

1 Plan de Empresa

Una empresa que se dedica a la fabricación de maquinaria para la producción, transmisión y distribución de energía eléctrica se ve obligada a aumentar su capacidad de producción de transformadores de potencia, debido al incremento de pedidos del mercado nacional e internacional.

La fábrica de transformadores de potencia está situada en una ciudad andaluza desde hace más de 70 años. En este tiempo ha crecido la ciudad de tal manera que la fábrica se encuentra encerrada en la misma sin posibilidades de ampliación de su terreno. Por ello se han realizado los siguientes estudios con los resultados que se mencionan:

- Reorganización de la producción en las naves existentes.
 - o Esta solución se desestimó porque no hay más espacio libre en las naves para la instalación de más maquinaria y puestos de trabajo.
- El coste de nuevas naves y traslado de toda la maquinaria e instalaciones, traslado de oficinas y personal es muy superior al importe que se puede obtener por la venta de los terrenos e incluso por la venta del terreno con las naves y oficinas. Un inconveniente adicional es que esta opción conlleva una parada de producción que produciría pérdidas adicionales. Por ello se desestimó ésta solución también.
- Adquisición de algún componente del transformador.
 - o La adquisición de algún componente de la parte activa del transformador habría que hacerlo a un competidor, debido a la maquinaria e instalaciones tan especiales que este producto requiere. El coste de este componente se incrementaría y el competidor tendría la posibilidad de conocer parte de la tecnología. Por ello no se aceptó éste solución tampoco.
- Traslado de la fabricación de un componente del transformador a nueva ubicación.
 - o Esta solución es la más económica en cuanto a inversiones y permite mantener los costes de producción actuales, e incluso mejorarlos, por disponer parcialmente de máquinas e instalaciones más modernas, mejor flujo de materiales. Por otro lado se reducen los costes interiores de transporte, a pesar de un incremento de coste por el transporte del componente a la fábrica central. Por otro lado se reduciría el coste de personal indirecto por el uso de ordenadores modernos conectados a los ordenadores de la fábrica central. Existe ya una experiencia de varios años con la fabricación de piezas aislantes que se realiza

en otro lugar también. Por estos motivos se adoptó esta solución.

De entre los componentes que actualmente se fabrican se consideran:

- los circuitos magnéticos (o núcleos magnéticos)
- las cubas de los transformadores
- las bobinas

Se eligió la fabricación de las bobinas por los siguientes motivos:

1. Menor tamaño de nave que para las cubas, aunque igual que para el circuito magnético.
2. Menor tonelaje de grúas y con ello menor coste de la nave.
3. El coste de transporte de las bobinas es el menor.
4. La nave actual de fabricación de bobinas no es adecuada para la limpieza que requiere la fabricación de bobinas.
5. Menor plazo para la amortización de la inversión en el caso de las bobinas.

Para definir el tamaño de la nueva nave de fabricación de bobinas, los almacenes para materia prima y semielaborados, oficinas y el tamaño del terreno a adquirir, se debe disponer del layout de la maquinaria e instalaciones para la capacidad de fabricación requerida. Para esto hay que conocer el producto, su proceso de fabricación, la maquinaria necesaria y las instalaciones necesarias (de electricidad, de aire comprimido, de agua,...) que se precisa, lo que se describe a continuación.

2 PRODUCTO Y PROCESO

2.1 Descripción de un transformador de potencia.

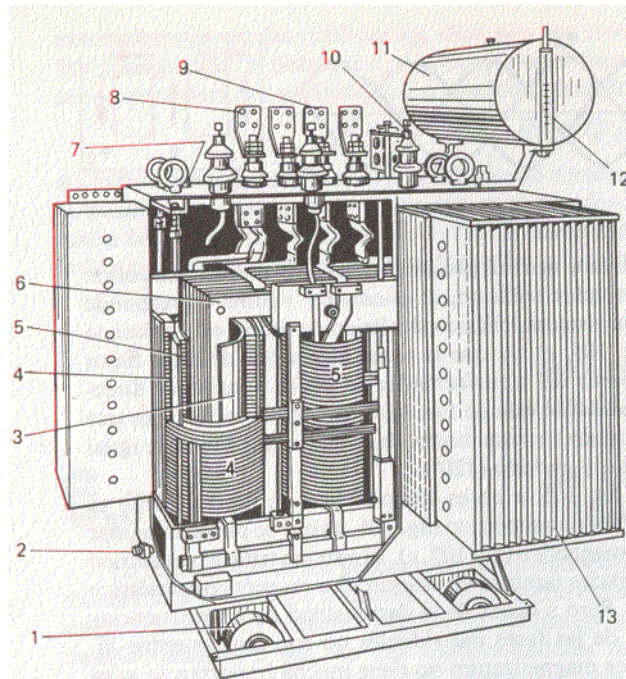
La mayor parte de las centrales eléctricas se erigen junto a las fuentes naturales de energía: yacimientos de combustibles o ríos; como resultado, a menudo, las centrales se sitúan lejos de los consumidores principales de energía eléctrica, o sea, las ciudades y empresas industriales. La transmisión económica de grandes cantidades de energía eléctrica a largas distancias es posible sólo a una tensión muy alta (no menor de 100 kV), ya que para una tensión más baja se necesitan grandes corrientes y su transmisión económica requerirá el uso de conductores con unas secciones tan grandes que en la práctica son irrealizables. Sin embargo, los generadores de corriente alterna instalados en las centrales eléctricas se fabrican de ordinario para la tensión de 6 kV y es muy difícil producirlos para una tensión mayor de 20 kV. En vista de ello, la alta tensión necesaria para las líneas de transmisión la dan los transformadores.



El transformador es un aparato electromagnético estático (sin partes móviles) a través del cual la corriente alterna de una tensión se transforma en corriente alterna de la misma frecuencia, pero de otra tensión.

