

# IMEFY

## GROUP



## Transformadores de Potencia

Hasta 160 MVA | Hasta 245 kV

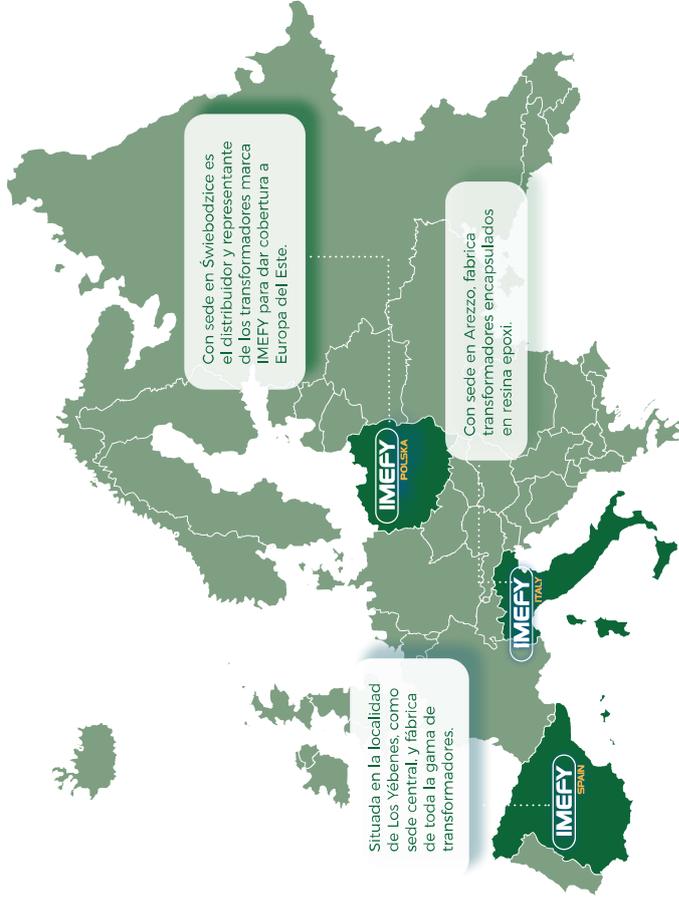
**We transform energy**

---

# Transformadores

## de potencia

Introducción	3
Diseño	4
Nivel de ruido	8
Fabricación	10
Control de materias primas	16
Bornas	16
Accesorios principales	17
Ensayos	18



## Introducción

Desde su fundación en 1973 como empresa dedicada a la fabricación de transformadores de distribución en líquidos dieléctricos, IMEFY, ha tenido una trayectoria de continuo desarrollo, tanto tecnológico como de expansión, convirtiéndose en referente mundial como fabricante de una amplia gama de transformadores, que incluyen:

- Transformadores de potencia medianos sumergidos en líquidos dieléctricos desde una potencia de 50kVA y nivel de aislamiento 1,1 kV hasta una potencia de 3150 kVA y nivel de aislamiento 36kV.
- Transformadores de potencia grandes sumergidos en líquidos dieléctricos desde una potencia de 3150 kVA hasta 160 MVA y nivel de aislamiento de 245 kV.
- Transformadores de potencia medianos encapsulados en resina (secos) desde una potencia de 10 kVA y nivel de aislamiento 1,1 kV hasta una potencia de 3150 kVA y nivel de aislamiento de 36 kV.
- Transformadores de potencia grandes encapsulados en resina (secos) desde una potencia superior a 3150 kVA hasta potencia de 6MVA y nivel de aislamiento hasta 36 kV.

Esta gama de productos cumple los requisitos legales establecidos por el Reglamento (UE) N° 548/2014 de la Comisión Europea de 21 de mayo de 2014, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE, así como con el Reglamento (UE) 2019/1783 de la Comisión Europea de octubre 2019 que modifica el Reglamento (UE) N° 548/2014.

Estos requisitos legales son aplicables, cuando los transformadores son comercializados dentro del ámbito del alcance del Reglamento; es decir, todos los países de la UE que ratifican el mismo.

Uno de los sellos distintivos de IMEFY es la consecución de altos estándares de calidad y fiabilidad en toda su gama de fabricación, disponiendo para ello de

Algunos de nuestros clientes:



Nuestros certificados:



personal cualificado para el diseño, fabricación, control de procesos y ensayo de productos terminados y de un servicio post-venta para el seguimiento en la satisfacción del cliente.

Todo lo expuesto, unido a una política interna de respeto al Medio Ambiente y la Sostenibilidad, así como la priorización en el bienestar y Salud Laboral de nuestro personal, ha conseguido que IMEFY obtenga el reconocimiento y confianza de sus clientes permitiendo la expansión en todo el mundo.

