

## A.1: MODELOS PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO DE PÉRDIDAS INTERNAS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

### A.1.2. MODELOS PARA EL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE EXTRACCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DEL TRANSFORMADOR (SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN)

#### Sistemas de refrigeración

Los sistemas de refrigeración más interesantes desde el punto de vista del aprovechamiento de las pérdidas del transformador son los de **refrigeración por agua (OFWF/ODWF)**.

También son interesantes los transformadores **refrigerados por aire siempre que la circulación de este sea forzada o dirigida (ONAF/ODAF/OFAF)**. En estos casos se podrá aprovechar directamente el aire de refrigeración o será necesario realizar una modificación del sistema de refrigeración por aire a refrigeración por agua.

Para el aprovechamiento energético de las pérdidas del transformador cuando la refrigeración es por agua, los **mecanismos de transmisión de calor más adecuados** son los **intercambiadores de carcasa y tubos** y los intercambiadores de **placas de flujo cruzado**. Estos últimos presentan las siguientes ventajas

- Permiten menores velocidades de caudales
- Presentan valores del coeficiente de transmisión superficial elevados
- Tienen menores pérdidas caloríficas
- Necesitan menores volúmenes que otros intercambiadores
- Fácilmente accesibles para el mantenimiento

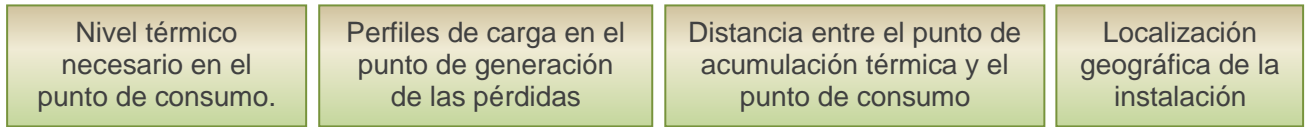
### A.1.3. MODELOS PARA EL ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO Y VALORIZACIÓN DE LAS PÉRDIDAS INTERNAS DEL TRANSFORMADOR

#### Alternativas de aprovechamiento

Entre otras posibles alternativas se identifican las siguientes:

TIPO DE REFRIGERACIÓN		MECANISMO DE TRANSFERENCIA	APROVECHAMIENTO SIN TRANSFORMACIÓN DE LA REFRIGERACIÓN	APROVECHAMIENTO CON TRANSFORMACIÓN DE LA REFRIGERACIÓN
ACEITE-AIRE	OFAF ODAF	AIRE-AIRE	RECUPERACIÓN DE CALOR EN CLIMATIZACIÓN (CALEFACCIÓN/VENTILACIÓN)	CALEFACCIÓN
			PROCESOS INDUSTRIALES	ACS
		AGUA-AIRE	RECUPERACIÓN DE CALOR EN CLIMATIZACIÓN (CALEFACCIÓN/VENTILACIÓN)	N/A
			PROCESOS INDUSTRIALES	
ACEITE-AGUA	OFWF	AGUA-AGUA	CALEFACCIÓN	N/A
			ACS	N/A
			PISCINA CLIMATIZADA	N/A
			PROCESOS INDUSTRIALES	N/A

Para las alternativas de aprovechamiento por agua (CALEFACCIÓN, ACS y PISCINAS CLIMATIZADAS) se desarrolla una aplicación web que permite analizar la viabilidad técnico- económica del aprovechamiento de las pérdidas del transformador.



## A.2: MODELOS PARA EL ANÁLISIS DE MEJORA DE LA CARGABILIDAD DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

### A.2.1. MODELOS PARA EL ANÁLISIS DE MEJORA DE CARGABILIDAD DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

- ❑ Análisis por mado de elementos finitos
- ❑ Análisis a través de alternativas numéricas basadas en normas (Norma IEC – 6007 y Norma IEEE Std C57).
  - Ciclos de cargas con y sin sobrecargas
  - Refrigeración ONAF | OFAF | ODAF | OFWF

Para grados de carga iguales o inferiores a la unidad ambos métodos se comportan de forma estable, es decir, a medida que se aumenta el nivel de refrigeración bajan los niveles de temperatura de punto caliente.