En el transformador se aprovecha el fenómeno de inducción mutua. Tiene no menos de dos devanados que atraviesa el flujo magnético total. Los devanados del transformador deben ser aislados entre sí. Para aumentar el flujo magnético total y por lo tanto mejorar el acoplamiento magnético, los devanados se producen con un núcleo cerrado común, un circuito magnético hecho de chapa de acero electrotécnico. Las chapas de este acero están aisladas entre sí por barniz o mediante tratamiento metalúrgico especial entre superficies.

Los devanados o bobinas se montan sobre el circuito magnético, llamado también núcleo magnético, formando de esta forma la parte activa del transformador. La parte activa se introduce en una cuba de acero que se cierra con una tapa en la parte superior. Los cables de salida de las bobinas van conectados a las bornas, situados en la tapa. Conmutadores en carga para la regulación de la tensión en alta, radiadores montados alrededor de la cuba y conectados a la misma y una cabina de control completan el transformador. (Véase el esquema adjunto de un transformador). Por el interior de la cuba circula aceite con el fin de disipar el calor generado.

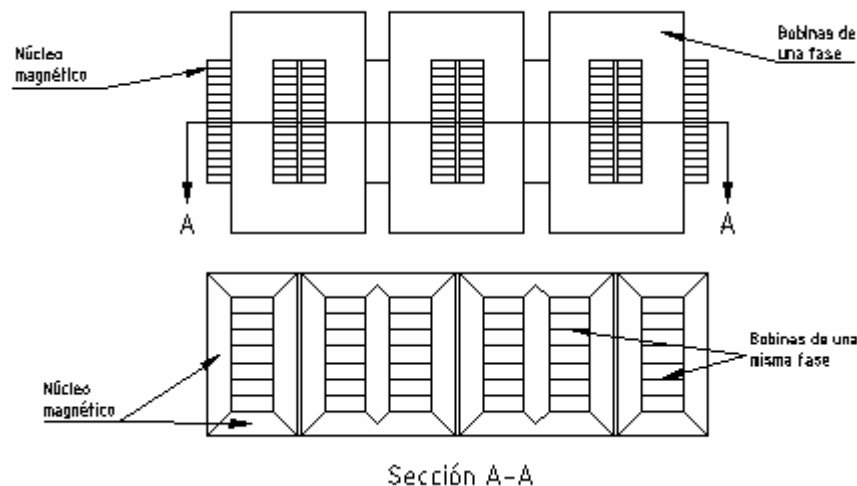


Transformador de aceite trifásico con tanque tubular en corte parcial: 1. Rodillos; 2. Grifo de vaciado de aceite; 3. Cilindro aislante; 4. Devanado de alta tensión; 5. Devanado de baja tensión; 6. Núcleo; 7. Termómetro; 8. Terminales de baja tensión; 9. Terminales de alta tensión; 10. Conservador de aceite; 11. Relés de gas; 12. Indicador de nivel de aceite; 13. Radiadores.

2.2 Tipos de transformadores de potencia.

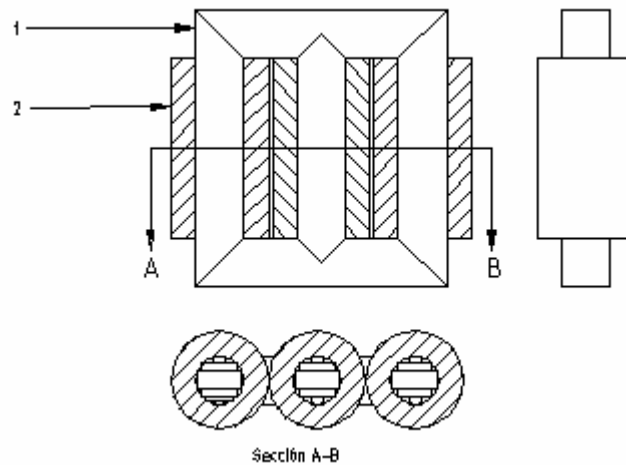
Los transformadores de potencia se construyen en dos versiones: transformadores acorazados y de columnas. Los dos tipos se distinguen por la forma de sus circuitos magnéticos y de sus bobinas.

➤ Transformadores acorazados



Las bobinas de los transformadores acorazados son planas, de poco espesor (entre 15 y 35 mm aproximadamente) y de forma rectangular, con una ventana rectangular en el centro. Cada bobina puede constar de un sólo conductor o de varios en paralelo. Para las distintas tensiones de cada fase se colocan varias bobinas planas en paralelo, una junta a la otra, para formar paquetes individuales de tensiones altas, bajas, terciario, y de regulación. Entre las bobinas planas se colocan arandelas de cartón aislante, de 1 a 3 mm de espesor, de la misma forma que la bobina. En un lado de las arandelas, o en los dos, se pegan unos tacos de cartón de forma rectangular con dimensiones de 40 x 70 mm por termino medio y con espesor de 3 a 8 mm. Con ello se consigue que las bobinas se encuentran en un baño de aceite aislante para su refrigeración. Todas las bobinas están montadas en posición vertical dentro de la cuba del transformador. Los distintos paquetes de bobinas para las tensiones de alta, baja, terciario y de regulación son colocados uno junto al otro, formando así una fase. El circuito magnético, de sección rectangular, se monta a través de la venta y alrededor de cada una de las fases.

➤ Transformadores de columnas



El circuito magnético de los transformadores de columna consta de 3 columnas de sección circular, unidos por dos culatas, una superior y la otra inferior. Las columnas están situadas verticalmente dentro de la cuba. El núcleo está construido de laminas de chapa magnética de grano orientado de espesores de 0,28 a 0,35 mm. Las bobinas son de sección circular también y se montan sobre las columnas del núcleo. Sobre cada columna se montan las bobinas de alta y baja tensión, las del terciario y las de regulación de tensión, formando las tres fases. Las distintas bobinas se fabrican sobre un mandril de sección circular, situado en vertical o en horizontal en el torno de bobinado.

Es a este tipo de devanados el que se fabrica en la Planta de Fabricación de Bobinas, objetivo de este Proyecto.

Se fabricarán bobinas de alta y baja tensión, de regulación y bobinas de terciario para transformadores trifásicos y monofásicos de columnas en baño de aceite aislante. Las potencias estarán comprendidas entre los 20 MVA y los 200 MVA y las tensiones alcanzarán los 230 kV en el lado de la alta tensión.

