de cambiar las baterías

COSTE CAMBIO BATERÍAS	Unidades	Precio unitario	Subtotal
Batería condensadores 2750 kVAr	1	14.268,53 €	14.268,53 €
Batería condensadores 450 kVAr	4	5.407,62 €	21.630,48 €
<b>TOTAL BATERÍAS</b>			<b>35.899,01 €</b>

Si se realiza el cambio con la misma potencia instalada, aún quedaría un exceso de reactiva por compensar y por el que se debería pagar un peaje a la empresa suministradora de electricidad. Por tanto, para calcularlo, se debería consultar la Tabla 4 (SUB301) y la Tabla 5 (SUB401), sumar los apartados *compensación* (tanto en la parte de alta como la de baja). La diferencia entre esa suma y el apartado *consumo* de todas las subestaciones, será el excedente que habrá que compensar. Los valores de la tabla aparecen en kVAr.

Tabla 14: excedente total de reactiva que hay en la refinería

Excedente de reactiva			
Subestación	Embarrado A	Embarrado B	TOTAL
<b>SUB 1X</b>	1100	1940	<b>3040</b>
<b>SUB 101</b>	1620	1200	<b>2820</b>
<b>SUB 301</b>	3200	1820	<b>5020</b>
<b>SUB 401</b>	1230	2690	<b>3920</b>
<b>TOTAL EXCEDENTE</b>			<b>14800</b>

Como resumen, se puede afirmar que mirando el excedente total (Tabla 14) y la potencia instalada (párrafo inferior a la Tabla 12), se puede afirmar que hay un desfase de 2000 kVAr.

Por último, es necesario saber qué coste tiene, al cabo de un periodo de tiempo, pagar el peaje del exceso de esos 2000 kVAr. Si se multiplica por las 24 horas que tiene el día (asumiendo que 2000 kVAr es el exceso medio por hora de un día normal), se tiene un valor de energía reactiva al cabo del día de 48000 kVArh.

El precio que establece una comercializadora de energía de la que se ha obtenido información, es de 0,041554 €/kVArh. Por tanto, haciendo una simple multiplicación se puede saber cuánto se va a pagar por el exceso al cabo de un día, mes o año. Para los cálculos se ha tomado que los meses constan de 30 días.

Tabla 15: coste del exceso de reactiva por periodos de tiempo

COSTE DEL EXCESO	
Día	1.994,59 €
Mes	59.837,76 €
Año	718.053,12 €

Una vez se tienen todos los datos a la vista, se puede hacer una valoración de cuál de las dos opciones es la mejor para solucionar el problema. En el apartado siguiente se tomará una decisión y se explicarán sus ventajas e inconvenientes.

## 1.8. Resultados finales

Como resultado de los cálculos de dimensionado (se pueden consultar en el ANEXO B) CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONADO DEL NUEVO CABLEADO) de los cables de alimentación para cada SAI, se ha llegado al resultado de que va a ser necesario sustituir todo el cableado de alimentación para cada equipo por uno nuevo.

Para todos los casos se necesitará una sección de 70 mm<sup>2</sup> ya que las potencias de los equipos a alimentar es la misma y las variaciones en las longitudes del tendido son pocas como para que sean relevantes a la hora del cálculo.

En la Tabla 32 que se encuentra en el Anexo B) CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONADO DEL NUEVO CABLEADO (apartado B.3. Resultados), aparece un resumen de las secciones para cada caso así como las longitudes del tendido de cable.

A continuación también se muestra dicha tabla con las secciones necesarias para cada caso así como las longitudes de tendido de cable para cada uno de los sistemas.

Tabla 16: resultados obtenidos para cada caso

Nomenclatura	Sección (mm <sup>2</sup> )	Longitud (m)
301A	70	40
301B	70	50
401A	70	25
401B	70	20
501A	70	45
501B	70	45

Los detalles completos de la configuración de los cables que se van a instalar, se pueden consultar el apartado 4.1 Especificaciones del cable.

- VALORACIÓN FINAL DE LAS PROPUESTAS PARA LA COMPENSACIÓN DE REACTIVA

La primera medida no es una mejora tal cual, ya que consistiría en quedarse tal cual y asumir los costes económicos del exceso de reactiva. No se resolvería el problema inicial pero debido a que la refinería se puede permitir costear los peajes impuestos, sería una solución sencilla.

La propuesta B tiene un alto riesgo de fallo eléctrico y es una opción que no presenta una mejora sustancial, tan solo se empezarían a utilizar las baterías que ahora no están en servicio y a largo plazo es muy probable que aparecieran problemas derivados de su vejez. Por otra parte, se requeriría un estudio previo para conocer el estado real de las mismas y valorar si es viable utilizarlas o no. En caso afirmativo y conectando todo lo que está fuera de servicio, no se llegaría ni de lejos a compensar todo el exceso que hay en las subestaciones.

Las dos últimas opciones (C y D) son las que sí que resolverían el problema planteado. La tercera se podría abordar en dos fases asumiendo más cómodamente el apartado económico mientras que la última, presentaría un coste alto debido a la compra de todas las baterías. Por el contrario, acabaría con el problema desde el primer momento y conseguiría compensar la totalidad del exceso de energía reactiva.

Desde mi punto de vista personal, creo que la mejor opción es la propuesta D explicada en el apartado 1.7 Análisis de soluciones).

Si tomamos como referencia el exceso que se paga al cabo del año por la reactiva que aún falta compensar (ver Tabla 15) junto con los costes de parte de las baterías que se cambiarían en una primera fase (ver Tabla 13) y por su parte se compara con el precio de las baterías que se comprarán finalmente (ver Tabla 35) se puede establecer una comparación.

Tabla 17: comparativa de las dos opciones

	Peaje por exceso de reactiva	Compra equipos nuevos	TOTAL
<b>OPCIÓN C</b>	718.053,12 €	35.899,01 €	753.952,13 €
<b>OPCIÓN D</b>	0,00 €	162.084,40 €	162.084,40 €

Queda, meridianamente claro que en tan solo un año vista saldría mucho más rentable optar por la opción D. En estos cálculos no se han incluido los gastos de instalación que se suponen iguales para los dos casos. En el apartado 5 PRESUPUESTO, sí que se tendrán en cuenta para contabilizar el gasto total de este proyecto.

Como ventajas de esta propuesta (la D) se puede destacar que a largo plazo mejoraría la eficiencia de las subestaciones y se evitaría que apareciesen problemas en las baterías durante un periodo que el fabricante asegura una garantía. A parte, se dispondría de una instalación nueva para que si en un futuro hay un aumento de consumo de reactiva, se puedan tomar las acciones necesarias más fácilmente ya que se dispondría de unas instalaciones en condiciones, con un bajo periodo de antigüedad.

## 1.9. Planificación

### 1.9.1. Trabajos en parada

Como ya se ha comentado anteriormente, se plantea la ejecución de este proyecto (además de otros muchos) en periodo de GTAR, y la última que hubo fue en 2017 en la que se realizó una primera fase de cambio de equipos. Ahora, en vistas de que en 2021 habrá otra GTAR se aprovecha para realizar todos los cálculos y proyecciones necesarias para llevar a cabo un correcto desempeño de los trabajos.

Una parada general de refinería es un periodo excepcional de trabajo en el que en la refinería se aprovecha para desempeñar trabajos que no serían posibles de llevar a cabo a menos que se pare gran parte del proceso productivo.

Por eso, es fundamental que el tiempo en el que se desarrolle la parada sea el mínimo posible y que se aproveche al máximo para realizar cuantas más mejoras sean necesarias. El hecho de que la refinería se encuentre parada implica pérdidas económicas para la empresa pero por otra parte se gana en mejoras que se implantan para que en un futuro la planta sea más productiva.

Una planificación es esencial para no perjudicar el correcto desarrollo de los demás proyectos que se plantean para un estado de parada general. Se necesita coordinación y precisión para una buena ejecución y un correcto resultado final.

Durante dicho periodo, empresas externas acuden a la planta para trabajar de manera más intensa y poder realizar las tareas planteadas desde la empresa contratante. Aquellas que ya disponen de personal trabajando para BP, amplían numerosamente sus plantillas para poder cubrir las necesidades exigidas.

### 1.9.2. Programación

Para este proyecto en concreto, se va a presentar una propuesta de plazos previos para la elaboración del proyecto, desde que se plantea la problemática hasta que se ejecuta. Partiendo de la base de que la parada tendrá lugar durante el mes de octubre de 2021, se van a programar una serie de pasos a seguir para tener la secuencia de operaciones organizada y comprobar si se van cumpliendo con los plazos previstos.

La lista de pasos a seguir para llevar a cabo el proyecto se puede consultar en la Tabla 8 que se encuentra en el apartado 1.6.3 Metodología de trabajo.

En este punto se van a proponer unos plazos para cada uno de esos pasos a seguir, teniendo en cuenta la fecha en la que se desarrollará el proyecto (mencionada en el primer párrafo de este mismo punto).

Durante la parada general, el cambio de los sistemas de alimentación ininterrumpida no debería durar más de 1 semana. Se van a distribuir los trabajos por turnos, estableciendo 3 turnos diarios de 8 horas cada uno. Los turnos tendrán el siguiente horario:

- Mañana: 07:00h a 15:00h
- Tarde: 15:00h a 23:00h
- Noche: 23:00h a 07:00h

La responsabilidad de distribuir la cantidad necesaria de trabajadores para cada turno será del supervisor responsable designado por el departamento de coordinación de parada general. Se



valorará cada trabajo a realizar en equipo: los responsables de la refinería mantendrán reuniones con los jefes de la cuadrilla que llevarán finalmente a cabo los trabajos.

Las tareas se llevarán a cabo por tres grupos de trabajo diferenciados pero que establecerán lazos para cooperar y trabajar conjuntamente.

- Contratista eléctrico: será una empresa externa a BP que realizará la mayoría de trabajos en campo para desarrollar el proyecto.
- Departamento de mantenimiento eléctrico: grupo perteneciente a BP que ayudará y supervisará en todo momento el trabajo de los contratistas. Además, se encargará de asegurarse de que en cada momento se disponen de los materiales, herramientas y equipos a instalar así como que hay unas garantías de seguridad en cada entorno de trabajo para evitar lesiones y daños a personas.
- Departamento de ingeniería eléctrica: como responsable de ingeniería, la persona designada tendrá en todo momento los mandos del trabajo. Tiene que asegurarse que todo sucede de manera correcta durante el periodo de trabajo. Al haber participado en la elaboración del proyecto antes de que se lleven a cabo las tareas en parada, es la que dispone de toda la documentación y se encargará de supervisar más detalladamente de que todo esté en orden.

Tabla 18: organigrama de los trabajos a realizar durante la parada

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
A						
	B					
		C				
			D			
			E			
				F		
						G

Tabla 19: descripción de los trabajos a realizar en parada

	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	DURACIÓN
<b>A</b>	Retirada de los equipos obsoletos	Contratista eléctrico	6 turnos
<b>B</b>	Desmantelado del tendido eléctrico antiguo	Contratista eléctrico	5 turnos
<b>C</b>	Preparación herramientas, material y nuevos equipos	Departamento de mantenimiento eléctrico	3 turnos
<b>D</b>	Transporte equipos nuevos a los lugares de instalación	Departamento de mantenimiento eléctrico	3 turnos
<b>E</b>	Instalación del nuevo tendido de cable	Contratista eléctrico	4 turnos
<b>F</b>	Instalación de los nuevos equipos	Contratista eléctrico junto con departamento de mantenimiento eléctrico	5 turnos
<b>G</b>	Verificación y comprobación de que el trabajo está correctamente terminado	Departamento de mantenimiento eléctrico junto con el de ingeniería eléctrica	1 turno

### 1.10. Normas y referencias

Para la construcción, verificación y condiciones de instalación de los cuadros de baja tensión, se sigue la norma IEC 61439. Se pueden consultar todos los aspectos que engloba dicha norma de manera más detallada en el apartado 0 4.2.1 Norma IEC 61439.

Además, también se incluye en el apartado 4.2.2 Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT), las disposiciones técnicas establecidas por dicho reglamento para el dimensionado e instalación de los cables de alimentación de los nuevos sistemas.

## 2. ANEXOS

### A) LISTADO DE CARGAS DE CADA UNO DE LOS SAI

#### SAI301A. 30kVA, salida monofásica 117V

Tabla 20: detalle de las salidas del SAI301A

Nº Salida	Descripción
1	DCS-1A
2	DCS-2A
3	ESD-1A
4	ESD-2A
5	PLC de gestión de alarmas de la subestación
6	PLC PSA-A: autómatas de la planta de purificación de hidrógeno
7	Panel local de control del compresor C-2901A-A
8	Panel local de control del compresor C-2901B-A
9	Panel local de control del compresor C-2902-A
10	29EBV-01: panel local de válvulas motorizadas tipo EBV
11	Panel local del horno F-2901 (quemadores,...)
12	Alimentación de caseta de analizadores
13	Analizador de oxígeno en la unidad de reforme (donde se genera el hidrógeno)
14	Panel local del compresor N2-A de nitrógeno
15	Analizador 27A091/92
16	Analizador 32A001D
17	<i>Reserva</i>
18	Detectores de ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)
19	<i>Reserva</i>
20	HPM 07/08
21	Analizador 32A007
22	Panel local del compresor C-2901-C
23	29EBV-03: panel local de válvulas motorizadas tipo EBV

**SAI301B. 30kVA, salida monofásica 117V.**

Tabla 21: detalle de las salidas del SAI301B

Nº Salida	Descripción
1	DCS-1B
2	DCS-2B
3	ESD-1B
4	ESD-2B
5	PLC de gestión de alarmas de la subestación
6	PLC PSA-B: autómatas de la planta de purificación de hidrógeno
7	Panel local de control del compresor C-2901A-B
8	Panel local de control del compresor C-2901B-B
9	Panel local de control del compresor C-2902-B
10	29EBV-02: panel local de válvulas motorizadas tipo EBV
11	Analizador de oxígeno en el interior del horno F-2901
12	Analizadores de monóxido de carbono, dióxido de carbono y metano en la planta de hidrógeno
13	Panel local del compresor N2-B de nitrógeno
14	Armario de interconexión entre CCM y sistema de control
15	Analizador 32A001B
16	Panel de control de dos válvulas motorizadas (29E021BV y 29E020BV)
17	Tensión de control del variador del motor del ventilador FAN-3201
18	Tensión de control del variador del motor del ventilador FAN-3202
19	<i>Reserva</i>
20	HPM 07/08
21	Analizador 29A003
22	Panel local del compresor C-2901-C
23	<i>Reserva</i>