Para grados de carga iguales o inferiores a la unidad, de los sistemas de refrigeración por aire, el sistema ODAF devuelve los mínimos valores de temperatura del punto caliente.

Una modificación del sistema de refrigeración por aire a refrigeración por agua (OFWF) permite mejorar la cargabilidad del transformador.

## A.2.2. ANÁLISIS DEL ÓPTIMO ENTRE EL APROVECHAMIENTO Y VALORIZACIÓN DE LAS PÉRDIDAS VS. MEJORA DE CARGABILIDAD PARA EL EXPLOTADOR DE LA RED ELÉCTRICA

---

El estudio se ha centrado en transformadores (generación y distribución) con potencias entre 15 y 150MVA que representan más del 50% de la población total de transformadores.

Las cargas medias anuales de los transformadores evaluados no superan el 50%. Con cargas bajas el calor aprovechable será menor y además no tendrá rentabilidad desde el punto de vista de mejora de la cargabilidad puesto que no es necesaria.

## A.3: PRUEBAS Y ENSAYOS. AJUSTE, CONTRASTE Y VALIDACIÓN DE MODELOS

---

Campaña de medidas en dos transformadores. Uno con refrigeración OFAF (50MVA) y otro OFWF (60MVA)

### VARIABLES MEDIDAS

- CAUDAL Y TEMPERATURAS DE ACEITE
- CAUDAL Y TEMPERATURAS DE AGUA
- TEMPERATURA AMBIENTAL

### RESULTADOS

- LA CARGAS MÁXIMAS DURANTE EL PERIODO DE MEDIDA NO SUPERARON EL 40%.
- CARGAS CUADRÁTICAS MEDIAS PARA EL PERIODO DE MEDIDA MENORES DEL 30%.
- SALTO TÉRMICO EN EL ACEITE ES MUY PEQUEÑO.
- POTENCIA TÉRMICA DISPONIBLE SUPERIOR A LA OBTENIDA CON EL MODELO DE GENERACIÓN DE PÉRDIDAS

## A.1: MODELS FOR THE TECHNICAL-ECONOMIC ANALYSIS OF THE USAGE OF INTERNAL HEAT LOSSES IN POWER TRANSFORMING

### A.1.2. MODELS FOR THE ANALYSIS OF ALTERNATIVES OF EXTRACTION OF THE LOSSES OF THE TRANSFORMER (REFRIGERATION SYSTEMS)

#### Refrigeration Systems

The cooling systems most interesting from the standpoint of utilization of transformer losses are water cooling (OFWF/ODWF).

Air-cooled transformers where air circulation is forced or directed are interesting too (ONAF / ODAF / OFAF). In these cases the hot air can be used directly or will be required a modification of the system air cooling to water cooling.

For the energy use of transformer losses, when refrigeration system is water cooling, the most appropriate heat exchangers are shell and tube exchangers and plate heat exchangers. Plate heat exchangers have the following advantages:

- Allow lower flow rates
- Elevated values of the transmission coefficient
- Have lower heat losses
- They need to lower volumes than other exchangers
- Easily accessible for maintenance

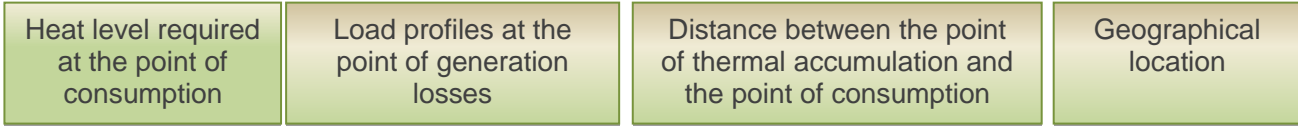
### A.1.3. MODELS FOR THE STUDY OF USAGE ALTERNATIVES AND VALUATION OF THE INTERNAL LOSSES OF THE TRANSFORMER