Se presenta seguidamente el mapa europeo de los fabricantes de transformadores de potencia, si bien muchos de ellos tienen presencia en otros continentes.

- ABB, con fábricas en Suecia, Noruega, Finlandia, Alemania, Polonia, España, Suiza, Africa del Sur, Estados Unidos, Canadá, Brasil, China y Australia.
- Jeumont, con fábrica en Francia.
- Schneider, con fábrica en Francia.

- Efacec, con fábrica en Portugal.
- Elin, con fábrica en Austria.
- Siemens. Con fábrica en Alemania.
- Otros fabricantes hay en Rusia y Bulgaria.



2.3 Tipos de arrollamientos.

La bobina es el conjunto de los conductores eléctricos y de las piezas aislantes. El arrollamiento es el conjunto de conductores en la bobina. Se han desarrollado y probado en los transformadores distintos diseños de arrollamientos para las bobinas. Los procesos de fabricación de los distintos tipos de arrollamiento varían entre sí y la maquinaria también. A continuación se indican los tipos de arrollamientos usuales y su aplicación:

Para la alta tensión:

Descripción	Designación abreviada
Continuo de disco con separadores	CD
Entrelazados parcial o total de disco con separadores	SD

Para la baja tensión:

Descripción	Designación abreviada
Continuo de disco con separadores	CD
Cilíndricos	SLL
Cilíndricos en capas	L
Helicoidal	S

Para el terciario:

Descripción	Designación abreviada
Continuo de disco con separadores	CD
Cilíndricos	SLL
Cilíndricos en capas con aros de ajuste	L

Para la regulación de alta tensión:

Descripción	Designación abreviada
Hélice con o sin separadores	SLS

Las abreviaciones proceden del inglés y se usan en el ámbito internacional. Su significado es el siguiente:

Designación abreviada	Descripción en inglés
CD	Continues disc winding
SD	Interleave disc winding
SLL	Single loop layer winding
L	Layer winding
S	Helical winding
SLS	Single layer screw winding

Los distintos diseños definen la forma de enrollar los conductores eléctricos, con uno sólo o varios conductores en paralelo, sobre un cilindro soporte.

Este es el aspecto más importante en la fabricación de las bobinas, con independencia de si va destinado a la alta, la baja tensión, a la regulación o al terciario. Por ello se utilizará en lo sucesivo las abreviaciones antes indicadas para identificar un tipo de bobina u otro.

2.4 Descripción de las bobinas.

El tamaño de la bobina depende de la potencia y de la tensión del transformador. El ancho máximo de la chapa magnética está limitado a un metro. Esto causa limitaciones en el diámetro interior de la bobina más pequeña de una fase. Otras restricciones a tener en cuenta son los anchos y las alturas de los transformadores en el transporte por carretera o por ferrocarril debido a los puentes o túneles.

Los diámetros interiores de las bobinas oscilan entre los 350 mm y 1960 mm.

El orden de montaje de los arrollamientos sobre el núcleo magnético comienza generalmente en cada fase con la baja tensión, seguido del terciario, de la alta tensión y terminando con la regulación. Por ello cada una de las bobinas tiene un diámetro distinto de forma que el diámetro interior de la segunda bobina a montar es igual al diámetro exterior de la primera bobina. Lo mismo sucede con las restantes tipos. El diámetro exterior de la bobina de mayor diámetro puede llegar hasta 2,5 metros.

Las alturas de las bobinas oscilan entre 1 m y 3,2 metros.

Los pesos oscilan entre 500 kg y 8000 kg.

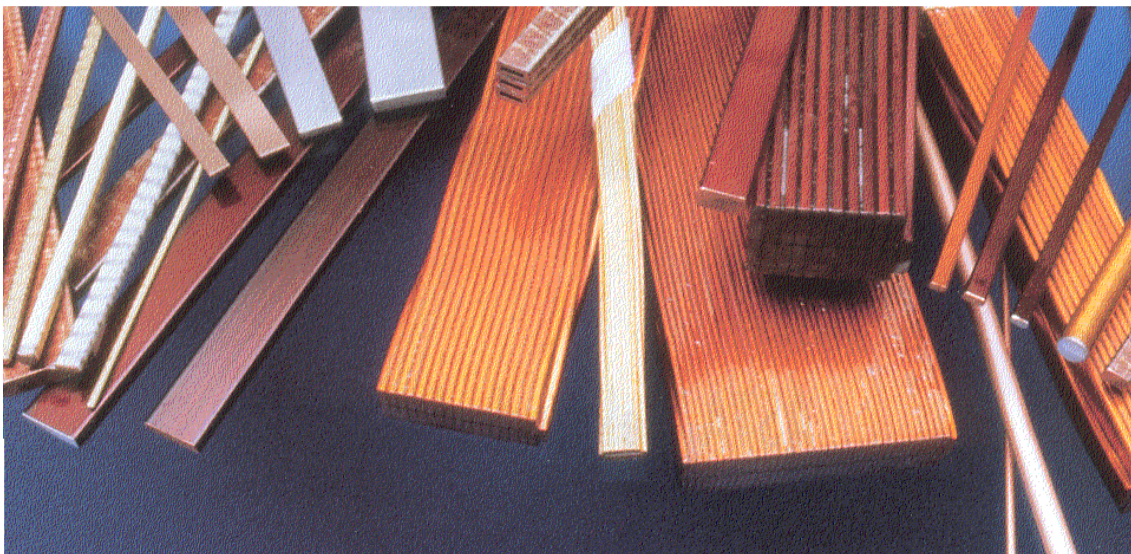
2.5 Materiales de fabricación.

Las bobinas constan de conductores eléctricos y de piezas aislantes. También se precisan algunos materiales auxiliares de fabricación.