**SAI401A. 60kVA, salida monofásica 117V.**

Tabla 22: detalle de las salidas del SAI401A

Nº Salida	Descripción
1	Panel local del compresor C-4201A
2	Panel local del compresor C-4201B
3	Analizador 42A001T
4	Analizador tipo TRASAR
5	Panel local del compresor PL-C1203
6	Fuente de alimentación del generador de emergencia GEN-1104
7	Control de la caja de control de motores de emergencia (CCME) CAB-B2
8	Cuadro de distribución de una salida de 24Vcc
9	Control de la caja de control de motores de emergencia (CCME) CAB-B1
10	Panel local del secador de aire para un compresor
11	PLC de reaceleración escalada de los equipos de la subestación
12	Analizador P35A003T
13	Analizador CA-401-CHU
14	Edificio molienda
15	Alimentación del cuadro de control del variador del motor MCT-2101A F.A.1
16	Alimentación del cuadro de control del variador del motor MCT-2101B F.A.2
17	Comunicaciones de fibra óptica entre subestación y sala de control
18	CT-2101-3D: Alimentación del analizador TRASAR
19	Alimentación del sistema Benly Nevada (control vibraciones de los motores BNP-2191A/B/C/D-1)
20	Caudalímetro magnético 21F 915T
21	Caudalímetro magnético 21F 954T
22	Caudalímetro ultrasónico 21F 952T
23	Caudalímetro magnético 21F 964T
24	Alimentación armario comunicaciones A
25	Analizador 21A 950T
26	Alimentación del variador de frecuencia del motor ME-4101
27	Panalarm SUB401 (panel que recoge las alarmas de la subestación)
28	Conmutación entre bypass y arranque directo del motor CT-3500
29	<i>Reserva</i>
30	<i>Reserva</i>
31	Alimentación A del panel de instrumentos a tensión 24Vcc
32	<i>Reserva</i>
33	<i>Reserva</i>
34	<i>Reserva</i>

**SAI401B. 60kVA, salida monofásica 117V.**

Tabla 23: detalle de las salidas del SAI401B

Nº Salida	Descripción
1	Panel local del compresor C-4201A
2	Panel local del compresor C-4201B
3	<i>Reserva</i>
4	Emisora local que hay en la SUB401
5	Panel para el control de válvulas motorizadas tipo KNP
6	Panel local del compresor C-1203
7	Fuente de alimentación del generador de emergencia GEN-1104
8	Control de la caja de control de motores de emergencia (CCME) CAB-B2
9	Control de la caja de control de motores de emergencia (CCME) CAB-B1
10	Cuadro de distribución de una salida de 24Vcc
11	Genelek: panel de control del generador de emergencia GEN-1104
12	Panel de control de la central incendios de la subestación
13	Control del arrancador de la bomba de agua MP-4114*
14	Comunicaciones de fibra óptica entre subestación y sala de control
15	Comunicaciones de fibra óptica entre subestación y sala de control
16	Alimentación del cuadro de control del variador del motor MCT-2101A F.A.1
17	Alimentación del cuadro de control del variador del motor MCT-2101B F.A.2
18	<i>Reserva</i>
19	Alimentación del sistema Benly Nevada (control vibraciones de los motores BNP-2191A/B/C/D-2)
20	Caudalímetro magnético 21F 955T
21	Caudalímetro magnético 21F 956T
22	Caudalímetro magnético 21F 962T
23	Caudalímetro magnético 21F 957T
24	Analizador de fosfato
25	Alimentación armario comunicaciones B
26	Alimentación del variador de frecuencia del motor ME-4101
27	<i>Reserva</i>
28	<i>Reserva</i>
29	<i>Reserva</i>
30	<i>Reserva</i>
31	Alimentación B del panel de instrumentos a tensión 24Vcc
32	<i>Reserva</i>
33	<i>Reserva</i>
34	<i>Reserva</i>

\*Esta bomba es una de las más importantes de toda la refinería ya que es la que se encarga de presurizar el agua necesaria para el corte del coque. La presión requerida es muy alta (del orden de unos 300 kg), por lo que se supone el gran tamaño de dicho motor. Debido a que es una parte esencial del proceso y que no se debe parar bajo ningún concepto, se supone la importancia del control correcto de ese motor en caso de emergencia.

**SAI501A. 20kVA, salida trifásica 500V.**

Tabla 24: detalle de las salidas del SAI501A

Nº Salida	Descripción
1	Alimentación directa del motor del ventilador FAN-1683A (1kW)
2	Alimentación directa del motor del ventilador FAN-1683B (1kW)

**SAI501B. 30kVA, doble salida monofásica 117V y 230V.**

Tabla 25: detalle de las salidas del SAI501B

Tipo de salida	Nº Salida	Descripción
Salida 117V (F+N)	1	Panel de control del compresor MC-1671-A
	2	BMS
	3	PLC de control de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)
	4	Panel de control del ERM
	5	Analizador suministro fuel gas
	6	<i>Reserva</i>
	7	Sistema contra incendios PTA
	8	Panel de control de la planta contra incendios (PCI)
	9	Control de velocidad de la bomba P-1671-B
	10	Armario comunicaciones entre subestación y sala de control
	11	Panel de sincronización a red de la turbina TG-1671
	12	Armario DCS
	13	Armario ESD
	14	<i>Reserva</i>
	15	PLC de reaceleración escalada de los equipos de la subestación
	16	Cuadro de distribución de una salida de 24Vcc
	17	Control de vibraciones del motor del ventilador FAN-1682
	18	Armario de contadores Iberdrola
Salida 230V (F+N)	19	Megafonía de la subestación y emisora local
	20	Control del sistema contra incendios de la turbina TG-1671
	21	Todo-Todo
	22	Servicios auxiliares del sistema HPM

## B) CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONADO DEL NUEVO CABLEADO

### B.1. Hipótesis inicial

Un cálculo necesario e indispensable para el proyecto es el dimensionado de los nuevos cables para la alimentación de cada uno de los equipos ya que su potencia va a ser mayor.

Será indispensable saber qué cables son los que actualmente alimentan cada uno de los SAI, ya que cada uno es de una potencia (ver Tabla 1) y para cada potencia habrá una sección diferente. Es importante saber qué secciones hay ya que si por cualquier coincidencia el dimensionado del nuevo cableado coincide con el existente, no será necesario reemplazarlos si se comprueba su buen estado. Todo parece indicar que habrá que sustituirlos todos ya que la potencia de los nuevos SAI es mucho mayor que los ya instalados.

Tabla 26: secciones de los cables de alimentación de los SAI actuales

Subestación	Nombre	Potencia (kVA)	Sección actual (mm <sup>2</sup> )
SUB 301	301A	30	16
	301B	30	16
SUB 401	401A	60	35
	401B	60	35
SUB 501	501A	20	16
	501B	30	16

Seguidamente es necesario conocer la longitud que hay entre el CCM de cada uno de los equipos y la ubicación de los SAI. Los cables en las subestaciones están ubicados justo debajo de ellas, en una planta por debajo de la propia subestación en la que se encuentran las bandejas y los soportes que los sujetan. Este sistema de instalación, facilita el acceso a la zona de los cables y al no estar enterrados, hace que haya una ventilación natural para que la temperatura de los conductores sea menor.

Desde los transformadores ubicados en el exterior de cada subestación sale una acometida hacia el embarrado A y B. Desde cada embarrado se alimentan las CCM (A y B, obviamente) y desde las CCM se alimentan cada uno de los equipos. Para distribuir los cables, hay que ir desde cada CCM, bajar al sótano donde se ubican las bandejas de tendido de cables y subir hasta cada SAI.

El primer paso es conocer la longitud de cada uno de los cables, desde la CCM correspondiente hasta el SAI. Se tomaron medidas de dichas longitudes en las propias subestaciones y basándose en la propia experiencia del departamento, para realizar la compra definitiva del cable se consideró una longitud mayor para cada cable. De esta forma, se adquiere más cable del necesario para que si durante la instalación surgiera algún problema, tener cable en sobra para poder continuar con el proyecto sin necesidad de hacer otro pedido y que se viese ralentizado esta tarea. A la hora de realizar los cálculos se considera la longitud real.

En la Tabla 27 se recogen las longitudes mencionadas en el apartado anterior.



Tabla 27: longitudes de cable de alimentación de cada SAI

Subestación	Nomenclatura	Longitud real (m)	Longitud ponderada (m)
SUB 301	301A	40	55
	301B	50	65
SUB 401	401A	25	40
	401B	20	40
SUB 501	501A	45	60
	501B	45	60

Seguidamente, se deben conocer las condiciones de instalación. En este caso, todas las subestaciones siguen un mismo patrón, coincidiendo tanto en método de sujeción de cables como en tipo de cable. Es esencial saber en qué condiciones va a estar el cable en la instalación para saber qué factores de corrección aplicar a la hora de realizar los cálculos correspondientes.

En todos y cada uno de los casos se va a utilizar cable multipolar con 4 conductores (uno de tierra y 3 fases) todos ellos de cobre.

Del *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión*, y más concretamente en la *ITC-BT-07 Redes subterráneas para distribución en baja tensión* que es el caso que aplica para este proyecto, se obtienen todas las condiciones para la instalación de los conductores.

Se puede consultar el reglamento electrotécnico para baja tensión en el apartado 4.2.2 Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT).

## B.2. Procedimientos de cálculo

### 1. CRITERIO TÉRMICO

El primer método de cálculo es el criterio térmico, basándose en la disipación de calor que se generan en el cable por efecto Joule.


En primer lugar es necesario conocer la intensidad de uso ( $I_b$ ) del conductor a partir de la potencia aparente ( $S$ ) en VA y la tensión de alimentación ( $U$ ) en voltios. Sabiendo los datos del nuevo SAI a instalar, se puede calcular mediante la Ecuación 2:

Ecuación 2: cálculo de la intensidad de uso

$$I_B = \frac{S}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{80 \cdot 1000}{500 \cdot \sqrt{3}} = 92,37 \text{ A}$$

Seguidamente, se debe conocer cuál va a ser el método de instalación en cada una de las subestaciones. Para aprovechar las instalaciones ya existentes en dichas subestaciones, se van a instalar cable de cobre multipolar sobre bandeja perforada en todos los casos. Se busca en las tablas Prysmian ese método de instalación y se ve que es el tipo E.

Tabla 28: tipo de instalación

Ref.	Modos de instalación	Descripción	Tipo
31		Cables unipolares (F) o multipolares (E) sobre bandejas de cables perforadas.	E o F

Una vez ya se tiene el valor de la intensidad de uso y el tipo de instalación, se deben aplicar los factores de corrección, según las condiciones para saber la intensidad real que va a circular por los conductores. En este caso, se va a aplicar un factor de agrupamiento para el número de circuitos dispuestos conjuntamente. Se va a coger el caso más desfavorable ya que no se sabe con exactitud cuántos más puede haber instalados en cada subestación. Con las condiciones descritas en el párrafo anterior y siguiendo la Tabla 29, se consigue el factor de corrección.

Tabla 29: factor de corrección por agrupamiento para cada caso

Punto	Disposición	Número de circuitos o cables multiconductores								Instalación tipo	
		1	2	3	4	6	9	12	16		20
1	Empotrados, embutidos (dentro de un mismo tubo, canal o grapados sobre una superficie al aire)	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	A a F
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	C
3	Capa única en el techo	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60	
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	E y F
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	

$$\text{Factor de corrección} \rightarrow f = 0,7$$

Ahora ya se puede calcular la intensidad real ( $I'_B$ ) que va a circular por el cable a partir de la calculada en la Ecuación 2. Tan solo hay que dividir  $I_B$  entre el factor de corrección tal y como se hace en la Ecuación 3:

Ecuación 3: cálculo de la intensidad real

$$I'_B = \frac{I_B}{f} = \frac{92,37}{0,7} = 131,96 \text{ A}$$

Sabiendo que el tipo de instalación es el E, también que el aislante es de XLPE (ver apartado B.1. Hipótesis inicial), se puede obtener el valor de intensidad admisible ( $I_z$ ) mediante la tabla de valores de corriente normalizados.

Entrando en la Tabla 30 con el método E (cable de cobre multipolar sobre bandeja perforada) con cable trifásico con aislante XLPE, se obtiene que la primera intensidad admisible superior a la real (calculada con la Ecuación 3), es de 137 A resultando una sección de 35mm<sup>2</sup>.

Tabla 30: intensidades normalizadas para cada sección de conductor, método de instalación y tipo de cable

Número de conductores con carga y naturaleza del aislamiento													
A1			PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C	XLPE2 90 °C						
A2		PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C	XLPE2 90 °C							
B1					PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C			
B2				PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C	XLPE2 90 °C					
C						PVC3 70 °C		PVC2 70 °C	XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C		
D*		VER SIGUIENTE TABLA											
E							PVC3 70 °C		PVC2 70 °C	XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C	
F								PVC3 70 °C		PVC2 70 °C	XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C
Cobre	mm <sup>2</sup>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	25
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	34
	4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	46
	6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	59
	10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	82
	16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	110
	25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
	35	72	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
	50	86	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
	70	109	118	130	149	160	171	185	199	214	224	244	269
	95	130	143	156	180	194	207	224	241	259	271	296	327
	120	150	164	188	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	171	188	205	236	260	278	299	322	343	363	404	438	
185	194	213	233	268	297	317	341	368	391	415	464	500	
240	227	249	272	315	350	374	401	435	468	490	552	590	
300	259	285	311	349	396	423	461	516	547	640	674	713	

Este valor es ligeramente superior a la intensidad real por lo que es probable que se acabe utilizando una sección mayor de cable solamente por precaución. Una vez más, basándose en la propia experiencia se va a escoger una sección de cable de 70 mm<sup>2</sup>.

Aún falta comprobar este resultado mediante otro método de dimensionado: el criterio de caída de tensión.

## 2. CRITERIO DE CAÍDA DE TENSIÓN

Este método tiene como misión asegurar que la caída de tensión que aparece en un cable sea menor que el valor máximo establecido por el REBT. El reglamento establece varios porcentajes de caída de tensión máximos según el tipo de carga que se alimente (líneas de fuerza, tomas de corriente, líneas de iluminación...). Todos los casos que incumben este proyecto se van a tratar como líneas de fuerza.

El reglamento establece que como máximo puede haber una pérdida de un 5% de la tensión desde el inicio de la línea hasta el punto más desfavorable (el más alejado) de ella. Es por ello que cada caso particular va a afectar la longitud de cada tendido de cable en cada caso.

Primeramente se debe conocer la caída de tensión máxima en voltios a partir del porcentaje establecido.

Ecuación 4: cálculo de la caída de tensión máxima en una línea

$$\Delta U_{max}(V) = \frac{5}{100} \cdot U = \frac{5}{100} \cdot 500 = 25 V$$

Después se calcula la caída de tensión real en cada caso aplicando la Ecuación 5 en la que ahora intervienen la longitud de la línea (en metros), la potencia del equipo que se alimenta (en vatios) y la resistividad del cobre. El valor de resistividad del cobre es de  $0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .

Ecuación 5: cálculo de la caída de tensión real

$$\Delta U_{real}(V) = \frac{\rho \cdot l \cdot P}{S \cdot U}$$

Como la longitud es una diferente para cada uno de los casos se recogen los resultados de caída de tensión para cada caso en la Tabla 31, donde también aparecen las características eléctricas de los equipos (que son todos iguales para cada caso). El fabricante facilita el valor del factor de potencia para así poder calcular la potencia activa en

Tabla 31: resultados de la caída de tensión en cada caso

Nomenclatura	Potencia (kVA)	cos $\varphi$	Potencia, P (kW)	Longitud real (m)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Tensión de entrada (V)	$\Delta U$ real (V)
301A	80	0,8	64	40	70	500	1,261
301B	80	0,8	64	50	70	500	1,576
401A	80	0,8	64	25	70	500	0,788
401B	80	0,8	64	20	70	500	0,631
501A	80	0,8	64	45	70	500	1,419
501B	80	0,8	64	45	70	500	1,419

Tras realizar el cálculo de caída de tensión para cada caso se comprueba fácilmente que no supera el valor máximo admisible (ver Ecuación 4). Debido a que la longitud de cable tendido puede variar al tomado en las subestaciones a la hora de realizar la instalación, se procede a calcular la longitud máxima que puede tener dicha línea para que alcance los 25 V:

Ecuación 6: cálculo longitud máxima para la caída de tensión máxima

$$\Delta U_{m\acute{a}x}(V) = \frac{\rho \cdot l_{m\acute{a}x} \cdot P}{S \cdot U} = 25 \rightarrow l_{m\acute{a}x} = \frac{25 \cdot S \cdot U}{\rho \cdot P} = \frac{25 \cdot 70 \cdot 500}{\frac{1}{48} \cdot 64000} = 656 \text{ m}$$

### B.3. Resultados

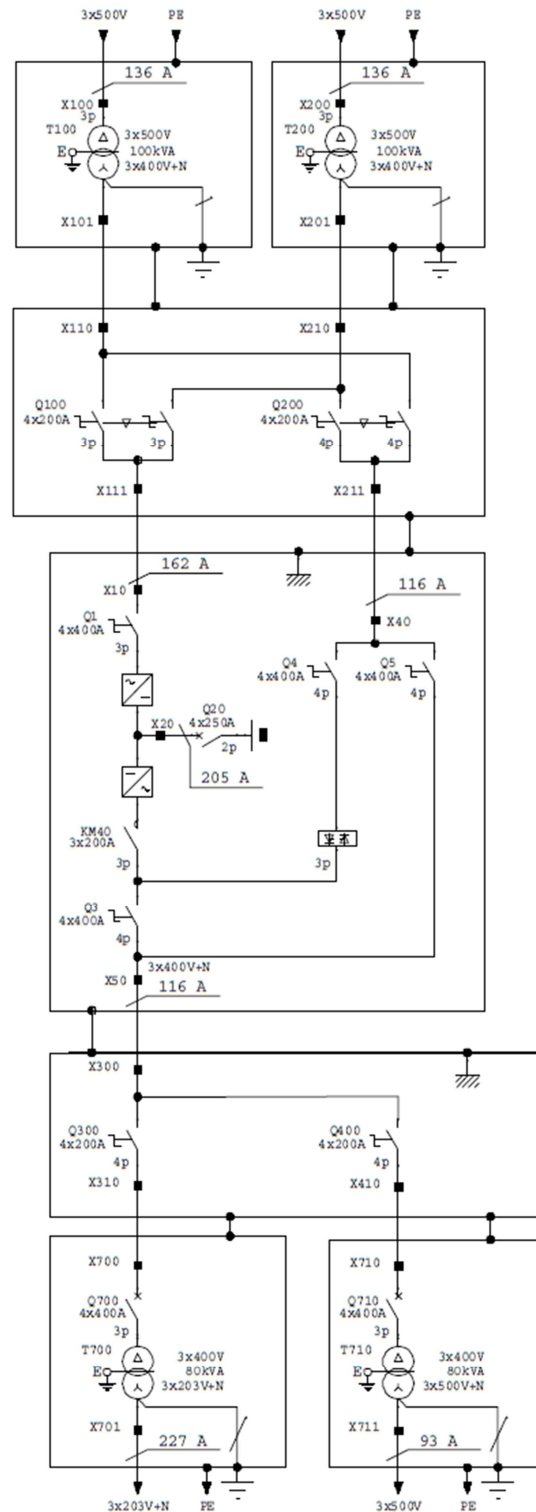
Con los cálculos realizados mediante los dos métodos en el Anexo B.3. Resultados, se resumen en la Tabla 32 las secciones obtenidas para cada caso y los metros de cable necesarios para cada caso.

Tabla 32: resultados obtenidos para cada caso

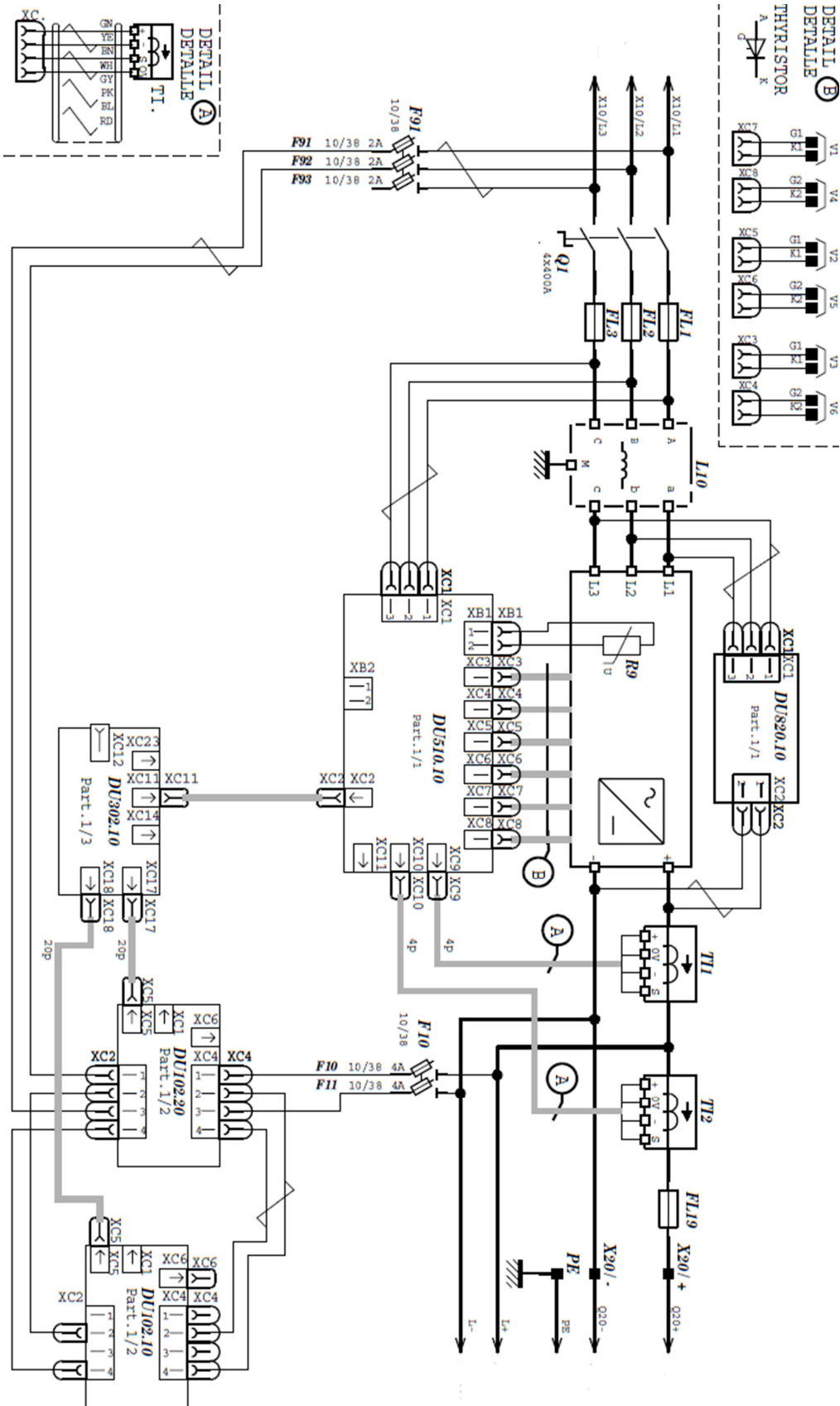
Nomenclatura	Sección (mm <sup>2</sup> )	Longitud (m)
301A	70	40
301B	70	50
401A	70	25
401B	70	20
501A	70	45
501B	70	45