#### Alternative uses

Some possible alternatives are identified as follows:

TIPO DE REFRIGERACIÓN		MECANISMO DE TRANSFERENCIA	APROVECHAMIENTO SIN TRANSFORMACIÓN DE LA REFRIGERACIÓN	APROVECHAMIENTO CON TRANSFORMACIÓN DE LA REFRIGERACIÓN
ACEITE-AIRE	OFAF ODAF	AIRE-AIRE	RECUPERACIÓN DE CALOR EN CLIMATIZACIÓN (CALEFACCIÓN/VENTILACIÓN)	CALEFACCIÓN
			PROCESOS INDUSTRIALES	ACS PISCINA CLIMATIZADA PROCESOS INDUSTRIALES
ACEITE-AGUA	OFWF	AGUA-AIRE	RECUPERACIÓN DE CALOR EN CLIMATIZACIÓN (CALEFACCIÓN/VENTILACIÓN)	N/A
			PROCESOS INDUSTRIALES	
		AGUA-AGUA	CALEFACCIÓN	N/A
			ACS	N/A
AGUA-AGUA	PISCINA CLIMATIZADA	N/A		
	PROCESOS INDUSTRIALES	N/A		

For water use alternatives (HEATING, SANITARY HOT WATER and HEATED POOLS) has been developed a web application that allows to analyze the technical and economic viability of the use of transformer losses.



## A.2: MODELS FOR THE ANALYSIS OF IMPROVING CHARGEABILITY POWER TRANSFORMERS

### A.2.1. MODELS FOR THE ANALYSIS OF IMPROVING CHARGEABILITY POWER TRANSFORMERS

- ❑ Analysis by finite element mesh
- ❑ Analysis through numerical standards -based alternatives (IEC – 6007, IEEE Std C57).
  - load cycles with and without overload
  - Refrigeration system ONAF | OFAF | ODAF | OFWF

For loads equal to or less to the unit both methods behave stably, as the level of refrigeration increase temperature of hot point decrease.

For loads equal to or less to the unit, for air cooling systems, system ODAF o system returns the minimum values of temperature of the hot spot.

A modification of the cooling system from air to water cooling ( OFWF ) improves the chargeability of transformer .

### A.2.2. ANALYSIS OF OPTIMUM BETWEEN UTILIZATION AND RECOVERY OF LOSSES VS. CHARGEABILITY IMPROVEMENT FOR THE OPERATOR OF THE GRID

The study focused on transformers (generation and distribution) with powers between 15 and 150MVA representing more than 50 % of the total population of transformers.

The annual average load of transformers evaluated not exceed 50 %. With low loads the usable heat from losses will be lower and improving of the chargeability it is not necessary.

### A.3: TESTS, AND VALIDATION OF MODELS CONTRAST

---

Measurement campaign in two power transformers. One with cooling system OFAF (50MVA) and other with cooling system OFWF (60MVA)

#### VARIABLE MEASURES

- OIL FLOW AND TEMPERATURES
- WATER FLOW AND TEMPERATURES
- AMBIENT TEMPERATURE

#### RESULTS

- MAXIMUM LOADS DURING MEASURES NOT EXCEEDED 40%.
- LOADS MEAN SQUARES DURING MEASURES NOT EXCEEDED 30%.
- SMALL DIFFERENCES OF TEMPERATURE IN OIL (IN/OUT)
- POTENCIA TÉRMICA DISPONIBLE SUPERIOR A LA OBTENIDA CON EL MODELO DE GENERACIÓN DE PÉRDIDAS
- THERMAL POWER AVAILABLE GREATER THAN THERMAL POWER OBTAINED WITH LOSSES MODEL GENERATION