2.5.1 Conductores eléctricos

Para los conductores eléctricos se utilizan pletinas de cobre de sección rectangular aisladas con papel aislante en varias capas, según la tensión eléctrica. Los anchos de los conductores oscilan entre 4 mm y 22 mm. El espesor de los mismos se encuentra entre 0,8 mm y 4 mm. Este tipo de conductor se puede usar en todo tipo de bobinas. Los conductores de pletina se suministran en tambores de madera con pesos brutos de hasta 1000 kg.

Igualmente se utilizan para las bobinas de alta y baja tensión conductores de cobre transpuestos aislados individualmente con barniz. Los anchos varían en este caso entre 16 y 40 mm, los espesores entre 6 y 16 mm. Estos conductores son de fabricación especial y en el mercado europeo hay sólo 4 fabricantes. De igual forma estos conductores se suministran en tambores de madera con pesos brutos de hasta 5000 kg.



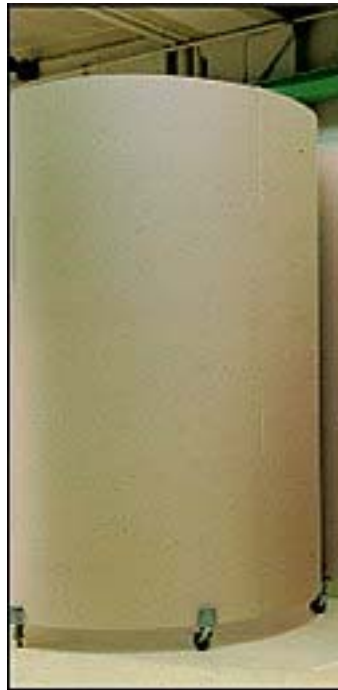
2.5.2 Piezas aislantes

Todas las piezas aislantes están fabricadas con cartón aislante. Las distintas piezas según tipo de bobina son las siguientes:

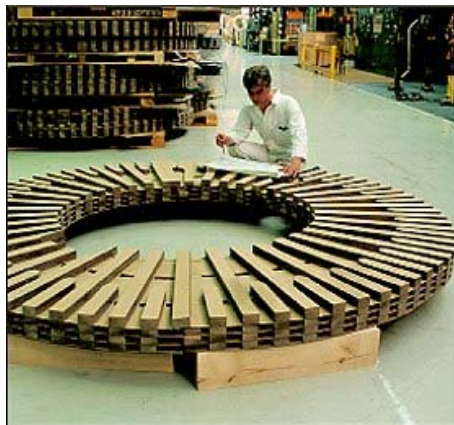
Designación de la pieza	Tipo de arrollamiento
Cilindro soporte de arrollamiento	Todos los arrollamientos
Regletas interiores	Arrollamientos CD y SD
Separadores	CD, SD, SLS
Regletas exteriores	CD, SD, SLS
Canales de aceite interior	CD, SD
Canales de aceite exterior	CD, SD
Sombreretes interiores	CD, SD
Sombreretes exteriores	CD, SD
Sombreretes exteriores con salida conductores	CD, SD
Aros de bloqueos inferior y superior	Todos los arrollamientos
Aros extremos	S, SLS
Aros con tacos inferiores y superiores	CD, SD
Aros de ajuste	L, SLS, SLL
Pantallas de cierre de arrollamiento	CD, SD, SLL, L

Se muestran a continuación muchos de estos elementos.

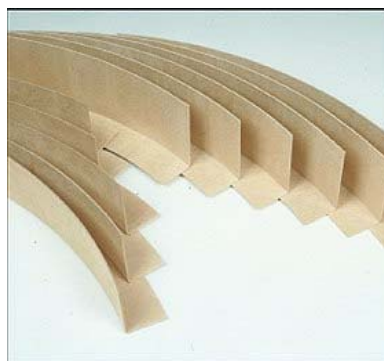
Cilindro soporte de arrollamiento, sobre donde se arrollarán los conductores.



Aros extremos. Son los aros soporte de las bobinas.



Sombreretes interiores y exteriores. Protegen, tanto mecánica como eléctricamente, los extremos expuestos de las capas de las bobinas.



Regletas espaciadoras y canales de circulación del aceite. Estas regletas proporcionan aislamiento y circulación de aceite entre los discos de las bobinas o en cada vuelta de los arrollamientos helicoidales.



Sombreretes



Elementos de ajuste y fijación.



2.5.3 Papel aislante

Este papel aislante es necesario para aislar los conductores eléctricos de pletina de cobre. Dicho papel se suministra en rollos de 800 mm de diámetro exterior y en anchos de 800 mm. El espesor es de 0,5 a 0,8 mm.

2.5.4 Materiales auxiliares

Únicamente se precisa pletinas de plata para la soldadura de los conductores de cobre. Esta pletina es una aleación de cobre con un alto contenido de plata.

2.6 Proceso de fabricación.

2.6.1 Aislado de los conductores de pletina de cobre.

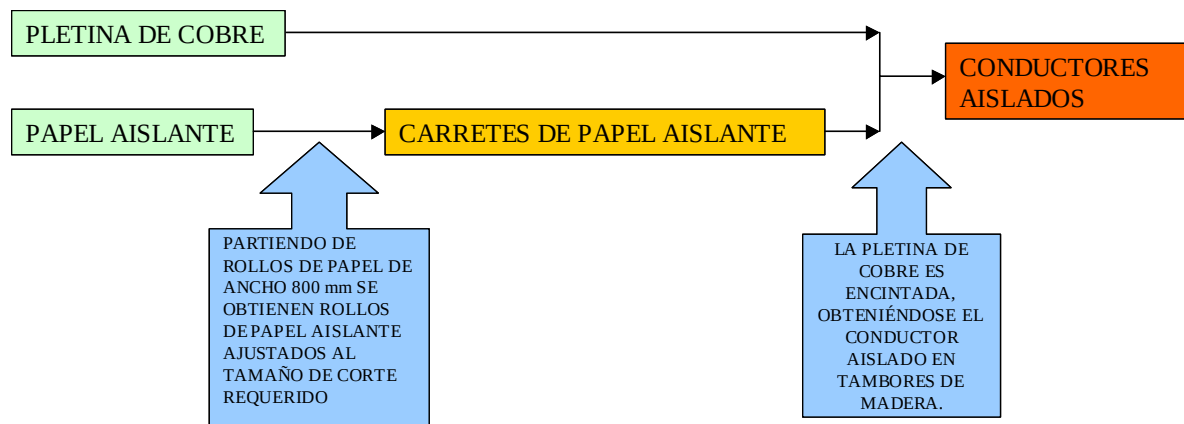
Esta parte del proceso consiste en el corte del papel aislante y el encintado de los conductores de cobre.