## C) ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS NUEVOS SAI

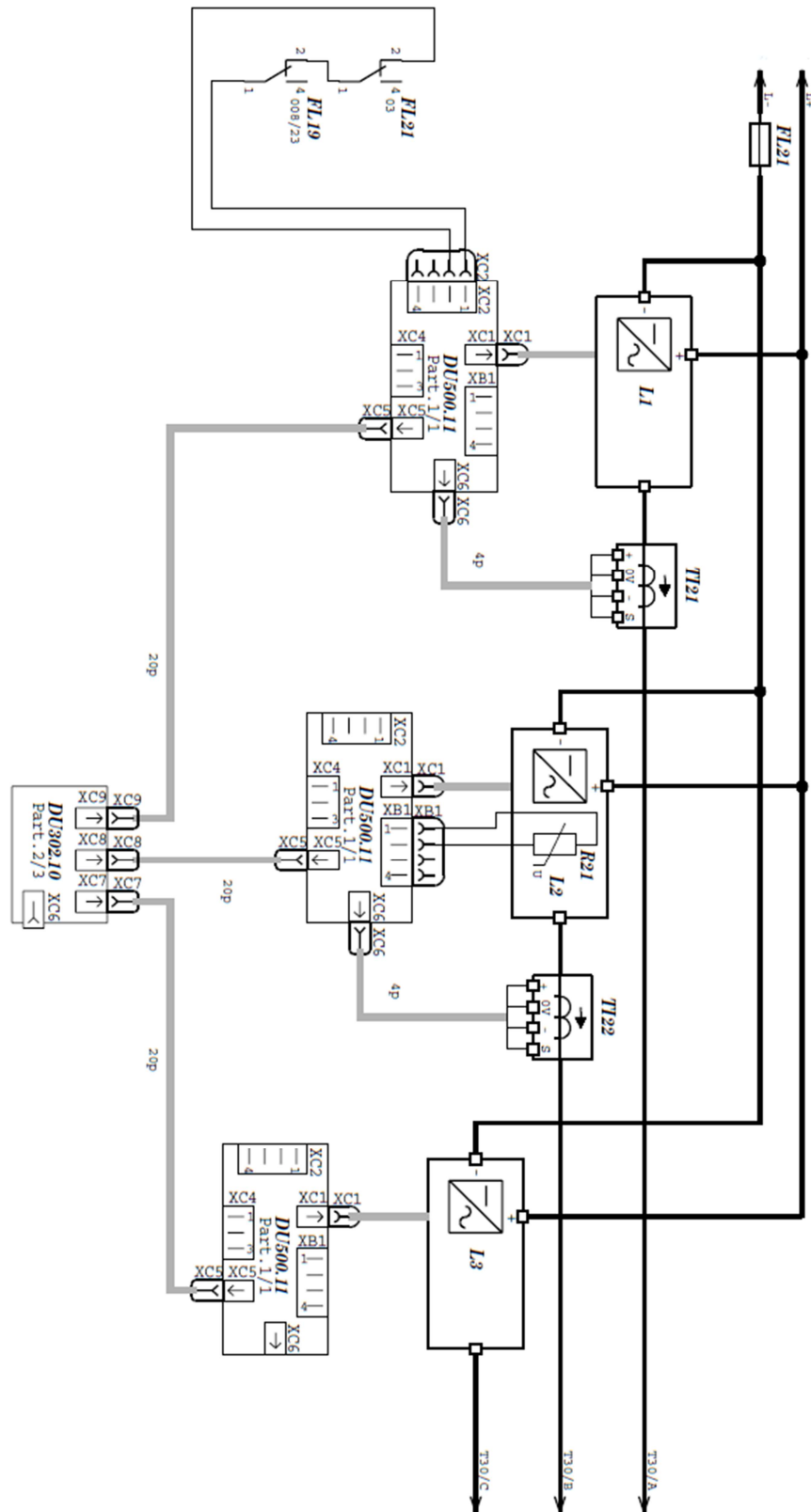
### C.1. Esquema general



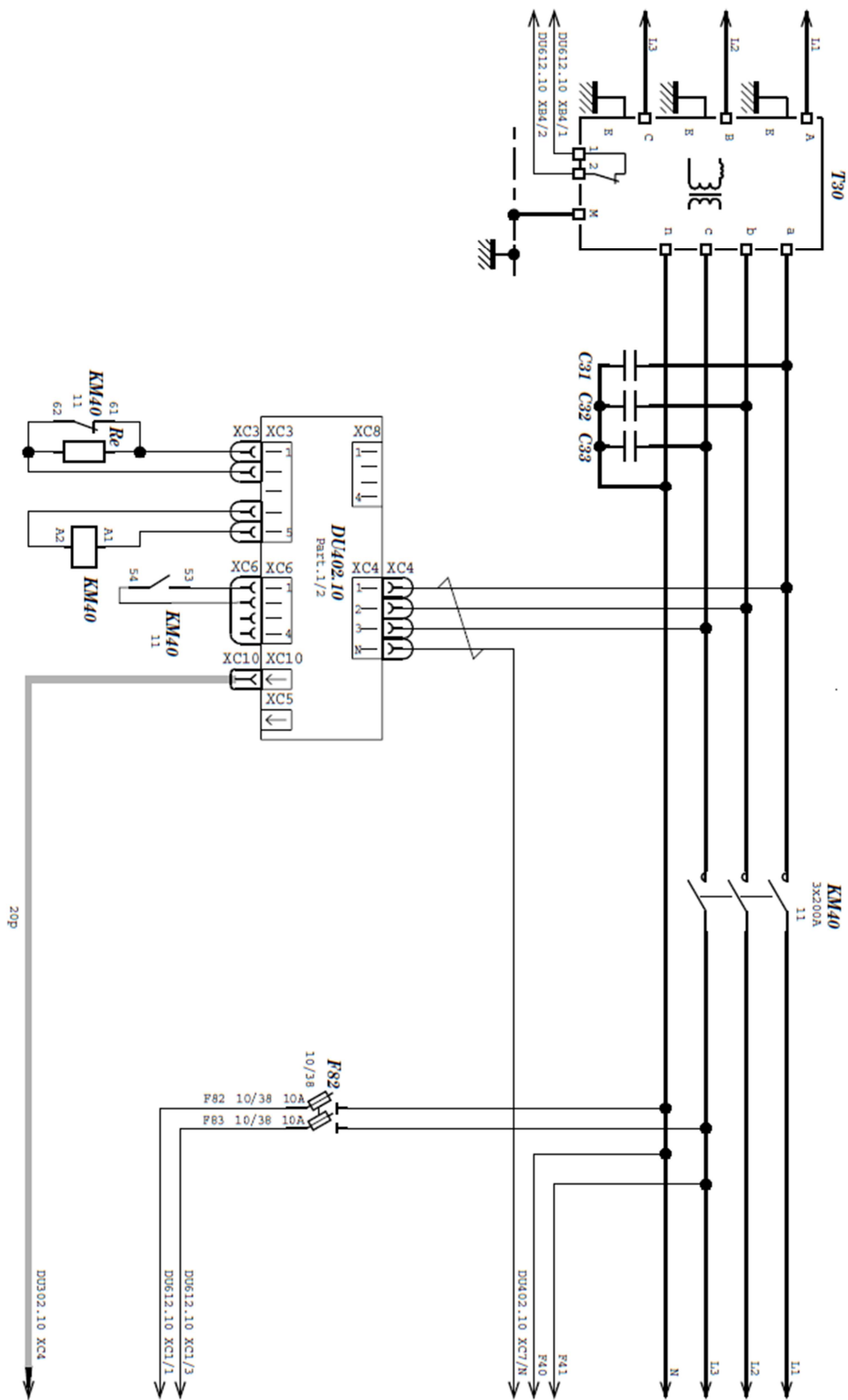
## C.2. Detalle del rectificador



### C.3. Detalle del inversor

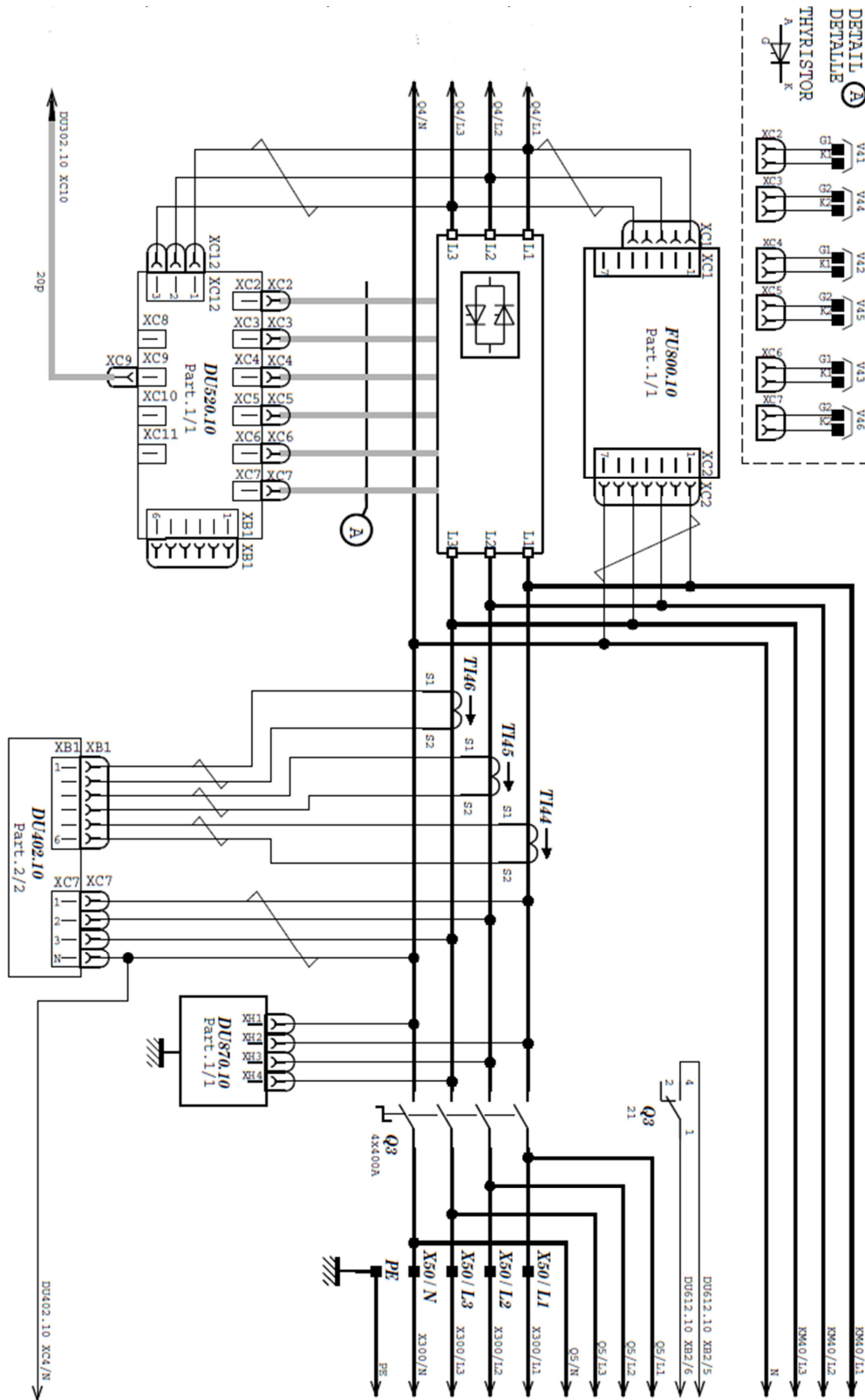


#### C.4. Salida del inversor

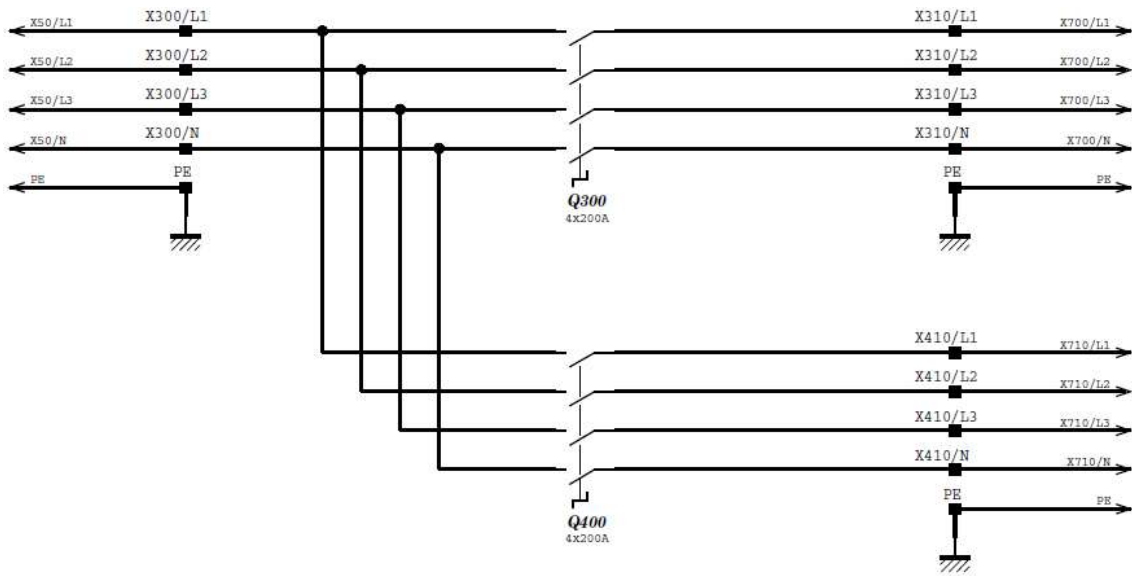




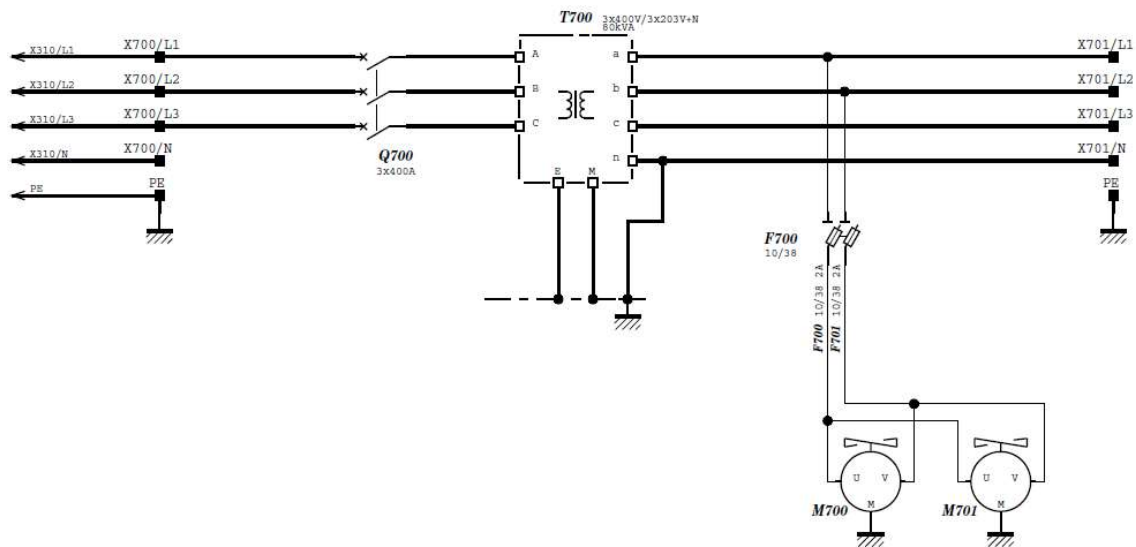
C.5. Detalle de la salida trifásica



### C.6. Acoplamiento de la salida

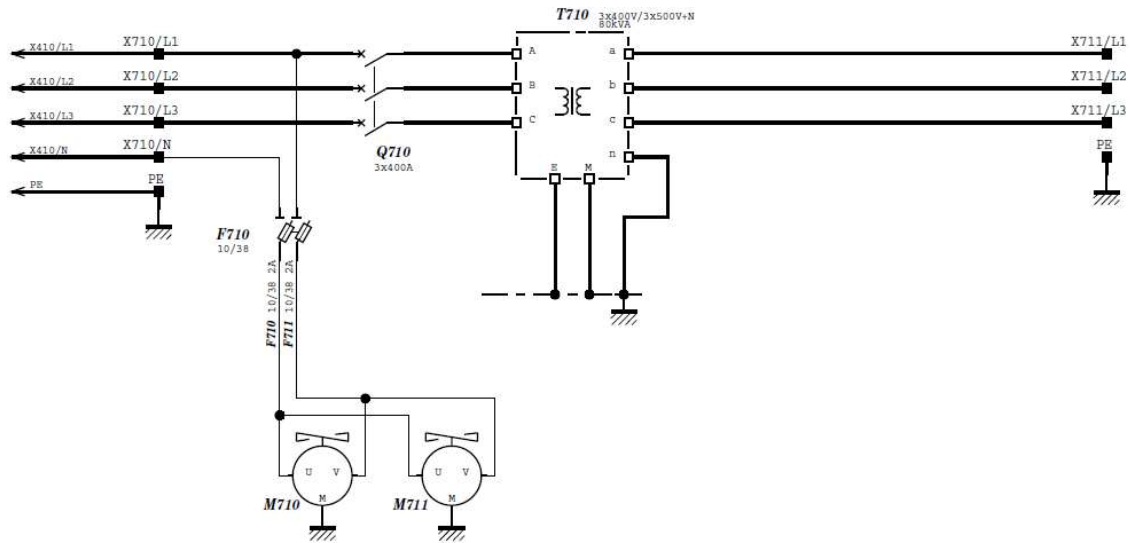


### C.7. Transformador de la salida de 230V



Transformador que devuelve una tensión de salida de 230V con sus dos motores que mueven sendos ventiladores para la ventilación propia del SAI.

### C.8. Transformador de la salida de 500V



Transformador que devuelve una tensión de salida de 230V con sus dos motores que mueven sendos ventiladores para la ventilación propia del SAI.

### C.9. Vista frontal de los armarios

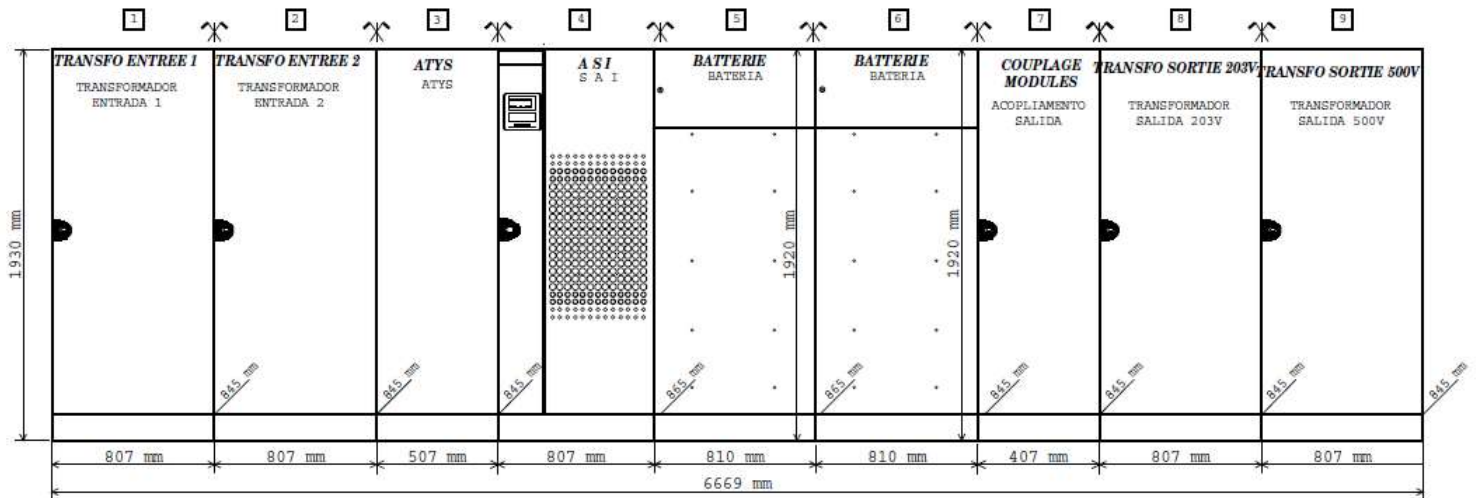
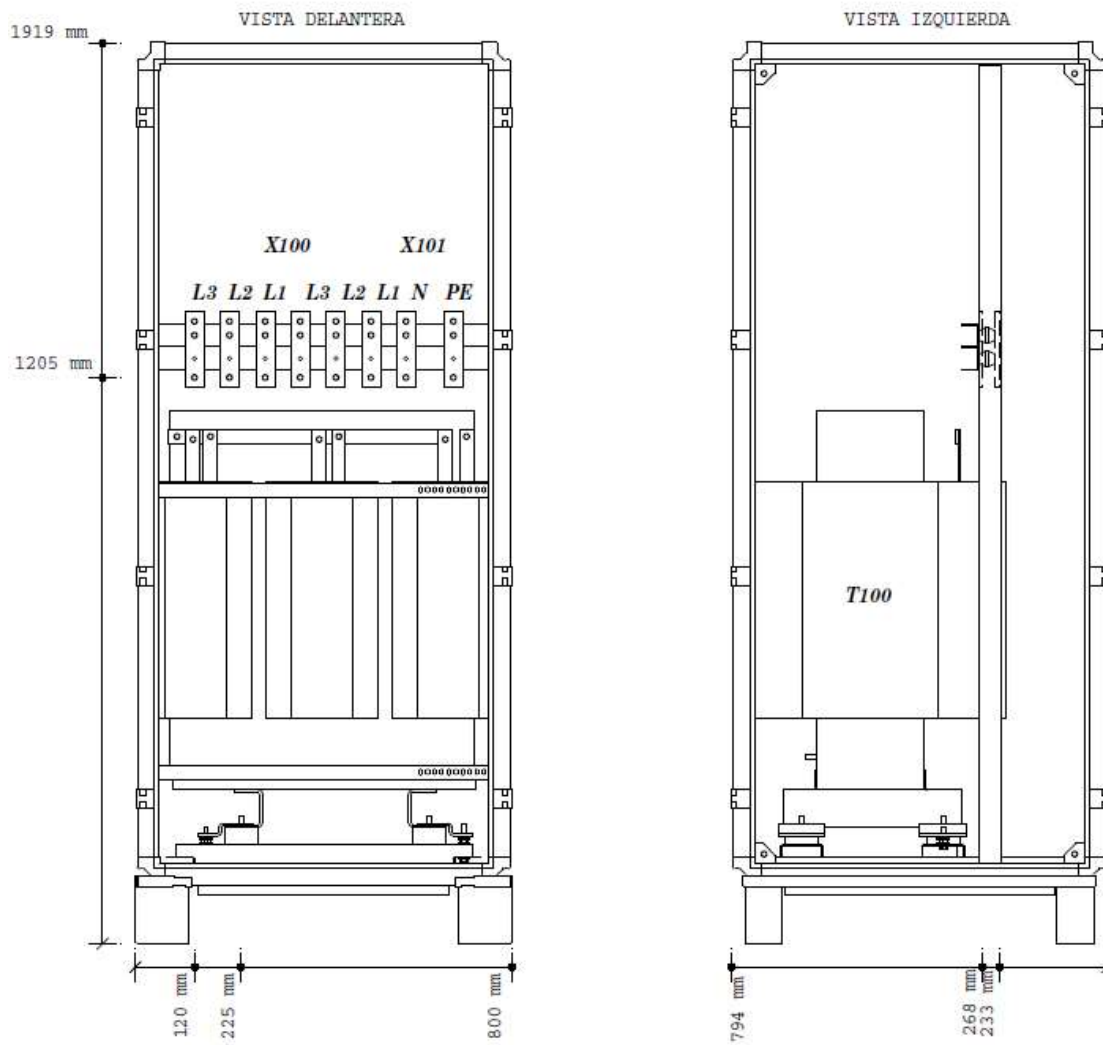