Por último IMEFY, atendiendo al Plan Estratégico de su organización, mantiene su sistema de gestión y calidad basado en la mejor continua, apoyándose en los pilares de la voz del cliente, el análisis y mejora de procesos y el desarrollo de nuevos productos (I+D+i).

Atendiendo a las diferentes tipologías de transformadores de potencia grandes, IMEFY tiene la capacidad, los medios y la experiencia para fabricar Transformadores y Auto-transformadores, tanto monofásicos a dos y tres columnas, como trifásicos a tres y cinco columnas destinados a aplicaciones como:

- Distribución.
- Generación.
- Tracción.
- Rectificadores.
- Hornos.
- Huecos de tensión, etc.

Cualquiera de estas tipologías de transformadores o auto-transformadores puede disponer de:

- Conmutador en vacío (lineales o rotativos).
- Conmutador bajo carga con tecnologías de conmutación bajo vacío o en aceite y con configuración positiva (regulación fina o regulación gruesa más fina) o configuración en inversión.

## Diseño

El diseño es el primer y más crítico hito para el inicio de la construcción de un transformador de potencia grande. Para la realización del mismo es necesario el estudio minucioso de los requisitos para el adecuado reconocimiento de los parámetros fundamentales del transformador a construir.

El diseño consta de varias partes totalmente identificadas e interrelacionadas entre si:

Así tenemos:

- Diseño electromagnético.
- Diseño térmico.
- Diseño mecánico.
- Nivel de ruido.

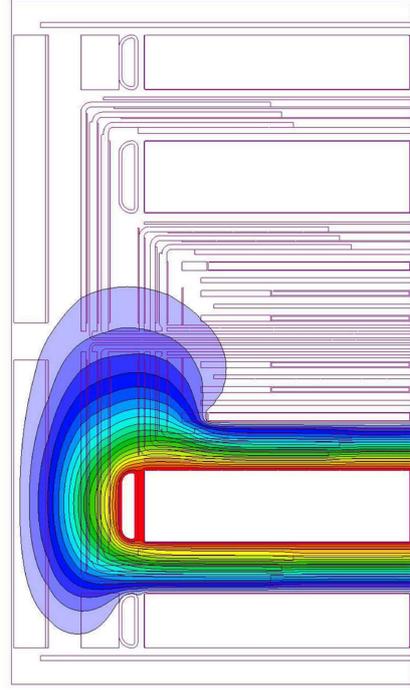
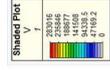
## Diseño electromagnético

En primer lugar se identifican los parámetros fundamentales como son:

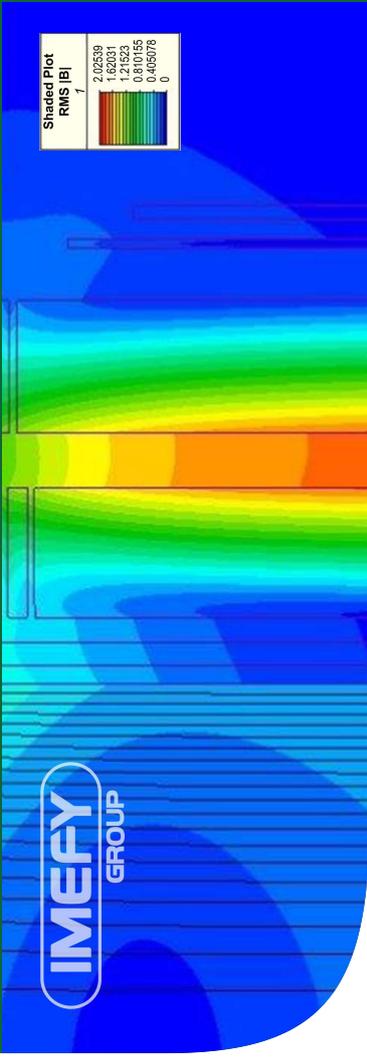
- Potencia.
- Relación de transformación.
- Impedancia de cortocircuito.
- Pérdidas en vacío.
- Pérdidas en carga.

Una vez identificados y conseguidos estos parámetros es necesario la realización del análisis del comportamiento dieléctrico mediante el estudio de los siguientes fenómenos:

- Comportamiento de la parte activa ante los diferentes ensayos a superar analizando la distribución del campo eléctrico y fenómenos dieléctricos en los materiales utilizados.
- Estudio de sobretensiones transferidas entre arrollamientos y efectos de las mismas.
- Estudio de distribución de tensión entre las diferentes partes de los arrollamientos en los casos de impulsos tipo descargas atmosféricas, etc.



