

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

A.1.1. MODELOS PARA EL ESTUDIO ENERGÉTICO DE LAS PÉRDIDAS DEL TRANSFORMADOR

Investigación y análisis de documentación

- Normativa aplicable en materia de transformadores de potencia
- Electrotecnia y teoría de circuitos
- Cálculo de pérdidas en Transformadores de potencia

Clasificaciones de transformadores

Los datos de partida para realizar un primer análisis son los transformadores de potencia instalados en España de distribución y generación. Las clasificaciones a tener en cuenta son:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Construcción / esquema eléctrico | <input type="checkbox"/> Regulación del transformador |
| <input type="checkbox"/> Tipo de aislamiento | <input type="checkbox"/> Tipo de refrigeración del aceite |
| <input type="checkbox"/> Relación de transformación. Tensión de salida | <input type="checkbox"/> Por nivel de carga media |
| <input type="checkbox"/> Emplazamiento | <input type="checkbox"/> Por antigüedad. |
| <input type="checkbox"/> Potencia del transformador | |

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

Sistemas de refrigeración y características físicas y termodinámicas

Los sistemas de refrigeración más habituales en los transformadores de potencia de aceite son los siguientes:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Por aire | <input type="checkbox"/> Aceite Forzado / Aire Forzado (OFAF) |
| <input type="checkbox"/> Aceite Natural / Aire Natural (ONAN) | <input type="checkbox"/> Aceite Dirigido / Aire Forzado (ODAF) |
| <input type="checkbox"/> Aceite Natural / Aire Forzado (ONAF) | <input type="checkbox"/> Aceite Dirigido / Agua Forzada (ODWF) |
| <input type="checkbox"/> ONAN/ONAF | |

Parámetros fundamentales de los fluidos refrigerantes

Aceite

- Calor específico
- Densidad / viscosidad
- Conductividad térmica
- Temperaturas en la parte superior e inferior de la cuba

Agua de Refrigeración

- Densidad / viscosidad
- Temperatura de almacenamiento
- Salto térmico necesario
- Caudal de paso

Clasificación de los sistemas de refrigeración en función del aprovechamiento exergético

Apto sin modificación



Aptos con adaptación del sistema de refrigeración

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

A.1.1. MODELS FOR STUDY OF THE LOSSES OF THE POWER TRANSFORMER

Research and analysis of documentation

- Applicable standards regarding transforming of power
- Electrical engineering and theory of circuits
- Calculation of losses in Transforming of power

Transformer classifications

The input data used to make a first analysis are the installed transforming of power in Spain of Distribution and Generation.

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Construction/electrical drawing | <input type="checkbox"/> Regulation of the transformer |
| <input type="checkbox"/> Type of isolation | <input type="checkbox"/> Type of refrigeration of the oil |
| <input type="checkbox"/> Transformation ratio. Output voltage | <input type="checkbox"/> Average load of the transformer |
| <input type="checkbox"/> Location | <input type="checkbox"/> Age |
| <input type="checkbox"/> Power of the transformer | |

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

Refrigeration systems and physical and thermodynamic characteristics

The most common refrigeration systems for the oil in power transformers are as follows:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Air | <input type="checkbox"/> Oil Forced/Air Forced (OFAF) |
| <input type="checkbox"/> Oil Natural /Air Natural (ONAN) | <input type="checkbox"/> Oil Directed/Air Forced (ODAF) |
| <input type="checkbox"/> Oil Natural /Air Forced (ONAF) | <input type="checkbox"/> Oil Directed/Water Forced (ODWF) |
| <input type="checkbox"/> ONAN/ONAF | |

Fundamental parameters of the cooling fluids

Oil

- Heat capacity
- Density / viscosity
- Thermal conductivity
- Temperatures in the top and bottom of the vessel

Cooling water

- Density / viscosity
- Water storage temperature
- Temperature rise
- Flow rates

Classification of refrigeration systems based on the exergetic usage.