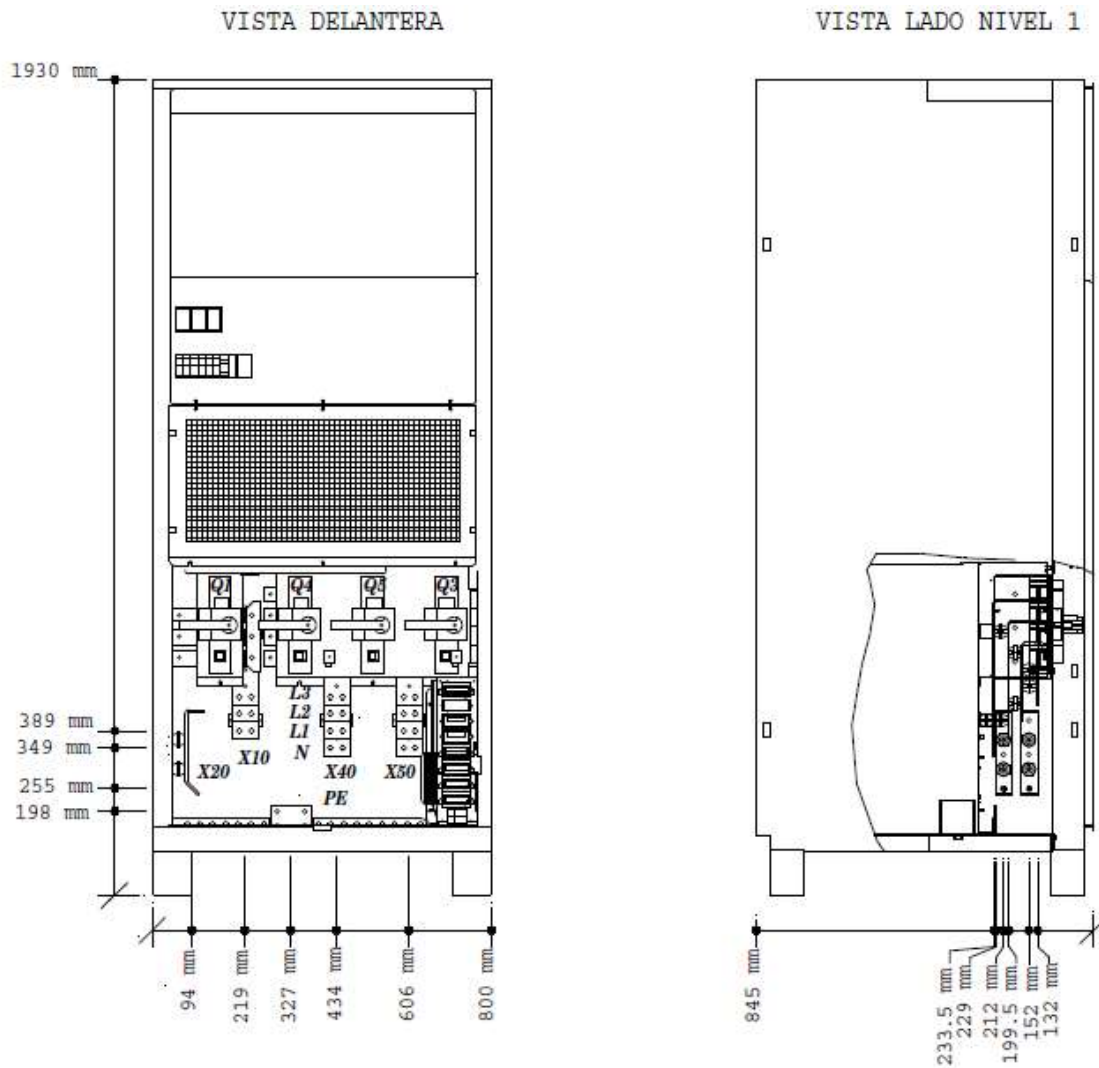
Tabla 33: relación de cada armario con su contenido

Nº armario	Nombre	Contenido
1	Trafo entrada 1	Transformador de entrada
2	Trafo entrada 2	Transformador de entrada
3	ATYS	Parte de la electrónica del SAI
4	SAI	Parte de la electrónica del SAI
5	Baterías	Baterías que alimentarían las cargas
6	Baterías	Baterías que alimentarían las cargas
7	Acoplamiento salida	Interruptores para acoplar la salida
8	Trafo salida 200V	Transformador de salida
9	Trafo salida 500V	Transformador de salida

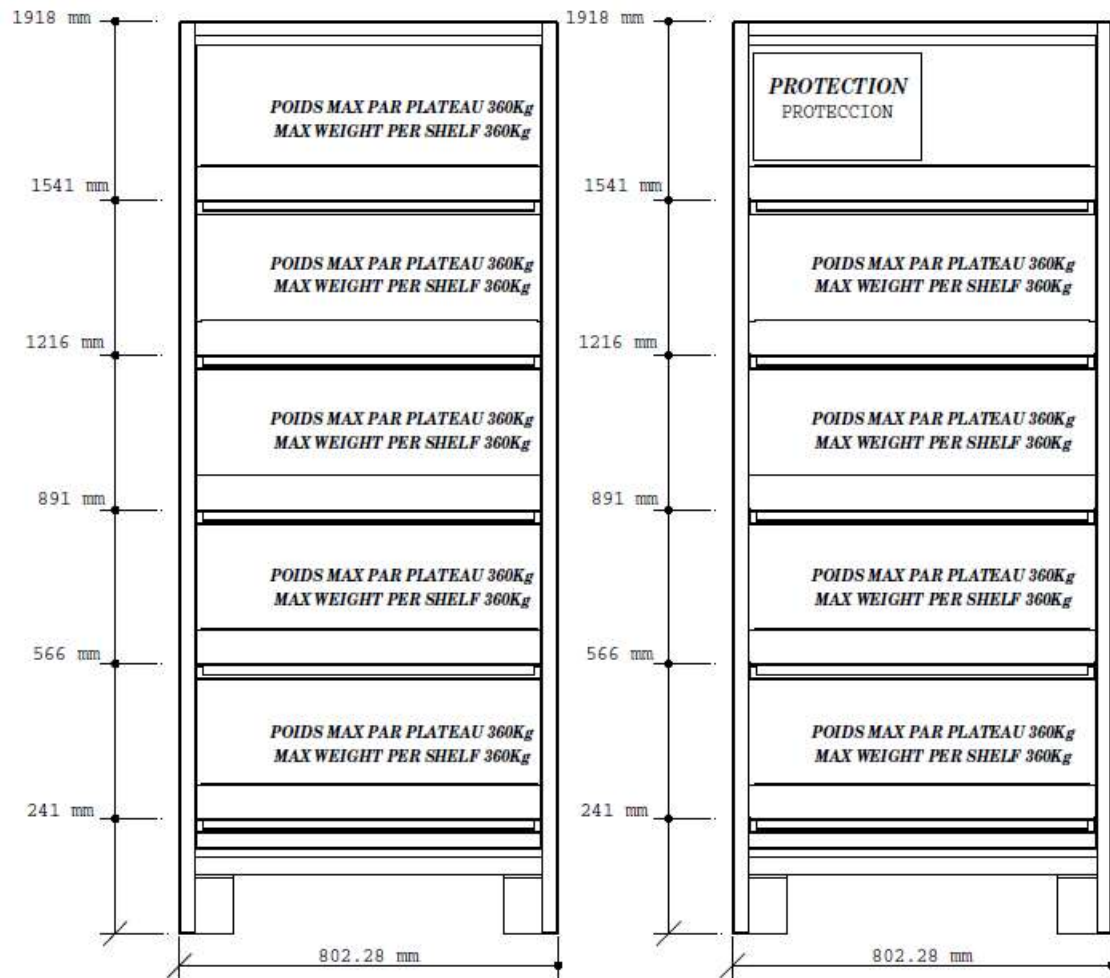
C.10. Vistas de los armarios 1 y 2



C.11. Vistas del armario 4



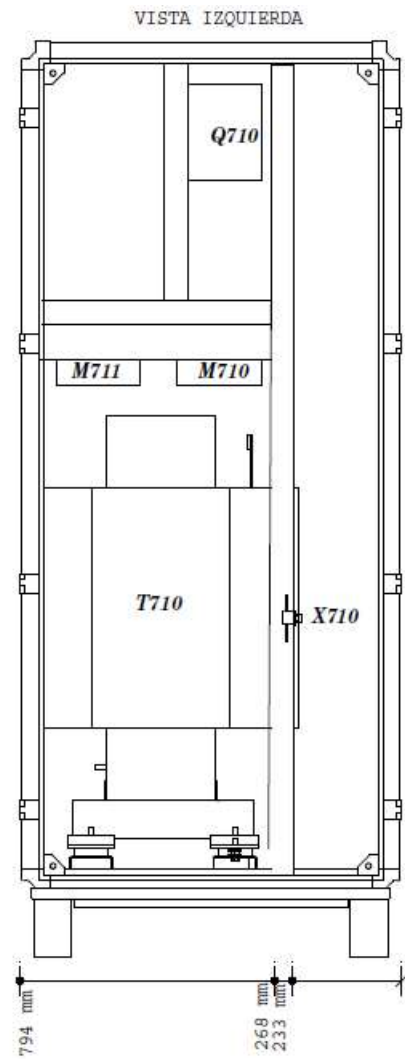
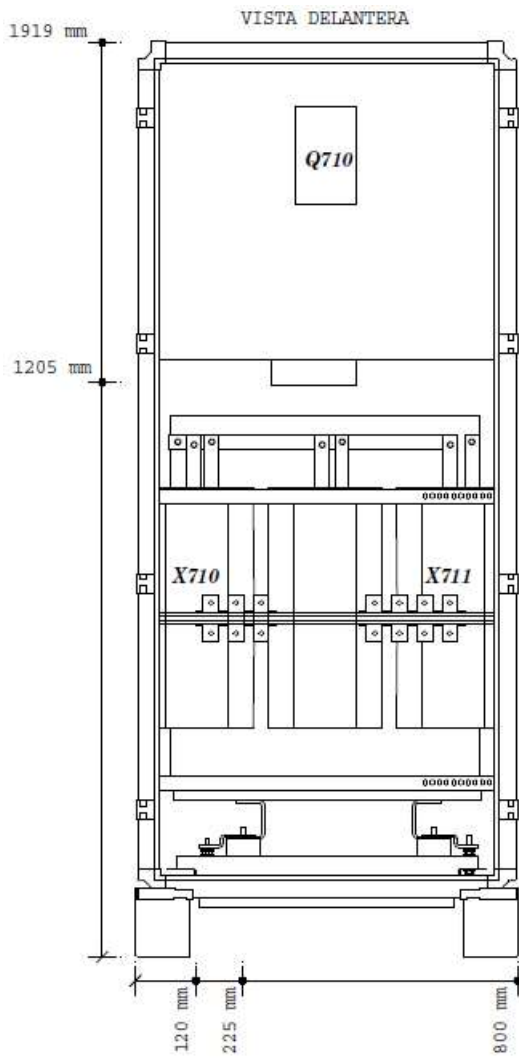
### C.12. Vista de los armarios de las baterías



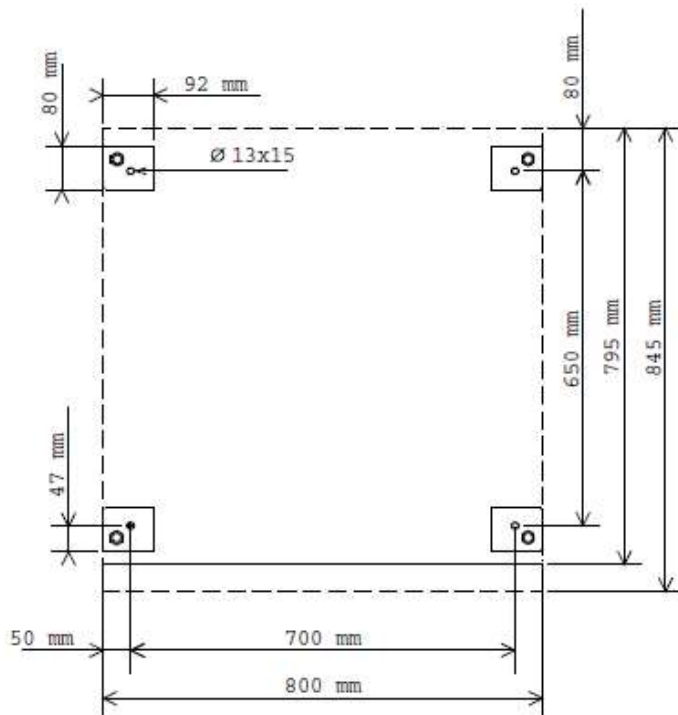
En cada estante del armario que contiene las baterías, se pueden cargar hasta 360 kg. Una vez se reciban las baterías para instalarlas, se deberá comprobar su peso y decidir cuantas se disponen en cada bandeja.