Análisis dieléctrico por método de elementos finitos (FEM)



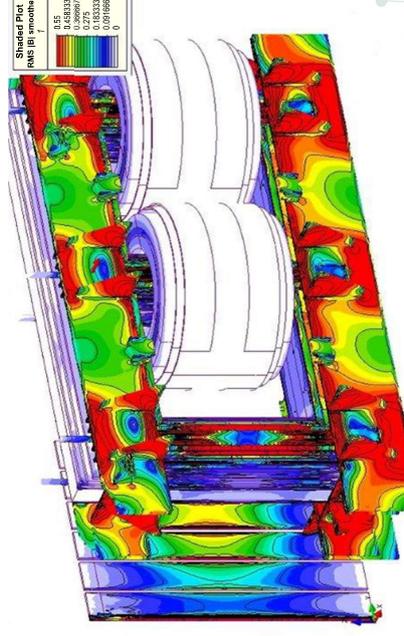
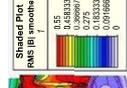
Análisis electromagnético 2D (FEM)

Con todo esto conseguimos, la definición de la geometría del transformador, tipología de los arrollamientos, materiales y disposiciones ideales.

De forma simultánea se realizan los análisis del comportamiento electromagnético.

Así tenemos:

- Estudio del comportamiento del circuito magnético y distribución del flujo magnético en el transformador.
- Estudio de pérdidas adicionales en los arrollamientos y distribución en los mismos (enlazado con diseño térmico).
- Estudio de pérdidas suplementarias en partes metálicas y necesidades de cambio de tipología de material y disposiciones de las mismas (enlazado con diseño térmico).
- Estudio de puntos calientes en arrollamientos (enlazado con diseño térmico).
- Comprobación de aptitud térmica de la cuba (enlazado con diseño térmico).
- Estudio de esfuerzos en los arrollamientos y partes estructurales internas debido al cortocircuito (monofásico, bifásico, trifásico) en el transformador, asegurando la aptitud sobre el mismo (enlazado con diseño mecánico).



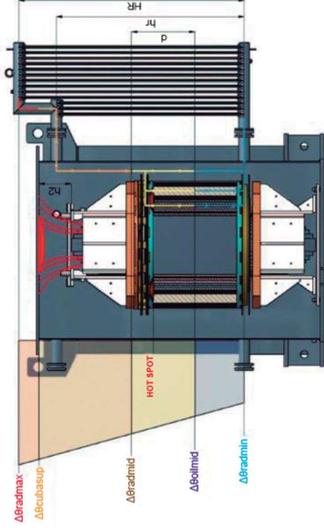
Análisis electromagnético 3D (FEM)

### Diseño térmico

Se realiza una vez definido y estudiado el diseño electromagnético.

El análisis del diseño térmico considera:

- Cálculo de sobre-temperatura de los conductores sobre el líquido refrigerante.
- Cálculo de la distribución térmica del líquido refrigerante en el tanque y extracción del gradiente medio sobre el ambiente.
- Cálculo y dimensionado del sistema de refrigeración en las siguientes posibilidades de configuración:



Análisis térmico

### Tipos de refrigeración disponibles para los transformadores de potencia grandes

1ª letra	2ª letra	3ª letra	4ª letra
Medio de refrigeración que está en contacto con los devanados.		Medio de refrigeración que está con el sistema de refrigeración externo.	

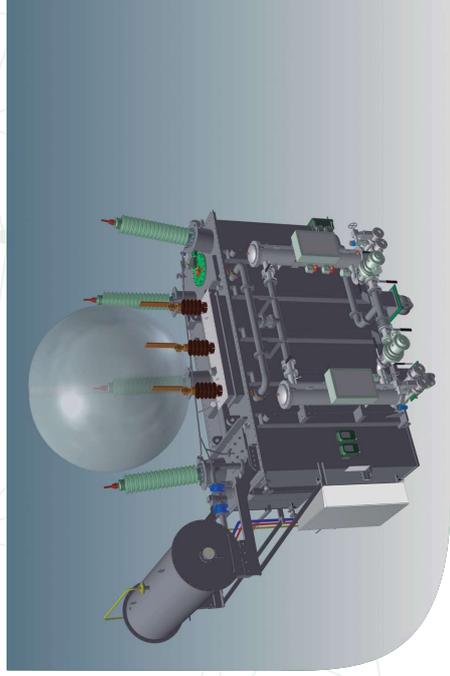
\* O - Aceite | K - Ésteres | A - Aire | W - Agua | N - Natural | F - Forzado | D - Dirigida