El corte de papel, partiendo de rollos de 800 mm de diámetro exterior y de 800 mm de ancho, se realiza en una máquina con cuchillas circulares, de modo que el papel pasa desde el rollo madre a través de las cuchillas al enrollador. Las cuchillas están ajustadas al ancho de corte requerido.

Los rollos de papel cortados se llevan a una estantería, situada al lado de la máquina de encintar.

El encintado de los conductores de cobre con el papel aislante se realiza en una máquina concebida para este fin. Los conductores aislados se enrollan en esta máquina en tambores de madera.

Una vez terminado el encintado, se llevan los tambores con los conductores aislados a las máquinas de fabricación de bobinas.



2.6.2 Fabricación de las bobinas.

La fabricación de las bobinas se efectúa en máquinas llamadas tornos, ya que éstas máquinas se parecen mucho al torno de mecanizado. Existen dos tipos de tornos, el vertical y el horizontal.

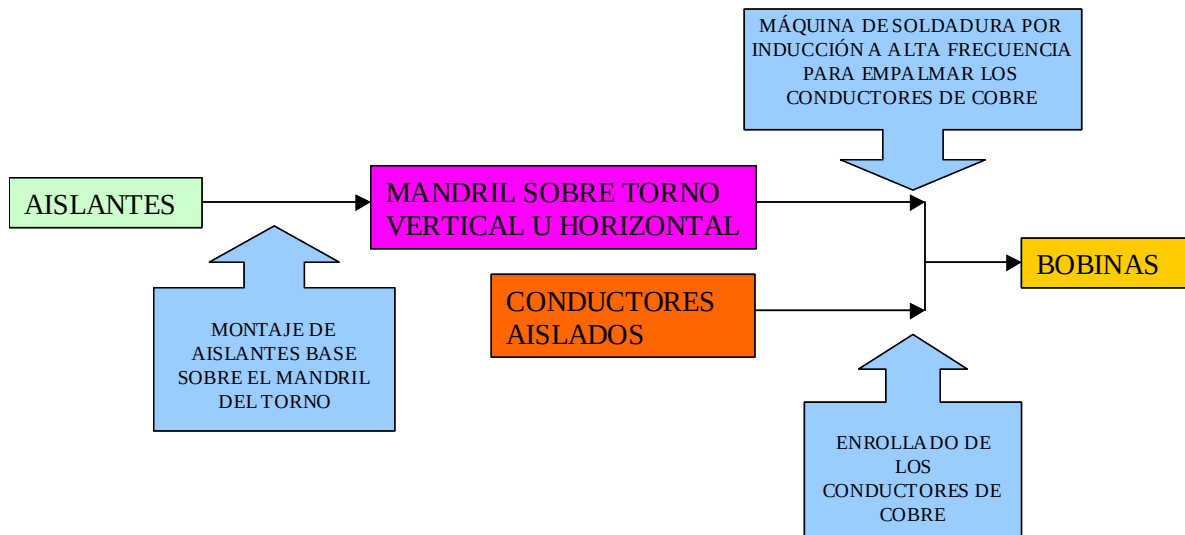
El torno vertical se utiliza para la fabricación de arrollamientos del tipo CD, SD y en algunas ocasiones para SLS.

El torno horizontal se usa para los demás tipos de arrollamientos.

El proceso consiste en montar un mandril extensible sobre el plato giratorio del torno. El mandril se ajusta al diámetro interior del cilindro soporte del arrollamiento. A continuación se monta el cilindro soporte sobre el mandril. Dicho mandril se abre hasta que el cilindro está apretado sobre el mandril. Tras

esta operación se desliza el aro de bloqueo sobre el cilindro. Después se montan las demás piezas aislantes sobre el cilindro según sea el tipo de arrollamiento. Terminada la preparación de piezas aislantes sobre el cilindro soporte, se comienza con el enrollado de los conductores de cobre. Finalizada esta operación, se saca la bobina del mandril mediante un puente grúa y se sitúa en una placa de acero, preparada para el transporte por grúa o por carretilla elevadora.

Todas las bobinas terminadas en los tornos se transportan al puesto de trabajo de compactado.



2.6.3 Compactado previo de las bobinas.

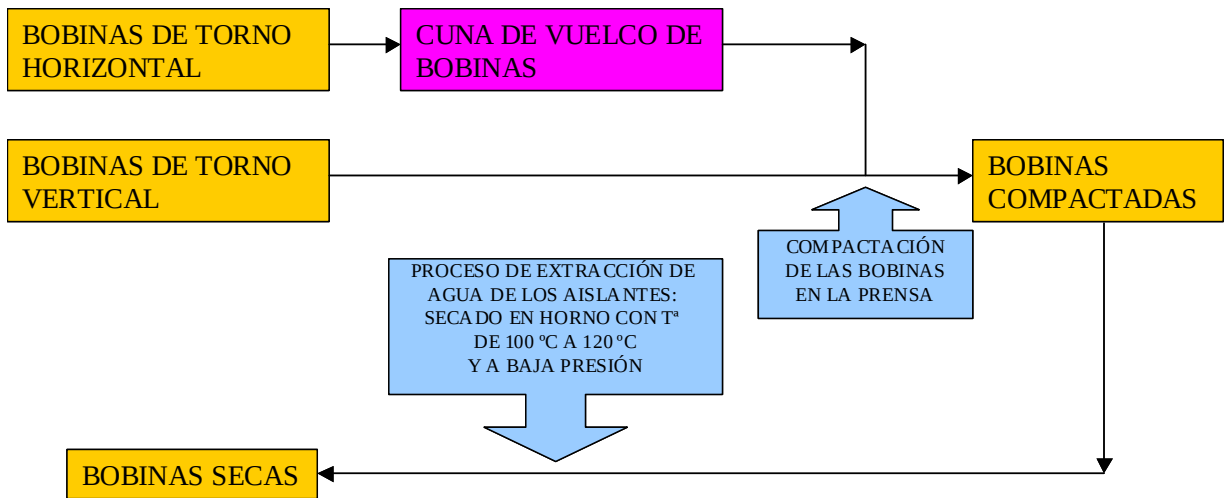
Todas las bobinas deben ser compactadas en sentido vertical y secadas. El compactado se realiza en dos etapas. Una antes del secado con una fuerza de compactado reducida y después del mismo con la fuerza de compactado final. El compactado se efectúa en una prensa de 4 columnas y de gran tonelaje. Sólo se compactan los conductores de cobre arrollados sobre el cilindro soporte. Para ello se introduce una bobina en la prensa y bajando el plato superior de la misma, se compacta la bobina vigilando la presión hidráulica de la prensa.