### C.13. Vistas de los armarios 8 y 9

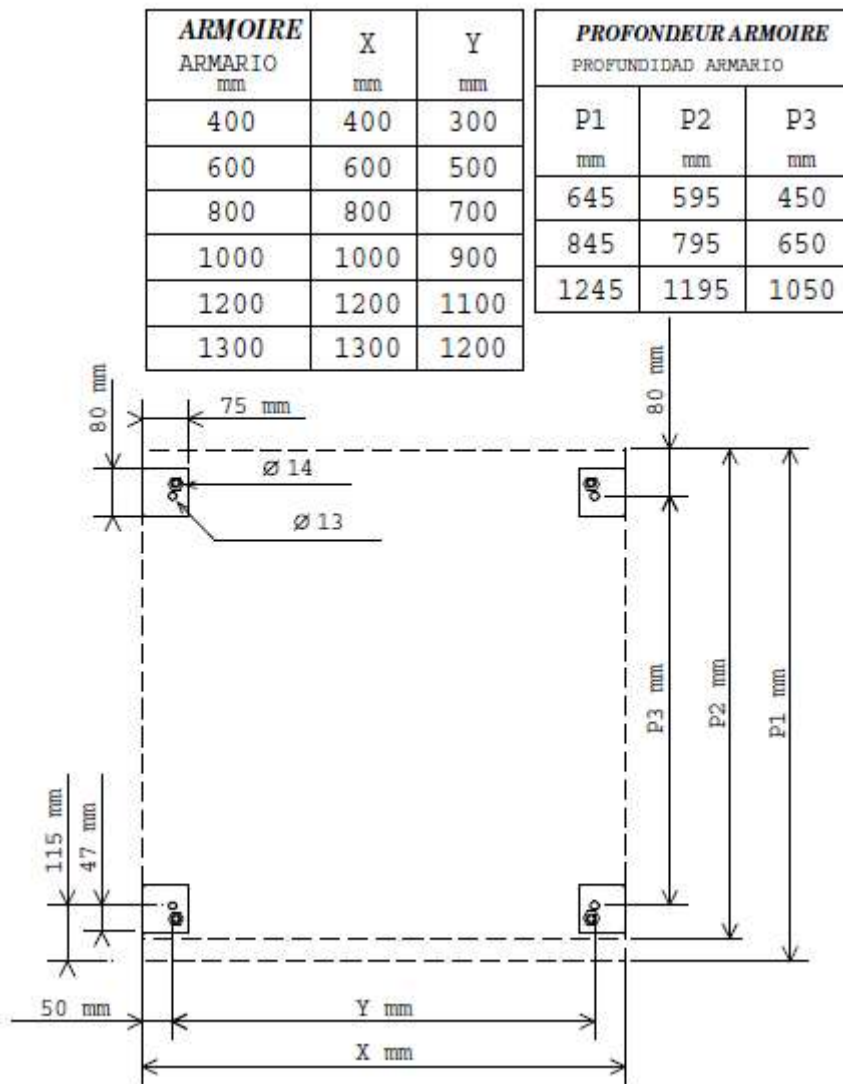


#### C.14. Medidas de la fijación al suelo de los armarios



Estas medidas y plano corresponden a los armarios que contienen la electrónica (4 y 5 en la Tabla 33 del apartado C.9 Vista frontal de los armarios).

### C.15. Medidas de la fijación al suelo de los armarios

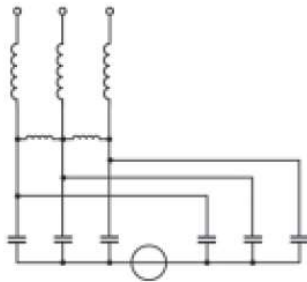


Estas medidas y planos corresponden a los armarios del SAI restantes. Dependerá de la anchura y profundidad de los armarios las medidas concretas para las fijaciones que indica el fabricante.

Para ver anchura y profundidad de cada armario, se puede consultar el punto C.9 Vista frontal de los armarios.

## D) ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS DE CONDENSADORES

Las especificaciones técnicas de las baterías de condensadores se muestran en la siguiente imagen. Al ser baterías de grandes potencias, el fabricante no dispone de especificaciones concretas si no que presenta estas características generales y una vez se realice el pedido, se aportarán más detalladamente todos los parámetros personalizados para cada una de las baterías y sus escalones.



Los equipos CP229 para la compensación fija están formados por condensadores monofásicos en conexión doble estrella sobre bastidores tipo rack con grado de protección IP00. Estas baterías fijas se colocan principalmente en el exterior, ya sea en subestaciones o centros de transformación, sobre perfiles metálicos para su elevación.

Las baterías de pequeña potencia (6 condensadores) pueden fabricarse en chasis IP00 directamente en un bastidor sobre suelo.

**Los componentes que se incluyen son:**

- Condensadores monofásicos con o sin fusibles internos (según potencia y tensión).
- Transformador de corriente de desequilibrio para la protección del equipo.
- Chasis abierto de aluminio no pintado, IP00.

Opcionalmente, se pueden suministrar por separado inductancias de limitación de corriente o de choque para ubicación en exterior (recomendadas por Schneider Electric), inductancias antiarmónicas de exterior y relés de protección de corriente de desequilibrio.

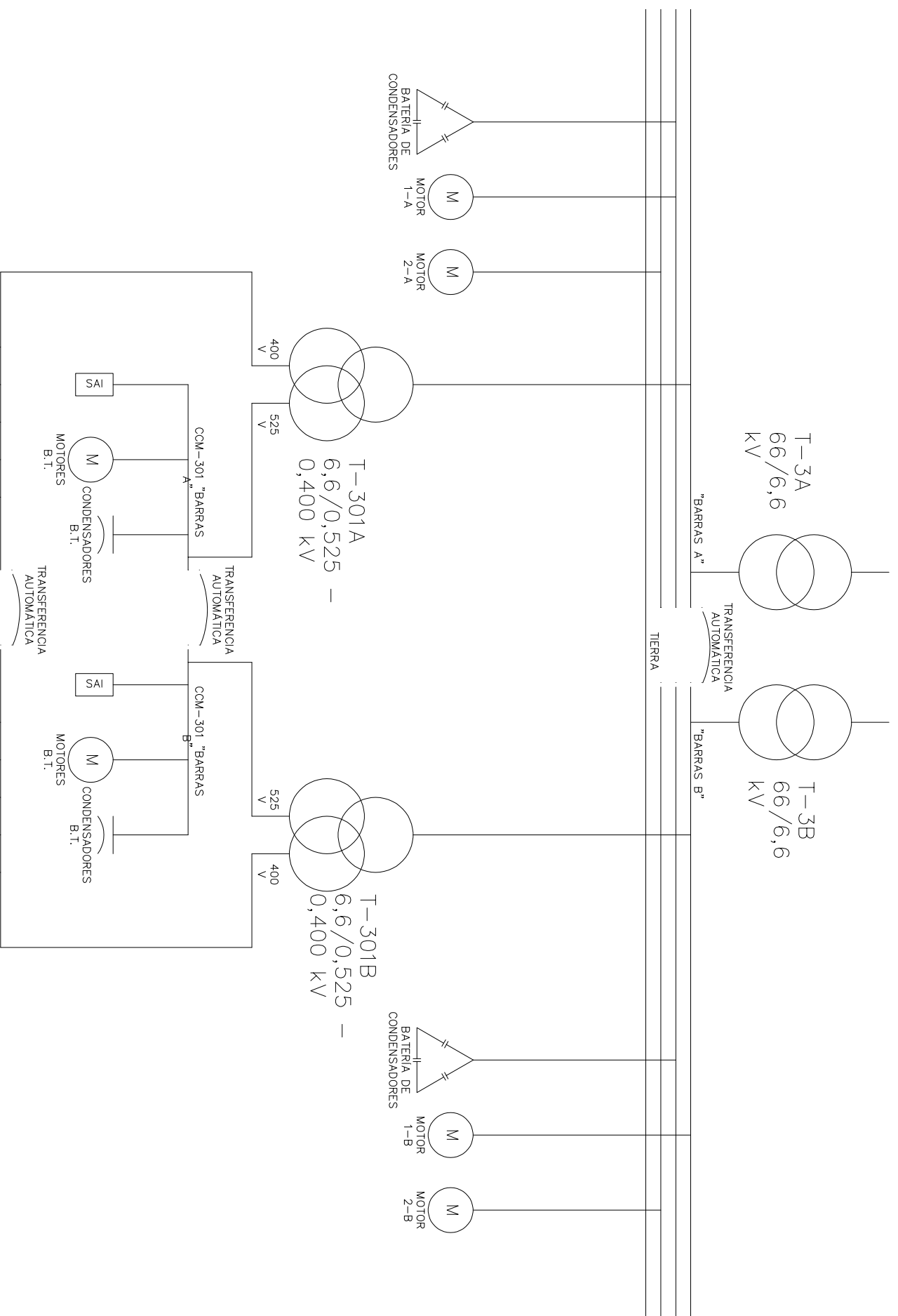
**Características:**


- Potencias: a partir de 300 kVAr hasta 36 MVar.
- Tensión de aislamiento máximo: 36 kV.
- Número de condensadores máximo por chasis: 60 un.
- Equipos con posibilidad de ampliación según petición (cálculo de los perfiles soporte).

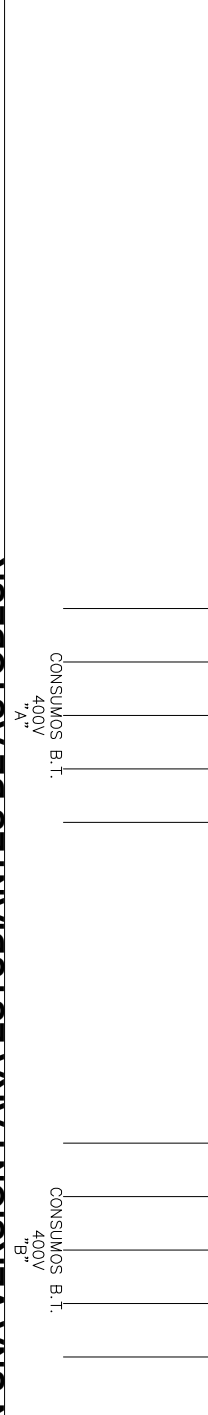
**Normas:**

- Condensadores MT: IEC 60871-1-2-4.
- Reactancias: IEC 289.
- Transformador de intensidad: IEC 185.

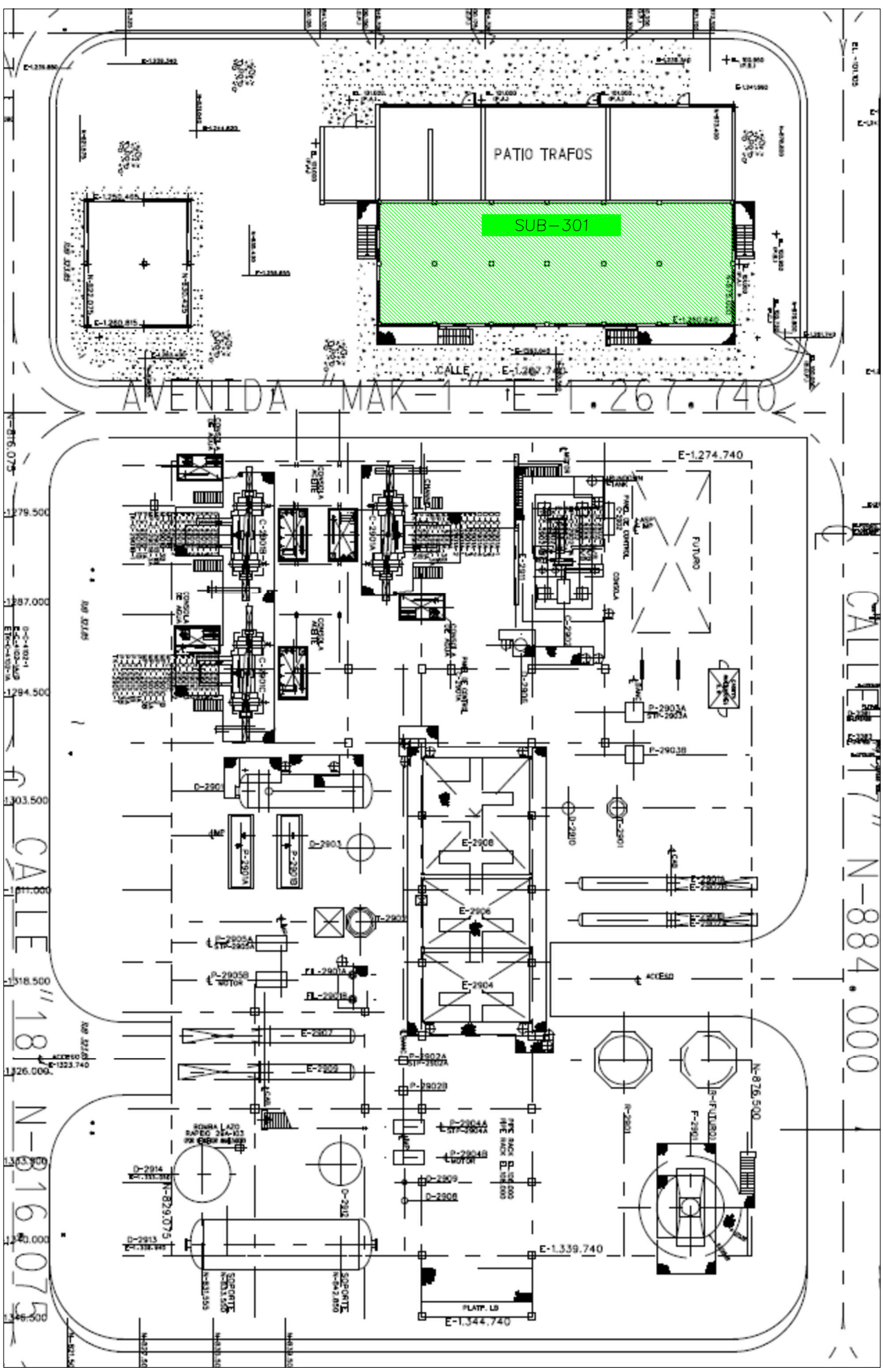
### 3. PLANOS



PROYECTO: Mejoras eléctricas en una refinería de petróleo	
PLANO: Esquema general de una subestación	
FECHA: 11/06/2020	Nº PLANO: 1
AUTOR: Guillem Ullidemolins Ameia	
	