Designación	Tipo de medio	Tipo de refrigeración	Tipo de medio	Tipo de refrigeración
ONAN	(ON)	Refrigeración de aceite natural	(AN)	Refrigeración de aire natural (radiadores)
ONAF	(ON)	Refrigeración de aceite natural	(AF)	Refrigeración por aire forzado (refrigeradores con ventilador, aeroterma)
KNAN	(KN)	Refrigeración de éster natural o sintético natural	(AN)	Refrigeración de aire natural (radiadores)
KNAF	(KN)	Refrigeración de éster natural o sintético natural	(AF)	Refrigeración por aire forzado (refrigeradores con ventilador, aeroterma)
OFAN	(OF)	Refrigeración de aceite forzada (Bombas de aceite)	(AN)	Refrigeración de aire natural (radiadores)
OFAF	(OF)	Refrigeración de aceite forzada (Bombas de aceite)	(AF)	Refrigeración por aire forzado (refrigeradores con ventilador, aeroterma)
ODAF	(OD)	Refrigeración de aceite dirigida (Bombas de aceite)	(AF)	Refrigeración por aire forzado (refrigeradores con ventilador, aeroterma)
OFWN	(OF)	Refrigeración de aceite forzada (Bombas de aceite)	(WN)	Refrigeración de agua natural (Intercambiador de agua no impulsada)
OFWF	(OF)	Refrigeración de aceite forzada (Bombas de aceite)	(WF)	Refrigeración de agua forzada (Intercambiadores de agua impulsada)

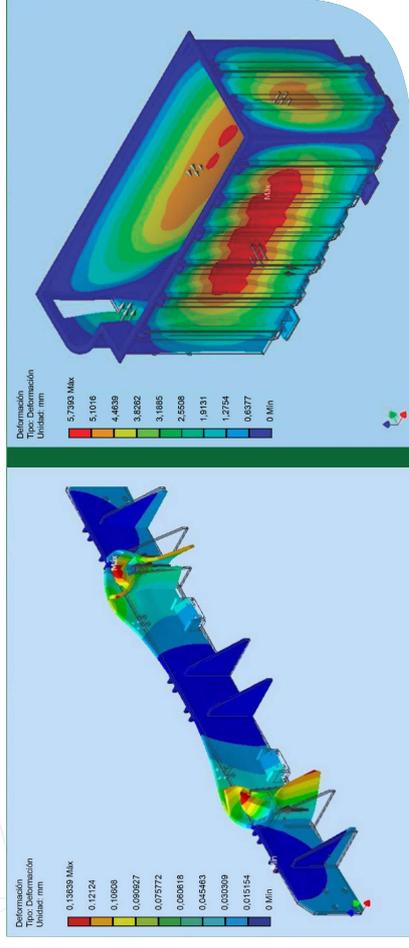
### Diseño mecánico

Se realiza una vez definidos y estudiados los diseños electromecánico y térmico, pudiendo así analizar y desarrollar:

- Diseño y comprobación mediante herramientas de elementos finitos (en adelante FEM) de armaduras internas considerando la minimización de pérdidas suplementarias y asegurando la aptitud ante el cortocircuito del transformador.
- Diseño y comprobación FEM del tanque y sus elementos estructurales ante vacío y sobre-presión, así como radiadores y elementos de elevación.
- Comprobación de interferencias: ensambles, distancias eléctricas al aire.