2.6.4 Secado de las bobinas.

Todas las bobinas se deben secar con el fin de extraer el agua existente en todas las piezas aislantes.

El secado se realiza en un horno a una temperatura de 100 °C a 120 °C y al vacío. El vacío es necesario para extraer los vapores de agua que se producen al calentar las piezas aislantes. Durante el proceso de secado se controla la temperatura, la presión en el interior del horno y la cantidad de agua extraída.

Terminado el proceso de secado se transportan las bobinas al puesto de trabajo de compactado.



2.6.5 Compacto final.

Las bobinas se introducen de nuevo en la prensa, aplicando la fuerza de compactado final. Al mismo tiempo se controla la altura de los arrollamientos. Ésta debe encontrarse en unos límites establecidos por la Ingeniería de Diseño. Si no se consigue la altura correcta, hay que añadir los conductores de cobre separadores o aros de ajuste, según el tipo de bobina, o quitar algunos de los existentes especialmente previstos para este fin.

Finalizado la operación de compactado final, se transportan las bobinas al puesto de montaje final.

2.6.6 Montaje final de piezas aislantes en las bobinas.

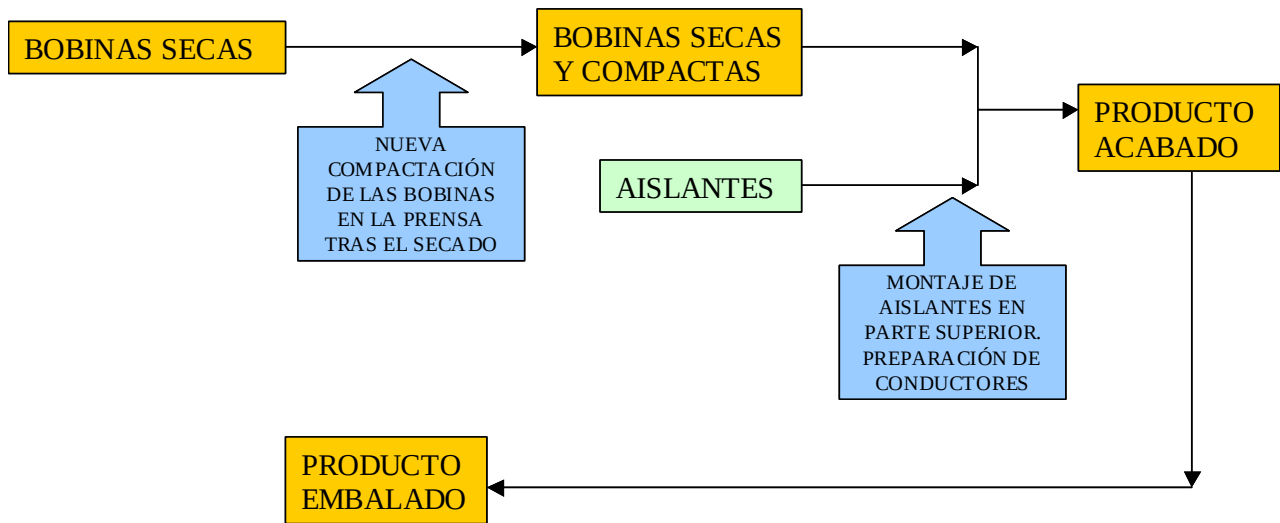
En este puesto de trabajo se montan las piezas aislantes en la parte superior de las bobinas, se preparan los conductores de salida en las partes inferior y superior con su aislamiento y se montan las pantallas de cierre alrededor de las bobinas, cuando estas lo llevan.

Finalizada la operación de montaje final, se transportan las bobinas al puesto de embalaje.

2.6.7 Embalaje de las bobinas.

Las bobinas se envuelven con paños de plástico que se cierran herméticamente con el fin de evitar que las piezas aislantes recuperen humedad. Después se las sitúan en cajas de madera que se cierran.

Desde este lugar se recogen las cajas de madera para transportarlas en camiones a la fabrica de transformadores.



2.7 Maquinaria e instalaciones necesarias.

A continuación se describe la maquinaria y las instalaciones necesarias para la fabricación competitiva con relación al coste y a la calidad. Se incluyen el espacio requerido para cada máquina o instalación, la potencia eléctrica, si es de accionamiento eléctrico o consume aire comprimido, en el caso de que sea necesario este tipo de energía. Igualmente se hace una estimación de coste de adquisición y de montaje.

Entre la maquinaria figuran los medios de transporte que hacen falta para mover los materiales y las bobinas a lo largo del proceso de fabricación.

Se hace la descripción de la maquinaria e instalaciones en el orden en el que se realiza el proceso de fabricación de las bobinas.

2.7.1 Máquina de corte de papel aislante

Esta máquina corta los rollos de papel aislante, que se reciben en carretes de 800 mm de ancho y 800 mm de diámetro exterior, a anchos comprendidos entre 5 y 12 mm.