PROYECTO: Mejoras eléctricas en una refinera de petróleo

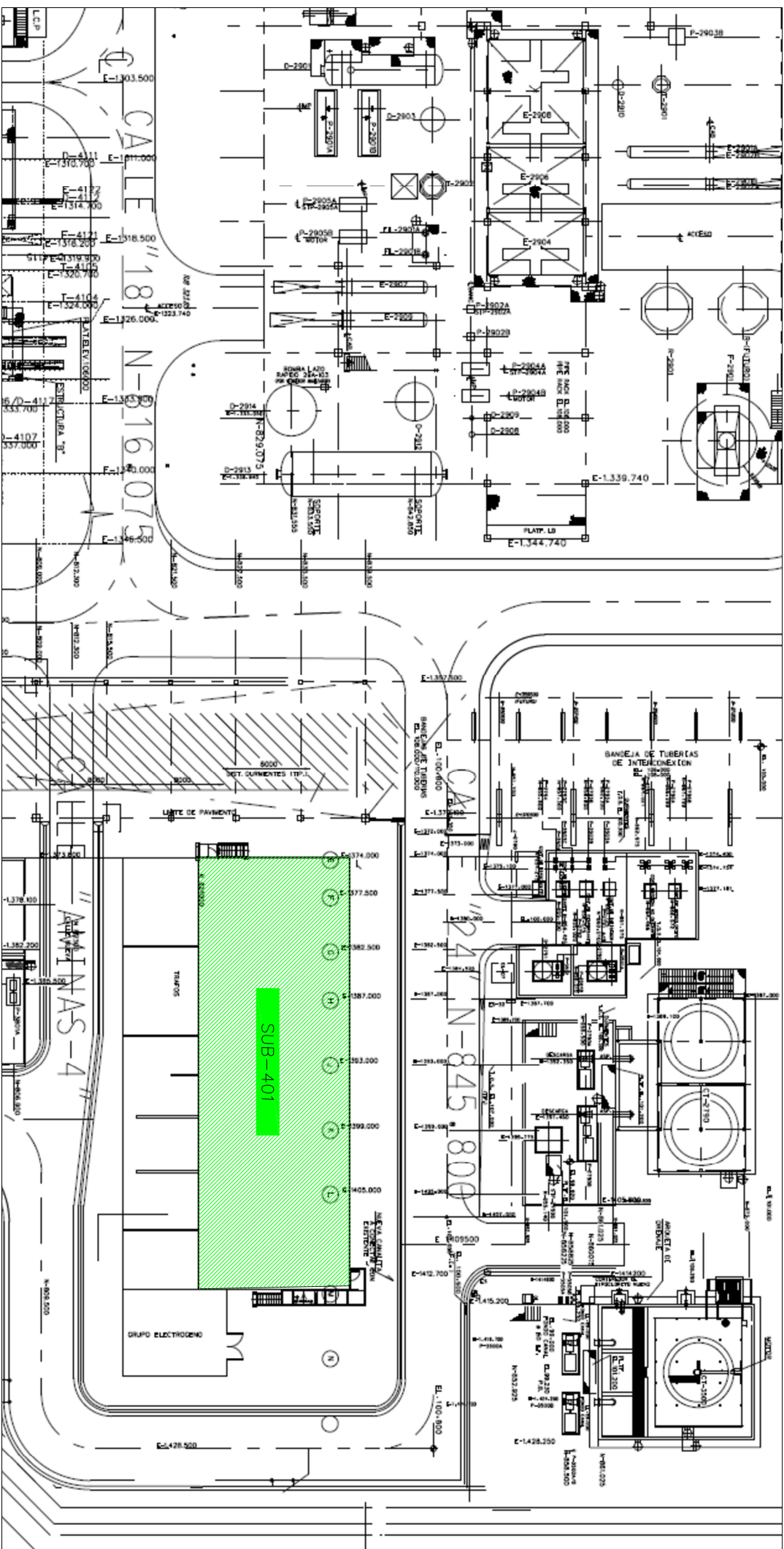
PLANO: Ubicación de la subestación 301

FECHA: 30/06/2020 N° PLANO: 3

AUTOR: Guillem Ulldemolins Ameia







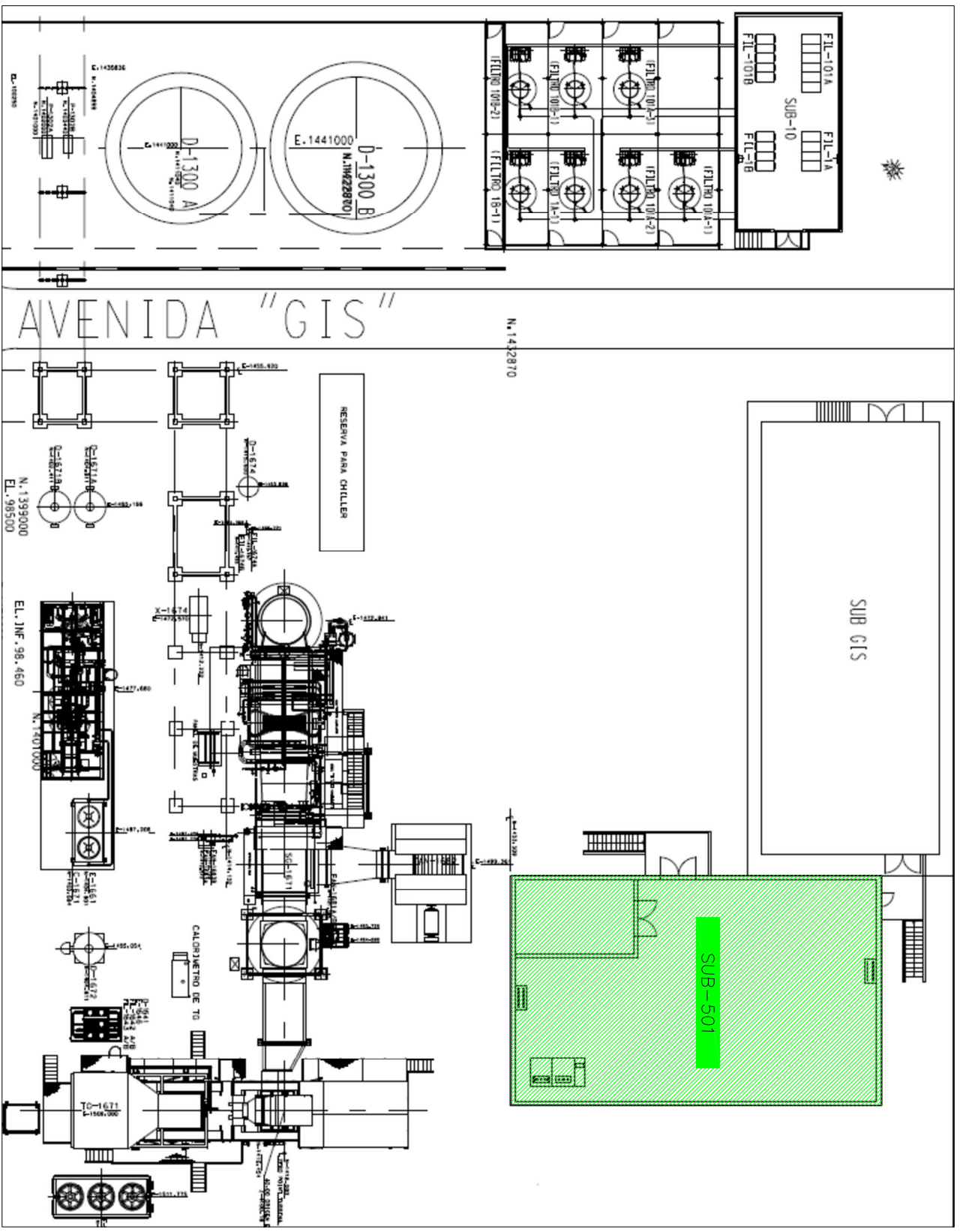
PROYECTO: Mejoras eléctricas en una refinería de petróleo

PLANO: Ubicación de la subestación 401

FECHA: 30/06/2020 N° PLANO: 4

AUTOR: Guillem Ulldemolins Ameia





PROYECTO: Mejoras eléctricas en una refinería de petróleo

PLANO: Ubicación de la subestación 501

FECHA: 30/06/2020 N° PLANO: 5

AUTOR: Guillem Ullidemolins Ameia



## 4. PLIEGO DE CONDICIONES

### 4.1 Especificaciones del cable

Viendo los resultados presentados en el apartado B.3 Resultados, se sabe que todos los cables que van a alimentar los equipos van a tener una sección de 70 mm<sup>2</sup>. En este apartado se van a presentar las características de los conductores más detalladamente.

El cable será multipolar del tipo RZ1MZ1-K del fabricante *General Cable*. Esta nomenclatura se refiere a las siguientes especificaciones:

- Conductor de cobre flexible clase 5.
- Aislamiento de polietileno reticulado (XLPE).
- Armadura de alambres de acero galvanizado.
- Cubierta exterior de poliolefina termoplástica reticulada libre de halógenos.

Además, este cable cumple con todas estas normas:

- UNE 21123-4: Norma constructiva.
- UNE-EN 60332-1: No propagador de la llama.
- UNE-EN 50266: No propagador del incendio.
- UNE-EN 50267: Baja acidez y corrosividad de los gases.
- UNE-EN 61034: Baja opacidad de los humos emitidos.
- IEC 60332-1: No propagador de la llama.
- IEC 60332-3: No propagador del incendio.
- IEC 60754: Baja acidez y corrosividad de los gases.
- IEC 61034: Baja opacidad de los humos emitidos.

Según el fabricante, la temperatura máxima del conductor en servicio permanente es de 90°C.

Por último, la configuración que van a presentar los cables es de 3 conductores (tres fases) y tierra. Cada uno de ellos se diferenciará por el código de colores: las tres fases serán de colores negro, marrón y gris mientras que la tierra será de amarillo y verde.

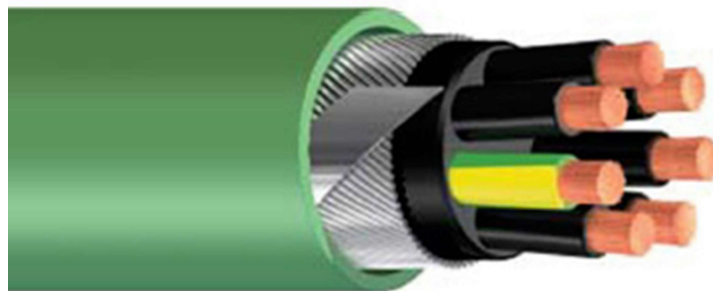


Imagen 5: previsualización de lo que sería un cable de este tipo (en este caso con más de 3 conductores)

### 4.2. Normativa eléctrica

#### 4.2.1 Norma IEC 61439

Esta norma es aplicable a todos los cuadros de distribución y control de baja tensión (aquellos en los que la tensión nominal no supera los 1000 V para CA o los 1500 V para CC). En este documento, el término "cuadro" se utiliza para hacer referencia a un conjunto de equipos de protección y maniobra de baja tensión.

Primero hay que saber que Un cuadro eléctrico es una combinación de varios dispositivos de protección y maniobra, agrupados en una o más cajas adyacentes (columnas). En un cuadro es posible distinguir las siguientes partes: una caja, denominada envolvente conforme a las normas (y cuya función es el soporte y la protección mecánica de los componentes que alberga) y el equipamiento eléctrico, formado por los aparatos, las conexiones internas y los terminales de entrada y salida para la conexión a la instalación. Como todos los componentes de un sistema eléctrico, los cuadros también deben cumplir las normas correspondientes.

Esta norma está formada por la norma básica 61439-1 y las normas específicas que hacen referencia a la tipología de los cuadros. La primera norma aborda las características, propiedades y rendimiento comunes a todos los cuadros, los cuales serán después detallados en las normas específicas relevantes.

Para este proyecto, serán de aplicación las normas IEC 61439-1 y la IEC 61439-2:

- IEC 61439-1: Cuadros de distribución y maniobra de baja tensión: Reglas generales.
- IEC 61439-2: Cuadros de distribución de potencia y maniobra.

Según el lugar en el que se van a instalar los cuadros, éstos deben presentar un grado de protección IP específico. El grado de protección es válido para todo el cuadro, montado e instalado según su uso habitual (con puerta cerrada).

El código IP indica el grado de protección proporcionado por la envolvente contra el acceso a partes peligrosas, contra la introducción de objetos sólidos extraños y contra la entrada de agua. El código IP es el sistema de identificación de los grados de protección conforme a los requisitos de la norma IEC 60529.

El fabricante que suministra estos cuadros, indica que para una refinería de petróleo, debe cumplir como mínimo con un grado de protección IP65. Esto es, una protección completa contra el polvo además de una protección contra chorros de agua.

A parte, tiene que presentar un grado de resistencia mecánica. El grado IK indica el nivel de protección que proporciona la envolvente al equipo contra danos causados por impactos mecánicos y se verifica mediante métodos de prueba normalizados.

El código IK es el sistema de códigos empleado para indicar el grado de protección garantizado contra el daño causado por impactos mecánicos conforme a los requisitos de la norma IEC 62262 de 2002. El grado de protección IK es válido para todo el cuadro, montado e instalado según su uso habitual (con puerta cerrada).

- FORMAS DE SEGREGACIÓN INTERNA

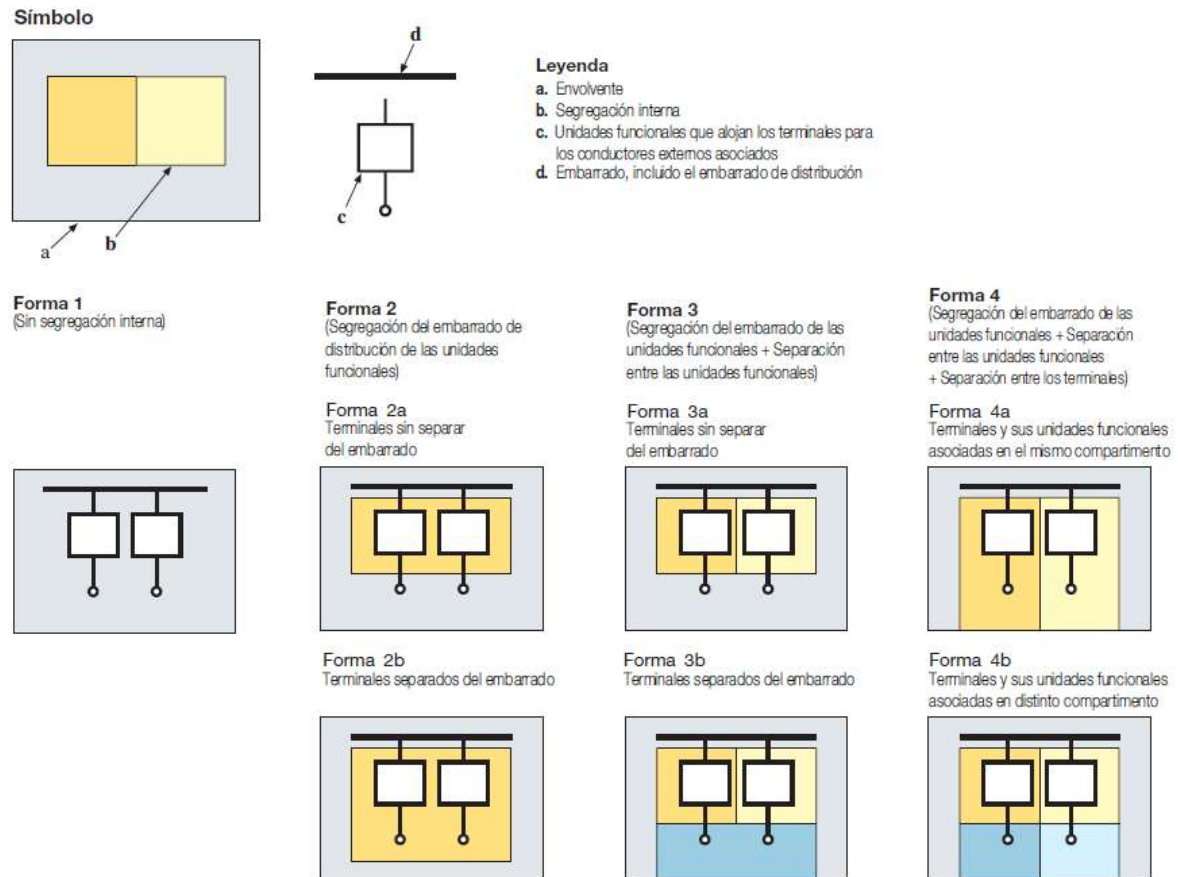
En el interior de los cuadros, aparece una distribución entre los distintos consumos que se van a alimentar. Esta separación se consigue mediante barreras físicas metálicas o aislantes con diversos fines, entre ellos los siguientes:

- Garantizar la protección contra los contactos directos (al menos IP XXB), en caso de acceso a una parte del cuadro sin tensión, respecto al resto del cuadro en tensión.
- Reducir la probabilidad de formación y propagación de un arco interno.
- Impedir el paso de cuerpos sólidos de una parte a otra del cuadro (grado de protección mínimo IP 2X).