Comprobación distancias mínimas de aislamiento en el aire



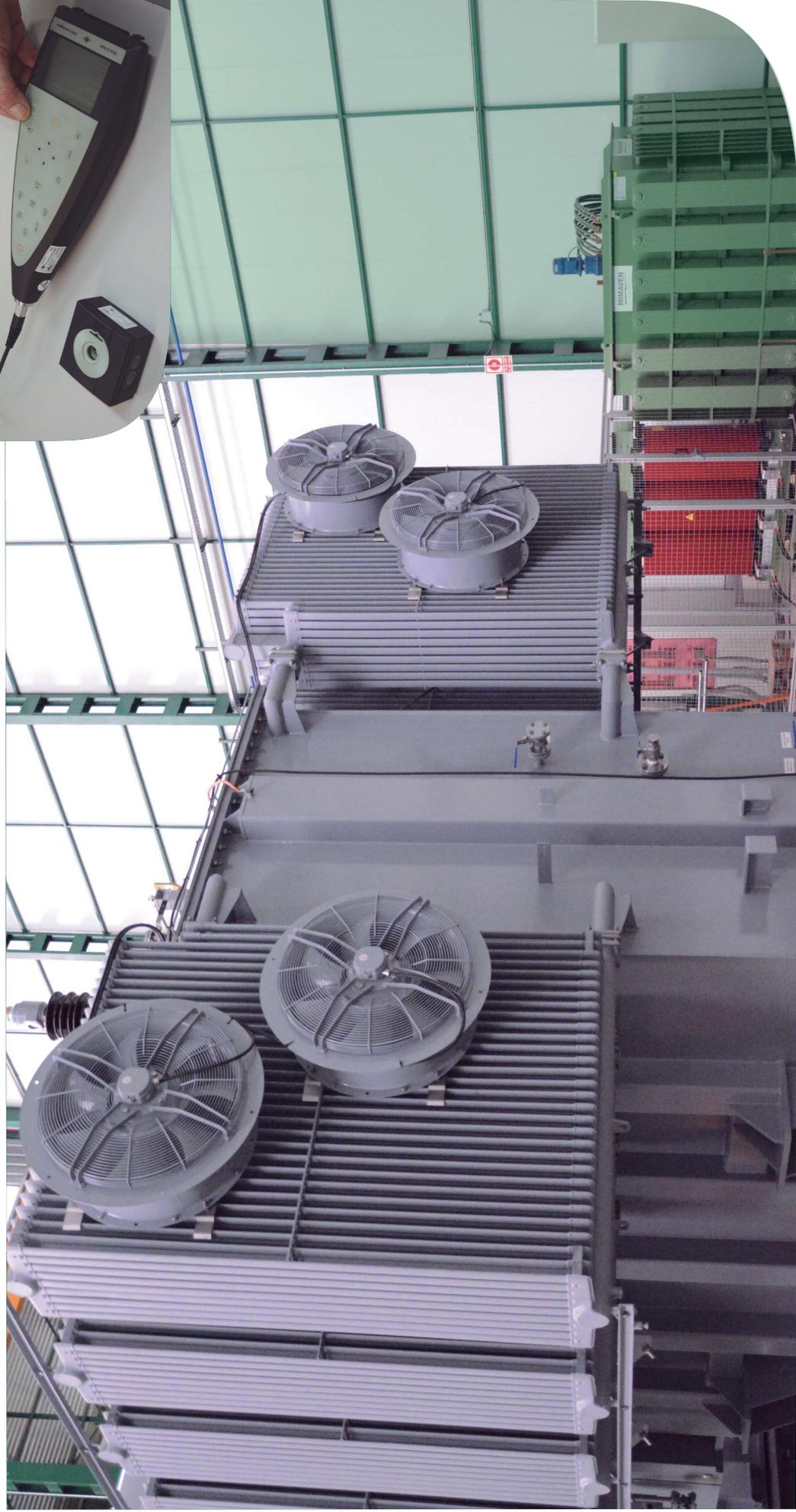
Análisis estructural armaduras (FEM)

Análisis estructural tanque (FEM)

## Nivel de ruido

Finalizado el diseño mecánico y teniendo en cuenta el sistema de refrigeración considerado, se procede a la verificación del cumplimiento del nivel de ruido solicitado, atendiendo a los siguientes factores:

- Geometría, método de fabricación y calidad del circuito magnético.
- Inducción de trabajo del transformador.
- Nivel de ruido de elementos exteriores relativos a sistemas de refrigeración como ventiladores, bombas, etc.
- Altura y perímetro del transformador.



## Fabricación

Terminado el diseño global y contando con las especificaciones adecuadas de cada componente se inicia el desarrollo de la fabricación atendiendo a los siguientes hitos:

- Núcleo
- Bobinados
- Montaje
- Tratamiento de la parte activa.
- Llenado, tratamiento e impregnación con líquido dieléctrico.
- Operaciones finales.

### Núcleo

El núcleo magnético está construido con dos, tres o cinco columnas de sección circular y culatas planas.

Está fabricado con chapa de acero al silicio de grano orientado, laminado en frío de bajas pérdidas específicas.

El sistema elegido para el montaje del núcleo es el conocido como step-lap a fin de reducir al mínimo, tanto las pérdidas como la corriente de vacío y contribuir durante el funcionamiento del transformador a reducir el nivel de ruido.

Para ello, se dispone de máquinas de corte de chapa magnética de alta precisión con sistemas automáticos de control.

Los núcleos magnéticos se disponen en armaduras metálicas diseñados para soportar las sollicitaciones mecánicas debidas a posibles esfuerzos de cortocircuito, así como mantener la correcta posición del circuito magnético con el fin de reducir el nivel sonoro y al mismo tiempo para mitigar el efecto del flujo de dispersión de la parte activa sobre los mismos.