Para cada conductor a aislar sólo hay un tipo de ancho establecido. No obstante, la máquina se puede preparar para cortar distintos anchos a la vez, de modo que se puede cortar en la mayoría de las veces todos los anchos que requieren los distintos tamaños de los conductores de un pedido de bobinas.

La máquina consta de un eje horizontal en el que se monta el rollo de papel a cortar. En dos ejes horizontales están situados las cuchillas circulares. Éstas se pueden ajustar al ancho de corte, moviéndolas a lo largo del eje. Otro eje horizontal enrolla las tiras de papel. La máquina está provista de un sistema de

tensado de papel, de modo se mantiene con precisión el ancho de corte y se consigue un enrollado compacto.

El espacio necesario para ésta máquina es de 1 metro de ancho por 1,2 metros de largo, con una altura de 1,70 metros.

La potencia eléctrica es de 5 kW a 380 V trifásico.

El coste de adquisición se sitúa en 42000 €.

2.7.2 Máquina de encintar conductores con papel aislante.

Se compone de tres elementos principalmente: desenrollador, conjunto de cabezales y enrollador.

Un tambor de madera con el conductor de cobre se monta en el desenrollador. El conductor de cobre pasa a través de los cabezales hasta el enrollador. En el enrollador se monta un tambor de madera vacío y se engancha el conductor. En cada cabezal se montan dos rollos de papel cortado al ancho necesario para el conductor a aislar. El comienzo de cada rollo de papel se pega con cola aislante en el conductor de cobre. Al poner en marcha la máquina, el enrollador arrastra el conductor de cobre a través de la máquina. Los cabezales, accionados por la máquina, giran los rollos de papel alrededor del conductor, consiguiendo el encintado del conductor en tantas capas de papel como se ha colocado rollos de papel en los cabezales. La velocidad lineal del conductor y las revoluciones de los cabezales van sincronizados para conseguir que el encintado de cada capa vaya a tope, es decir, sin solape.

El espacio necesario es de 15 metros de longitud y de 2,5 metros de ancho.

La potencia eléctrica es de 20 kW con corriente trifásica.

La carga de la máquina se realiza mediante grúa. El peso máximo es de 1500 kg.

El coste de adquisición se sitúa en unos 90.000 €.

Para empalmar los conductores durante la operación de encintado se necesita una máquina de soldadura a tope. Se trata de una máquina eléctrica con una potencia de 8 kW cuyo coste sería de 1200 €.

La carga y descarga de la máquina se realiza mediante grúa o polipasto con un peso máximo de 1000 kg.

2.7.3 Torno vertical de bobinar.

El torno vertical es necesario para los arrollamientos del tipo CD, SD y SLS porque se enrollan los conductores en discos, de forma que cada 2 discos hay que invertir el orden de las espiras, lo que en este torno se puede hacer con un solo operario, mientras en el torno horizontal se necesitan 2 operarios durante todo el proceso de fabricación de las bobinas.

El torno consta de un plato giratorio sobre el cual se monta el mandril para hacer las bobinas. El plato es accionado por un motor eléctrico de velocidad regulable. Este conjunto está montado en 4 columnas con el fin de subir y bajar

el plato a la altura de trabajo necesario. El torno está montado en un foso, de modo que se trabaja a nivel del suelo de la nave.

Un tensor de conductores, instalado delante del torno, para un enrollado compacto de las bobinas y un soporte de tambores con los conductores completan ésta instalación.

El espacio necesario para todo el conjunto es de 12 metros de longitud y de 4 metros de ancho

La potencia eléctrica del torno es de 45 kW con corriente trifásica.

El coste de adquisición es de 240.000 €.

El tensor se acciona mediante aire comprimido de bajo consumo.

El coste del tensor es de 3.600 €.

Los frenos del soporte de tambores se accionan mediante aire comprimido de bajo consumo.

El coste del soporte de tambores es de 9.000 €.

La carga de los tambores de conductores con un peso máximo de 1500 kg , el montaje del mandril con peso máximo de 1300 kg y la descarga del torno con un peso máximo de 5000 kg se realiza con un puente grúa.

2.7.4 Torno horizontal de bobinar.

Este torno se utiliza para los tipos de arrollamiento SLL, L, S y SLS, que se pueden realizar con un solo operario.

Consta de un plato giratorio horizontal que está montado junto a una caja soporte en cuyo interior se encuentran un sistema de engranajes y el motor eléctrico de accionamiento. Un contrapunto está situado en una bancada enfrente del plato. Entre el plato y el contrapunto se monta el mandril. Un tensor de conductores y un soporte de tambores forman parte de ésta instalación.

El espacio necesario para todo el conjunto es de 12 metros de longitud y de 4 metros de ancho

La potencia eléctrica del torno es de 25 kW. El coste de adquisición se sitúa en unos 90.000 €.

El tensor se acciona mediante aire comprimido de bajo consumo. El coste del tensor es de 6.000 €. Los frenos del soporte de tambores se accionan mediante aire comprimido de bajo consumo. El coste del soporte de tambores es de 9.000 €.

La carga de los tambores de conductores con un peso máximo de 1500 kg. , el montaje del mandril con peso máximo de 1300 kg. y la descarga del torno con un peso máximo de 5000 kg. se realiza también con un puente grúa.

2.7.5 Cuna de vuelco de bobinas.

Las bobinas que salen de los tornos horizontales hay que ponerlas en posición vertical. Esta operación se realiza en una cuna de vuelco que consta de dos plataformas situadas una perpendicular a la otra. La plataforma, donde se encuentra la bobina en sentido vertical después del giro, está instalada a nivel del suelo de la nave. Aunque el accionamiento de la cuna es hidráulico, la

acometida es eléctrica. El espacio necesario de la cuna es de 5,5 metros por 2 y por 7 metros.

La potencia eléctrica es de 15 kW.

El coste es de unos 48.000 €.

2.7.6 Prensa de compactado de las bobinas.

Se trata de una prensa de 4 columnas verticales montadas sobre una plataforma inferior. La plataforma superior se mueve en sentido vertical, accionado por un motor eléctrico. Debajo de la plataforma superior se encuentra otra plataforma, guiada por las 4 columnas y acoplada a la anterior mediante un cilindro hidráulico de poco recorrido.