No modification required



Cooling system modifications required

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

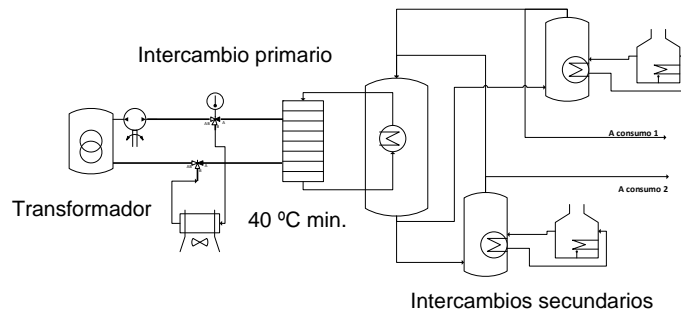
Variables fundamentales que determinan la posible aplicación

- T° aceite
- Patrón diario de funcionamiento
- Potencia disipada
- Distancia al punto de consumo

Posibles Aplicaciones

APLICACIÓN	T° USO (°C)
▪ District Heating	65 - 110
▪ Fusión hielo	20 - 40
▪ Granja pecuaria	60 - 90
▪ Piscinas climatizadas	25 - 35
▪ Refrigeración aceite plantas Termosolares	Min 23°C

ESQUEMA GENERAL APROVECHAMIENTO TÉRMICO



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

- Varios modelos aplicables en función de la información disponible. Datos genéricos iniciales:
 - **Input:**
T° salida aceite, pérdidas exergéticas
 - **Output:**
Volumen acumulación agua, ΔT agua

MODELO 1
Carga constante

MODELO 2
Cargas variables escalonas
por horas equivalentes

MODELO 3
Carga en régimen
transitorio

- Desarrollo de un Sistema de Cálculo de Pérdidas en la distribución del calor aportado al fluido refrigerante hasta el punto de consumo.

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

- Desarrollo de un Sistema de Cálculo de la Temperatura del aceite en diferentes puntos del interior de la cuba del transformador mediante la Norma IEC – 60076 y Norma IEEE Std C57.110.
- En primer lugar, la herramienta desarrollada considera transformadores en régimen estacionario. Posteriormente se considerarán los transformadores con carga variable.

- **Input:**
T° salida aceite, pérdidas exergéticas
- **Output:**
Volumen acumulación agua, ΔT agua

MODELO 1
Sólo pérdidas del hierro
y cobre

MODELO 2
Con pérdidas adicionales:
T° arrollamientos

MODELO 3
Con pérdidas adicionales: T°
arrollamientos y Armónicos

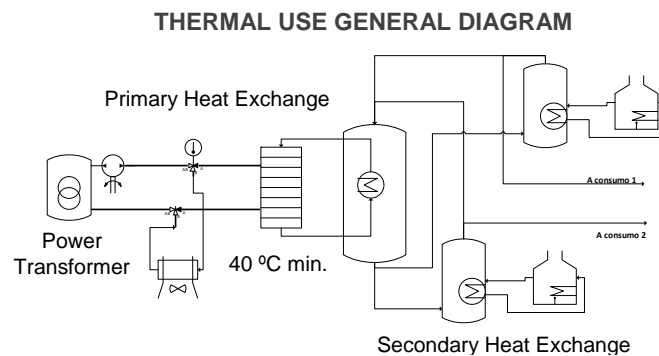
A.1: MODELS FOR THE TECHNICAL-ECONOMIC ANALYSIS OF THE ADVANTAGE OF INTERNAL LOSSES OF TRANSFORMING OF POWER

Fundamental variables that they determine the possible application

- Oil temperature
- Dissipated power
- Daily pattern of operation
- Distance to the consumption point

Possible Applications

APPLICATION	T° USE (°C)
▪District Heating	65 - 110
▪Ice and snow melting	20 - 40
▪Cattle farm	60 - 90
▪Heated pools	25 - 35
▪Refrigeration oil thermosolar power plants	Min 23°C



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

- Several applicable models depending on the information available. Input data:

▪ **Input:**

Temperature Top Oil, recovered heat power

▪ **Output:**

Storage volume of water, ΔT water

MODEL 1
Iron and copper losses

MODEL 2
Additional losses: winding temperature

MODEL 3
Additional losses: winding temperature, harmonics

- Development of a Calculation Model for Losses in the distribution of the heat from the transformer to the final use location.

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

- Development of Model for the Calculation of the Temperature of the oil in different points inside the vessel of the transformer by means of IEC - 60076 and IEEE STD C57.110 Standards
- In the first place, the developed tool considers transforming in stationary operation. Later on, variable load curves will be considered.

▪ **Input:**

T° exit oil, exergetic losses

▪ **Output:**

Water storage volume, ΔT water

MODEL 1
Constant load

MODEL 2
Variable load. Hours equivalent stagger

MODEL 3
Transitory regime load