“

*Utilizamos el sistema step-lap para el montaje del núcleo, con el fin de reducir pérdidas, corriente de vacío y nivel de ruido durante el funcionamiento.*



Núcleo



Máquina de corte de chapa magnética



Máquina bobinadora de potencia

## Bobinados

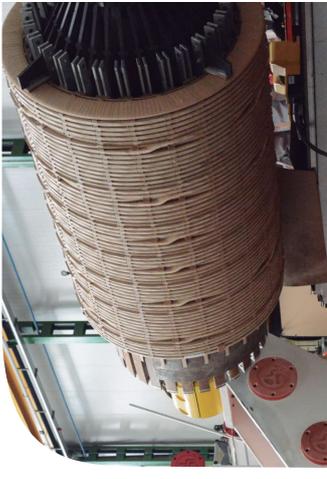
Los arrollamientos del transformador, primario, secundario y posible terciario, pueden estar formados cada uno, por uno o más bobinados pudiendo ser contruidos cada uno de ellos con las siguientes metodologías:

- Hélice continuo
- Hélice interleafed
- Hélice con distanciadores radiales
- Capas
- Capa con distanciadores radiales
- Disco continuo
- Disco interleafed
- Disco con separadores axiales.

La materia prima que se utiliza para la fabricación de los bobinados es de cobre principalmente, bajo solicitud del cliente y atendiendo a las características del transformador, también pueden ser de aluminio. Se utilizan aislantes de primera calidad preservados adecuadamente en una sala climática con temperatura y humedad controladas. La materia prima puede atender a las siguientes disposiciones:

- Pletina sencilla (Single).
- Cable binado (Twin).
- Cable ternado.
- Cable transpuesto (CTC).

Para la fabricación de estos bobinados IMEFY dispone de máquinas bobinadoras con mandriles extensibles capaces de voltear bobinas de hasta 2000mm de diámetro y 5000mm de longitud. Cada una de ellas incorpora bastidores para fijación de carretes de materia prima con hasta 32 ejes con sus respectivos frenos independientes y correcto tensionado de los conductores, muy útil para realizar bobinados de regulación en hélice interleafed.



Bobina de B.T. en disco continuo

## Núcleo

Finalizadas las operaciones de montaje de circuito magnético (salvo culata superior) y realizadas todas las bobinas de los arrollamientos, se procede de la siguiente forma secuencial:

- Montaje de los bobinados siguiendo las pautas operativas de las especificaciones técnicas y asegurando siempre que el material aislante esté en las condiciones climáticas de humedad y temperatura adecuadas en el momento del montaje, extrayendo el material de la cámara climática.
- Tratamiento térmico y mecánico de bobinado y fases completas simultáneo, para alcanzar las dimensiones nominales calculadas y asegurar el correcto comportamiento de las mismas ante el cortocircuito.
- Preparación del circuito magnético para recibir las fases completas en sus columnas.
- Una vez introducidas las bobinas en las columnas se procede al cierre superior del circuito magnético, posterior montaje de la tapa del transformador y por último al conexionado interno del mismo, atendiendo a especificación técnica completa precisa y sometido a un seguimiento y control exhaustivo.



Tratamiento mecánico

We transform energy



Cámara climática



Parte activa del transformador



Vapour Phase

### Tratamiento de la parte activa

Validada la parte activa es necesario extraer la humedad del sistema aislante de la misma; para ello IMEFY dispone de una planta de secado mediante impregnación por queroseno a altas temperaturas y bajas presiones (Vapour Phase).

El tratamiento del sistema Vapour Phase consiste en fases alternativas de calentamiento (hasta 125°C) y evaporación (hasta 20 milibares aproximadamente) que extraen junto al queroseno, el agua de la parte activa, realizando un control continuo de la cantidad extraída por peso de aislante y tiempo.

Los parámetros que afectan al sistema de secado Vapour Phase son:

- Potencia del transformador (tamaño).
  - Nivel de aislamiento.
  - Peso del aislante.
  - Configuración y geometría del transformador.
- Extraída la parte activa de la planta de tratamiento de secado (Vapour Phase) se lleva a cabo el reapretado de la misma en base a las solicitaciones previstas para el transformador ante un cortocircuito.
- Una vez realizado el reapretado de la parte activa las siguientes comprobaciones finales son:
- Pares de apriete.
  - Resistencia del aislamiento del circuito magnético-armaduras.
  - Inspección visual.
  - Verificación de la continuidad entre partes metálicas.

Después se procede al encubado de la parte activa en la cuba del transformador que ha sido previamente habilitada para ello.