Para el compactado de las bobinas, se introduce una bobina en la prensa, aproximando el conjunto de plataformas superiores a la bobina. La plataforma inferior de este conjunto realiza la operación de compactado mediante la fuerza del cilindro hidráulico. El grupo hidráulico está instalado en la prensa y accionado por un motor eléctrico. La fuerza de compactado máximo es de unas 150 toneladas.

El espacio necesario para esta prensa es de 3 metros por 3 metros.

La potencia total instalada es de 20 kW. El coste de esta prensa es 360.000 €.

La colocación de las bobinas en la prensa se realiza mediante carretilla elevadora o mediante una carretilla dotada de colchones de aire. El peso máximo es el de las bobinas.

2.7.7 Horno de secado de las bobinas.

Este horno tiene la misión de extraer la humedad contenida en las piezas aislante que éstas han absorbido en el ambiente de la nave durante el proceso de fabricación de las bobinas. El horno debe ser capaz de extraer prácticamente la totalidad de la humedad contenida en las piezas aislantes. Esto se consigue mediante el calentamiento de los aislantes en el horno a una temperatura de 100 °C a 120 °C, haciendo al mismo tiempo vacío en el horno para extraer los vapores de agua. El calor se aporta mediante aceite caliente que circula en tubos situados en las paredes, techo y suelo en el interior del horno. Este aceite se calienta en una caldera situada en el exterior de la nave de fabricación. Las bombas de vacío están instaladas en lo alto del horno. Estas deben ser capaces de alcanzar una presión de 0,2 Torr. La carga y descarga de las bobinas se realiza a nivel del suelo mediante una vagoneta que entra en el horno. La puerta del horno puede abrirse mediante bisagras o por desplazamiento lateral.

El espacio necesario para el horno es de 6 metros de ancho por 10 metros de largo. La potencia eléctrica es de 50 kW. La potencia de la caldera es de 120 kW. El coste del horno se sitúa en 1.200.000 € y tan sólo hay dos fabricantes europeos con la tecnología necesaria.

2.7.8 Máquinas de soldadura por inducción a alta frecuencia.

Estas máquinas permiten soldar mediante la aportación de una aleación de plata los conductores de cobre a tope, para empalmarlos de forma rápida y eficiente en espacio reducido. No son de instalación fija. Se usan en los tornos de bobinar.

El espacio necesario es de 1 metros de ancho por 1,5 metros de largo.

La potencia eléctrica es de 12 kW.

El coste del equipo de soldadura es de 42.000 €.

3 Capacidad de fabricación y plantilla.

La capacidad de fabricación necesaria para atender a la demanda del mercado define la cantidad de cada tipo de máquina e instalaciones necesarias, así como y el número de los demás puestos de trabajo. Con los tamaños necesarios para cada uno de ellos, se puede definir el ancho, la longitud y la altura de la nave de fabricación.

Para definir la capacidad de fabricación se cogen las potencias de los transformadores y la cantidad de ellos más frecuentemente fabricados en los últimos años. Los tiempos de fabricación de las bobinas para cada potencia y las horas de trabajo posibles por año en dos relevos permiten definir el número de cada tipo de máquina e instalación y los demás puestos de trabajo

Asimismo se ha tenido en cuenta las horas de trabajo anuales que puede llevar a cabo el personal directo en una máquina o un puesto de trabajo en días laborales. Todo ello se representa en las tablas siguientes:

Días / año	365
Sábados y Domingos	102
Vacaciones anuales (días laborales)	21
Fiestas legales	14
Días laborales	228
Horas de trabajos en 2 turnos	3648

Tiempos de fabricación por potencia del transformador y número de transformadores por año:

MVA	Cantidad	Total MVA	Tornos	Compactado previo	Secado	Compactado final	Montaje de aislantes	Embalaje
200	5	1000	4514	30	600	120	720	36
150	6	900	3611	36	576	144	480	24
100	7	700	3370	42	672	168	384	19
75	8	600	2889	48	576	144	288	14
50	10	500	3009	60	720	120	240	12
20	12	300	2889	72	576	72	192	10
Horas totales			20281	288	3720	768	2304	115
Nº de tornos			5,6					
Nº de instalación de secado					1			
Prensa de compactado				0,5		0,5		
Área montaje aislantes							1	
Área de embalaje								1

El espacio necesario para cada tipo de torno y de instalación ha sido reflejado previamente. A este espacio hay que añadir aquel que se precisa para estanterías, mesas de trabajo, almacenamiento temporal de material y servicios generales, tales como oficinas, mantenimiento, vestuarios, duchas y aseos.

Espacio necesario para las áreas que no han sido definidos todavía son:

- Área de montaje de aislantes: 11 metros de ancho por 14 metros de longitud.
- Área de embalaje: 11 metros de anchos por 14 metros de longitud.
- Área de servicios generales: se define un área adjunta a la nave principal de 44 metros por 5 metros, donde se incluyen las oficinas, el área de mantenimiento, vestuarios, duchas y aseos.

En cuanto a la plantilla:

Puesto de trabajo	Nº de operarios por día	
	1º Turno	2º Turno
Máquina de corte de papel aislante	1	
Máquina de encintar conductores de cobre	1	1
Torno vertical 1	1	1
Torno vertical 2	1	1
Torno vertical 3	1	1
Torno horizontal 1	1	1
Torno horizontal 2	1	1
Torno horizontal 3	1	1
Compactado previo de las bobinas		
Secado de las bobinas	2	2
Compactado final de las bobinas		
Montaje de aislantes		
Total operarios por turno	10	9
Subtotal empleados directos	19	
EMPLEADOS INDIRECTOS		
Servicio de mantenimiento	1	1
Inspectores de calidad	1	1
Maestros	1	1
Responsable de planta	1	
Subtotal empleados indirectos	7	
TOTAL PLANTILLA	26	
Plantilla 1º turno	14	
Plantilla 2º turno	12	