Un tabique es un elemento de separación entre dos celdas, mientras que la barrera protege al operador de los contactos directos y de los efectos del arco de los aparatos de interrupción en la dirección habitual de acceso.

La siguiente IMAGEN, incluida en la norma IEC 61439-2, revela las formas típicas de segregación que pueden obtenerse mediante el uso de barreras o tabiques.

Imagen 6: tipos de segregación dentro de un cuadro de BT



Atendiendo a las formas, en la refinería solamente se contemplan las opciones 3 y 4 en cualquiera de sus dos variantes (A y B). Tan solo habrá que comunicar al fabricante de los cuadros qué opción se escoge para que ellos los fabriquen de esa forma concreta.

- PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS. CONTACTOS DIRECTOS.

El contacto directo es aquel que se produce entre personas y partes activas de la instalación y equipos. Se entiende por partes activas a los conductores y piezas conductoras en tensión en servicio normal.

La protección contra el contacto directo puede obtenerse tanto mediante la construcción del cuadro mismo como por medio de medidas complementarias utilizadas durante la instalación. Las medidas de protección contra el contacto directo son:

**Protección mediante aislamiento de las partes con tensión**

Las partes con tensión deben estar completamente cubiertas por un aislamiento que únicamente puede ser retirado mediante su destrucción. Este aislamiento deberá estar

fabricado con materiales adecuados, capaces de resistir el esfuerzo mecánico, eléctrico y térmico al que pueda estar sometido el aislamiento durante el servicio.

Pinturas, barnices, lacados y productos similares no se consideran adecuados por si solos para proporcionar un aislamiento adecuado que proteja contra el contacto directo.

#### **Protección mediante barreras o envolventes**

Todas las superficies externas deberán tener un grado de protección igual a IP XXB, como mínimo. Las superficies horizontales accesibles cuya altura sea igual o menor de 1,6 m deberán proporcionar un grado de protección igual a IP XXD, como mínimo. La distancia entre los elementos mecánicos previstos para la protección y las partes con tensión a las que protegen no deben ser inferiores a los valores especificados para las distancias de aislamiento en aire y superficial.

Todas las barreras y envolventes deberán estar firmemente sujetas. Deberán tener la estabilidad y resistencia suficientes, teniendo en cuenta su naturaleza, dimensiones y disposición, para resistir las tensiones y esfuerzos que probablemente se produzcan durante el servicio normal sin que se reduzcan las distancias de aislamiento en aire.

#### **Protección mediante obstáculos**

Esta medida se aplica a un cuadro de tipo abierto.

- PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS. CONTACTOS INDIRECTOS.

Un contacto indirecto es aquel en el que la persona entra en contacto con elementos que no forman parte de la instalación eléctrica y que en condiciones normales no debería estar en tensión, pero que accidentalmente la ha adquirido. Se entiende por elementos o masas, el conjunto de las partes metálicas de un aparato que en condiciones normales están aisladas de las partes activas.

Las medidas de protección contra el contacto indirecto son las siguientes:

#### **Uso de circuitos de protección**

Es posible establecer un circuito de protección (coordinado con un dispositivo para la desconexión automática del suministro) independiente de la envolvente metálica o bien utilizar la misma envolvente como parte del circuito de protección. Las partes conductoras expuestas de un cuadro que no supongan ningún peligro bien porque están fuera del alcance o no puedan ser agarradas con la mano por ser de pequeño tamaño (como tornillos, placas electrónicas, etc.) no necesitan estar conectadas a los circuitos de protección. Los elementos de maniobra manuales, como palancas, asas u otros elementos metálicos deberán estar conectados de forma segura con las partes conectadas a los circuitos de protección o disponer de aislamiento adicional adecuado para la tensión de aislamiento máxima del cuadro. Las partes metálicas cubiertas con una capa de barniz o esmalte no pueden considerarse, por regla general, adecuadamente aisladas para cumplir estos requisitos. En el caso de tapas, puertas, cubiertas y similares, se considera que las conexiones atornilladas y bisagras metálicas normales son suficientes para garantizar la continuidad, siempre que no haya ningún equipo eléctrico que requiera puesta a tierra sujeto a ellas.

#### **Protección por medios distintos de los circuitos de protección**

Los cuadros eléctricos pueden ofrecer protección contra el contacto indirecto mediante las siguientes opciones, que no requieren un circuito de protección:

- separación eléctrica de los circuitos
- aislamiento completo.

#### 4.2.2. Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT)

El Real Decreto 842/2002 del día 2 de agosto aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión así como las instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT01 a BT51, cada una de ellas aplicables a una situación específica.

Para este caso en concreto, el dimensionado de los conductores de alimentación de cada sistema de alimentación ininterrumpida, será de aplicación la ITC-BT-07 *Redes subterráneas para distribución en baja tensión*. Los tendidos de cable en cada subestación se realizarán en el sótano de las mismas sin enterrar los cables, si no que se instalaran en galerías visitables (permiten la circulación de personas).

Los conductores de los cables utilizados en las líneas subterráneas serán de cobre o de aluminio y estarán aislados con mezclas apropiadas de compuestos poliméricos. Estarán además debidamente protegidos contra la corrosión que pueda provocar el terreno donde se instalen y tendrán la resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos a que puedan estar sometidos.

##### **Cables**

Los cables podrán ser de uno o más conductores y de tensión asignada no inferior a 0,6/1 kV, y deberán cumplir los requisitos especificados en la parte correspondiente de la Norma UNE-HD 603. La sección de estos conductores será la adecuada a las intensidades y caídas de tensión previstas y, en todo caso, esta sección no será inferior a 6 mm<sup>2</sup> para conductores de cobre y a 16mm<sup>2</sup> para los de aluminio.



##### **Sujeción de los cables**

Los cables deberán estar fijados a las paredes o a estructuras de la galería mediante elementos de sujeción (regletas, ménsulas, bandejas, bridas, etc.) para evitar que los esfuerzos electrodinámicos que pueden presentarse durante la explotación de las redes de baja tensión, puedan moverlos o deformarlos. Estos esfuerzos, en las condiciones más desfavorables previsibles, servirán para dimensionar la resistencia de los elementos de sujeción, así como su separación. En el caso de cables unipolares agrupados en mazo, los mayores esfuerzos electrodinámicos aparecen entre fases de una misma línea, como fuerza de repulsión de una fase respecto a las otras. En este caso pueden complementarse las sujeciones de los cables con otras que mantengan unido el mazo.

##### **Intensidades máximas admisibles**

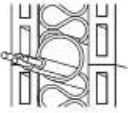
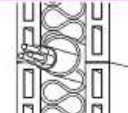



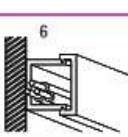

Esta tabla muestra los valores de intensidad para una temperatura de 40°C. En caso de que la temperatura sea diferente de ese valor, se deberá aplicar un factor de corrección a la hora de los cálculos de la intensidad de servicio de un cable.

Tabla 34: intensidad máxima admisible, en amperios, en servicio permanente para cables con conductores de cobre en instalación al aire en galerías ventiladas

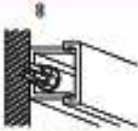


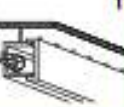







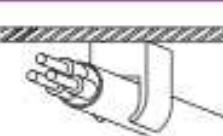

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Tres cables unipolares (1)			1 cable trifásico		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	46	45	38	44	43	36
10	64	62	53	61	60	50
16	86	83	71	82	80	65
25	120	115	96	110	105	87
35	145	140	115	135	130	105
50	180	175	145	165	160	130
70	230	225	185	210	220	165
95	285	280	235	260	250	205
120	335	325	275	300	290	240
150	385	375	315	350	335	275
185	450	440	365	400	385	315
240	535	515	435	475	460	370
300	615	595	500	545	520	425
400	720	700	585	645	610	495
500	825	800	665	-	-	-
630	950	915	765	-	-	-

### Tipos de instalación de los cables

En las tablas siguientes, se relacionan todos los métodos posibles que recoge el reglamento mediante los que se pueden instalar tendidos de cables. Para este caso, se instalarán sobre bandejas de cable no perforadas (caso E o F de las tablas inferiores).

Ref.	Modos de instalación	Descripción	Tipo
1		Conductores aislados o cables unipolares en conductos empotrados en paredes térmicamente aislantes.	A1
2		Cable multiconductor en conductos empotrados en una pared térmicamente aislante.	A2
3		Cable multiconductor empotrado directamente en una pared térmicamente aislante.	A1
4		Conductores aislados o cable unipolar en conductos sobre pared de madera o de mampostería, no espaciados una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del conductor de ella.	B1
5		Cable multiconductor en conducto sobre pared de madera o de mampostería (ladrillo, hormigón, yeso...), no espaciado una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del conducto de ella.	B2
6 7	 	Conductores aislados o cables unipolares en abrazaderas, (canal protectora) fijadas sobre una pared de madera: - En recorrido horizontal. - En recorrido vertical.	B1



Ref.	Modos de instalación	Descripción	Tipo
8 9	 	Cable multiconductor en abrazaderas (canal protectora) fijadas sobre una pared de madera: - En recorrido horizontal. - En recorrido vertical.	B2 B2
10 11	 	Conductores aislados en abrazaderas (canal protectora) suspendidas. Cable multiconductor en abrazaderas (canal protectora) suspendidas.	B1 B2
12		Conductores aislados o cables unipolares en molduras.	A1
13 14	 	Conductores aislados o cables unipolares en rodapiés ranurados. Cable multiconductor en rodapiés ranurados.	B1 B2
15		Conductores aislados en conductos o cables unipolares o multipolares en arquitrave.	A1
16		Conductores aislados en conductos o cables unipolares o multipolares en los cercos de ventana.	A1
20		Cables unipolares o multipolares fijados sobre una pared de madera o espaciados menos de 0,3 veces el diámetro del cable de la pared.	C
21		Cables unipolares o multipolares fijados bajo un lecho de madera.	C
22		Cables unipolares o multipolares separados del techo.	En estudio (se recomienda C)
30		Cables unipolares o multipolares sobre bandejas de cables no perforadas.	C

**Factor de corrección por agrupamiento de cables**

Punto	Disposición	Número de circuitos o cables multiconductores									Instalación tipo
		1	2	3	4	6	9	12	16	20	
1	Empotrados, embutidos (dentro de un mismo tubo, canal o grapados sobre una superficie al aire)	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	A a F
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	C
3	Capa única en el techo	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60	
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	E y F
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	

## 5. PRESUPUESTO

Finalmente se va a presentar las consecuencias económicas que va a tener este proyecto de forma resumida.

En primer lugar, se detalla el coste de los equipos necesarios y del nuevo cableado en relación a los metros necesarios. En la Tabla 27 incluida en el Anexo B) CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONADO DEL NUEVO CABLEADO, viendo la columna de longitudes ponderadas y sumando todos los valores, resulta que serán necesarios 320 metros de cable. Debido a que las bobinas de cable son cada una de ellas de 500 metros, se comprará una de ellas y el sobrante se guardará para futuros usos.

También se consideran todas las baterías de condensadores necesarias para llevar a cabo la sustitución de todas ellas como se explica en el apartado 1.7 Análisis de soluciones en la propuesta D.

Tabla 35: coste de los equipos eléctricos nuevos

EQUIPOS ELÉCTRICOS	Unidades	Precio unitario	Subtotal
Sistema de alimentación ininterrumpida	6	55.000,00 €	330.000,00 €
Cable 70mm <sup>2</sup> (320m)	500	165,74 €	82.870,00 €
Batería condensadores 1000+2x750 kVAr	1	13.000,83 €	13.000,83 €
Batería condensadores 3000+4x500 kVAr	3	18.960,33 €	56.880,99 €
Batería condensadores 3000+4x750 kVAr	2	19.340,69 €	38.681,38 €
Batería condensadores 4000+4x750 kVAr	1	24.870,42 €	24.870,42 €
Batería condensadores 5000+4x750 kVAr	1	28.650,78 €	28.650,78 €
<b>TOTAL EQUIPOS ELÉCTRICOS</b>			<b>574.954,40 €</b>

El segundo apartado a tener en cuenta es lo relativo al montaje eléctrico. En este caso al coste total del tendido, montaje de toda la apartamentada eléctrica así como el coste de desmontar las baterías de condensadores viejas y montar las nuevas. Se le aplica un margen del 10% de seguridad para posibles imprevistos en este apartado.

Tabla 36: coste del montaje eléctrico

MONTAJE ELÉCTRICO	Unidades	Precio unitario	Subtotal
Tendido de cables y montaje de armarios	6	1.500,00 €	9.000,00 €
Desmontar y montar baterías	8	2.250,00 €	18.000,00 €
Costes indirectos de construcción		10%	2.700,00 €
<b>TOTAL MONTAJE ELÉCTRICO</b>			<b>29.700,00 €</b>

El último apartado a contabilizar, es la obra civil que se pueda realizar en cada una de las subestaciones, así como los trabajos constructivos derivados de la misma. Se contabilizan 14 unidades en cada apartado de obra civil y construcción porque se deberán instalar 14 equipos si se suman todos los del proyecto (6 SAI más 8 baterías de condensadores). Al igual que en el caso anterior, se le aplica un 10% de tolerancia al presupuesto calculado para posibles imprevistos que puedan surgir.

Tabla 37: coste de la obra civil y trabajos de construcción

OBRA CIVIL Y CONSTRUCCIÓN	Unidades	Precio unitario	Subtotal
Trabajos en subestaciones	14	1.200,00 €	16.800,00 €
Grúas	14	600,00 €	8.400,00 €
Costes indirectos de construcción		10%	2.520,00 €
<b>TOTAL OBRA CIVIL Y CONSTRUCCIÓN</b>			<b>27.720,00 €</b>

Finalmente, a modo de resumen se recogen en la tabla siguiente todos los costes descritos anteriormente así como las tolerancias que se aplican además de las incluidas en cada apartado anterior para los imprevistos generales que pudiesen surgir.

Tabla 38: resumen final del total del presupuesto

RESUMEN DEL PRESUPUESTO	
EQUIPOS ELÉCTRICOS	574.954,40 €
MONTAJE ELÉCTRICO	29.700,00 €
OBRA CIVIL Y CONSTRUCCIÓN	27.720,00 €
<b>Subtotal</b>	<b>632.374,40 €</b>
Contingencia (5%)	31.618,72 €
Seguridad (3%)	18.971,23 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>682.964,35 €</b>

El presupuesto total para este proyecto sería de seiscientos ochenta y dos mil novecientos sesenta y cuatro euros con treinta y cinco céntimos.