“ IMEFY dispone de una planta de secado mediante impregnación por queroseno a altas temperaturas y bajas presiones (Vapour Phase).

### Llenado, tratamiento e impregnación con líquido dieléctrico

Encubada y sellada la parte activa se somete la cuba del transformador a vacío absoluto. Una vez estabilizado el vacío se procede al llenado del transformador con el líquido dieléctrico que aplique en estas condiciones.

El líquido dieléctrico es sometido a un tratamiento de filtrado hasta conseguir los parámetros adecuados que están definidos en especificación.

Terminada la fase de tratamiento de líquido dieléctrico se somete al transformador a un proceso de impregnación acelerada que consiste en someterlo a una presión de dos veces su altura durante un tiempo establecido.

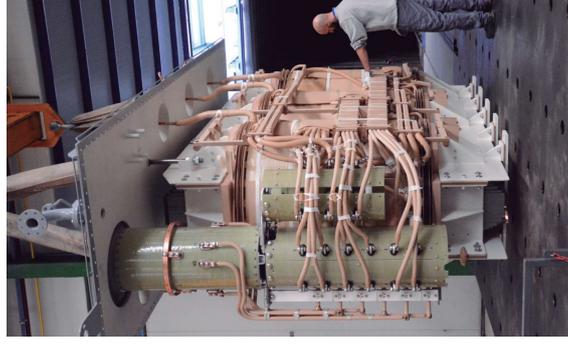
### Operaciones finales

El último paso en la conclusión del transformador es la finalización del montaje de accesorios y protecciones y su adecuado conexionado al armario de centralización de señales.

Una vez realizados estos trabajos el transformador queda listo para introducir en la plataforma de ensayos.



Tratamiento líquido dieléctrico



Tratamiento en Vapour Phase

## Control de materias primas

IMEFY dispone de la metodología y equipamiento necesario para la gestión de la recepción de la materia prima, a fin de garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas previamente establecidas.



Medidor de conductores



Medidor de tracción

## Bornas

Los transformadores de potencia grandes pueden incorporar bornas con los siguientes tipos de conexiones:

- Convencionales (pasatapas abierto).
- Enchufables (pasatapas enchufable).
- Aisladores A.T. con aislamiento en SF6.

Los materiales empleados para su fabricación son los siguientes:

- Seco (encapsulados en resina), enchufable.
- Porcelana.
- Polimérica.



Borna doble o cuádruple enchufable

Borna A.T en SF6

Borna polimérica

Borna porcelana

## Accesorios principales

La mayor parte de los accesorios instalados en cualquier transformador de potencia, tienen como objeto la protección del mismo frente a situaciones de riesgo relacionadas con:

- Aumento excesivo de temperatura aceite o devanados; para proteger al transformador se utilizan frecuentemente dispositivos como:
  - Termómetro.
  - Termostato.
  - Imagen térmica.
  - Sistemas de medición directa de temperatura en los arrollamientos mediante sondas de fibra óptica.
- Aumento de presión en el interior del tanque principal o en cuerpo del conmutador en carga; las protecciones habituales son:
  - Válvula sobrepresión tanque principal.
  - Posibilidad de montaje válvula sobre-presión para cuerpo conmutador en carga (siempre protegido por membrana mecánica).
- Exceso o defecto de nivel de aceite en el depósito conservador; para la protección de este riesgo lo habitual es utilizar:
  - Indicador de nivel magnético de líquidos dieléctricos.
- Preservación de grandes cantidades de gas en el interior del tanque principal o cuerpo del conmutador; las protecciones habituales son:
  - Relé Buchholz para tanque principal.
  - Relé RS-2001 para conmutador en carga.
- Aumento de humedad y/o generación nivel de gas; las protecciones habituales son:
  - Desecadores o deshidratadores de humedad, tanto convencionales como de regeneración automática.
  - Dispositivos de monitorización continua de concentración de gases (metano, acetileno, etino, etano, hidrogeno, etc) y cantidad de agua.
  - Separadores flexibles para aislamiento total del líquido dieléctrico con respecto al ambiente.

Otros dispositivos, utilizados habitualmente en los transformadores de potencia con la finalidad de aumentar sus prestaciones tanto en el ámbito para la adaptación de condiciones a las instalaciones así como de la centralización de la señalización y seguimiento del mismo son:

- Dispositivos de centralización de alarmas y medidas de tensión e intensidad (transformadores de medida) para indicar a distancia u online.
- Equipo para la regulación automática de tensión a través de dispositivos conectados al conmutador en carga (AVR).
- Soportes para la colocación de protecciones auto-valorales, así como suministros de los mismos cuando es necesario.
- Sistema de seguridad (línea de vida) según requisitos internos o especificaciones propias del cliente.



Temperatura del devanado



Conmutador en carga

## Ensayos

### Individuales según IEC 60076

Ensayos efectuados sobre cada transformador tomado individualmente.

- Medida de la resistencia de los arrollamientos.
- Medida de la relación de transformador y verificación del grupo de conexión.
- Medida de la impedancia de cortocircuito y pérdidas debido a la carga.
- Medida de las pérdidas y de la corriente en vacío.
- Ensayo de tensión aplicada a frecuencia industrial.
- Ensayo de tensión inducida con medidas de las descargas parciales, cuando así se requiera.
- Ensayo de impulso tipo rayo Um>72.5kV.
- Ensayo de cambiador de tomas en carga, cuando así se requiera.
- Ensayo de comprobación de polaridad y relación de los TI.
- Ensayo del aislamiento del núcleo, cuba y vigas.
- Ensayo de funcionamiento de accesorios.
- Comprobación dimensional (sobre plano).
- Ensayo de fugas por presión (ensayo de estanqueidad).
- Ensayo en el aceite (físico-químicos y cromatográficos).

### Tipo según IEC 60076

Ensayos efectuados sobre un transformador que es representativo de otros transformadores para demostrar que estos cumplen con las condiciones especificadas que no son controladas por los ensayos individuales.

- Ensayo de calentamiento con medida termográfica.
- Ensayo dieléctrico de tipo:
  - Ensayo de impulso Ums 72.5kV.
  - Ensayo de impulso cortado en la cola.
  - Ensayo de impulso tipo rayo cortado.
- Ensayo de tensión inducida de corta o larga duración, según características del transformador con medida de descargas parciales.
- Ensayo de la determinación del nivel de ruido.
- Ensayo de la pintura.
- Ensayo de sobrepresión.
- Medida de la potencia absorbida por ventiladores y bombas, si aplica.

“ Para cada proyecto de transformador de potencia se realizarán planes de ensayos basados en la normativa específica de cada cliente y atendiendo siempre a la referencia de la normativa IEC.



Plataforma para ensayos de potencia



Sistema de tensión aplicada



Sistema de impulso tipo rayo



Analizador FRA



Analizador capacidad y tg  $\delta$



Analizador resistencia de aislamiento

## Especiales

Ensayos diferentes a un ensayo de tipo o un ensayo individual, definido por acuerdo entre fabricante y comprador.

- Determinación de capacidad de devanado a tierra y entre devanados.
- Medida del factor de potencia y capacidad del sistema (tg  $\delta$ ).
- Medida de la impedancia homopolar.
- Medida de la resistencia de aislamiento en los arrollamientos.
- Medida de FRA.
- Medida de los armónicos de corriente en vacío.
- Ensayo de punto de rocío.
- Medida termográfica durante el ensayo de calentamiento.
- Medida de la rigidez dieléctrica a 2.000V en el cuadro de conexiones.
- Medida de constante de tiempo en tensión de reabsorción.
- Medida de vibración en ventiladores.
- Ensayo de deformación por vacío.
- Ensayo de deformación por sobrepresión.

## Equipos de ensayo

El laboratorio de A.T. de IMEY cuenta con los siguientes equipos para poder realizar los ensayos descritos anteriormente:

- Sistema de impulso hasta 1400kV.
- Sistema de tensión aplicada hasta 500kV.
- Sistema de generador-transformador para los ensayos de potencia, ensayo de vacío, cortocircuito, calentamiento, de 36 MVA de potencia activa más batería de condensadores, hasta 33MVA reactiva.
- Voltmetro clase 0'1 para medidas de potencia.
- Medidor de resistencias con medida de armónicos y relación de transformación.
- Analizador-medidor de FRA.
- Analizador-medidor de capacidad y tg  $\delta$ .
- Analizador-medidor de resistencia de aislamiento.
- Analizador-medidor de TI.
- Equipos del laboratorio químico.
- Medidor punto de rocío.
- Medidor de vibraciones ventiladores transformadores de potencia.



IMEFY aplica una política de continuo desarrollo a sus productos y se reserva el derecho a realizar cambios en las especificaciones y características técnicas sin previo aviso. El contenido del presente catálogo no tiene otro alcance que el simplemente informativo, sin valor de compromiso alguno. Para cualquier información, consulte con IMEFY.

## **Industrias Mecano Eléctricas Fontecha Yébenes, S.L.**

Pol. Ind. La Cañada, Avda. Siglo XXI s/n  
E-45470, Los Yébenes - Toledo (España)  
T: +34 925 320 300

 [imefy.com](http://imefy.com)

