



**PLANTA DE VALORIZACIÓN DE R.S.U. PARA
UNA POBLACIÓN DE 1.000.000 DE HABITANTES:
PROYECTO DE APLICACIÓN A UNA CENTRAL
DE GENERACIÓN DE 29 MW.**

AUTOR: RAFAEL ARREBOLA PASCUAL.

TUTOR: ANTONIO DE LA VILLA JAÉN.



Este proyecto contiene los siguientes documentos:

- Memoria Descriptiva.
- Memoria de Cálculos.
- Estudio de Viabilidad.
- Informe de Impacto Ambiental.
- Presupuestos.
- Pliego de Condiciones Técnicas.
- Planos.



Memoria Descriptiva.



Índice Memoria Descriptiva.

0.1. Objeto del proyecto.....	6
0.2. Alcance del proyecto.....	6
1. Opciones tecnológicas para obtener energía a partir de R.S.U.....	7
2. Razones para incinerar los R.S.U.....	10
3. Inconvenientes de la incineración de R.S.U.....	12
4. Características de los R.S.U.....	15
4.1 Características físicas de los R.S.U.....	15
4.2 Características químicas de los R.S.U.....	18
5. Descripción de la planta.....	20
6. Descripción del proceso de incineración.....	23
7. Descripción del ciclo de potencia.....	34
8. Descripción del esquema unifilar.....	36
9. Descripción del sistema eléctrico de generación.....	39
9.1 Alternador síncrono trifásico.....	39
9.1.1 Características mecánicas.....	39
9.1.2 Datos técnicos del alternador.....	40
9.1.3 Sistema de excitación.....	43



9.1.4 Excitatriz piloto.....	44
9.1.5 Regulación de tensión.....	44
9.1.6 Cuadro de control y de potencia del generador.....	44
9.1.7 Protecciones de generación.....	45
9.2 Descripción del centro de transformación.....	51
9.2.1 Transformador elevador.....	51
9.2.2 Características técnicas del transformador.....	52
9.2.3 Accesorios.....	53
9.2.4 Ajustes de las protecciones del transformador.....	54
9.3 Transformadores de distribución.....	55
9.3.1 Características técnicas del transformador.....	56
9.3.2 Accesorios.....	57
10. Descripción del turbogruppo de vapor.....	59
11. Planta de tratamiento de agua.....	63
11.1 Etapa de intercambio catiónico.....	65
11.2 Etapa de intercambio aniónico.....	66



0.1. Objeto del proyecto.

El presente Proyecto se redacta para el cumplimiento del último Acto Académico, denominado **PROYECTO FIN DE CARRERA**, para la colación del Título de Ingeniero Industrial por la E.S. de Ingenieros de Sevilla.

Actúa como Director del Proyecto o Tutor, el profesor Don Antonio de la Villa Jaén.

0.2. Alcance del proyecto.

Este proyecto abarca en un principio un análisis de las alternativas ante la problemática de la gestión de los residuos sólidos urbanos (R.S.U), para a continuación proponer una solución mediante la incineración de los mismos describiendo una planta para satisfacer las necesidades de una población de 1.000.000 de habitantes.



1. Opciones tecnológicas para obtener energía a partir de R.S.U.

Hay varias opciones posibles para convertir residuos sólidos urbanos en energía aprovechable. Los principales son:

- vertedero sanitario
- incineración
- gasificación
- digestión anaeróbica
- otros tipos

Vertedero sanitario consiste en almacenar los residuos en vertederos especialmente contruidos para obtener un gas procedente de la maduración de los residuos. Este gas tiene una concentración de metano (CH_4) de cerca del 25%. Puede ser utilizado como combustible para calderas, para motores de combustión interna e incluso como gas para turbinas de gas.

Las *ventajas* con respecto a un vertedero convencional son evidentes: reducción de emisiones de CH_4 y otros gases tóxicos a la atmósfera. La contaminación del suelo y de las aguas se minimiza, y la amenaza de pájaros y roedores se limita. Pero los *inconvenientes* son importantes: la gran inversión inicial para el diseño y la construcción, la oposición de la opinión pública del lugar donde se ubique, además la reducción de roedores y pájaros no es completa, los malos olores....



La **incineración** es la combustión controlada de los residuos con aprovechamiento de calor, el cual puede producir vapor que generará potencia en una turbina de vapor. Se alcanza una reducción en peso del orden del 75% y de un 90% en volumen. La incineración se puede realizar sin tratamiento previo del residuo sólido o con tratamiento previo (combustión de RDF) en el que se realiza una separación entre la fracción combustible (RDF) y no combustible del residuo.

La *ventaja* más importante de la incineración es la reducción tanto en peso como en volumen. Todos los componentes orgánicos putrescibles o no son reducidos a cenizas. La gran *desventaja* es la contaminación atmosférica a pesar de los sofisticados medios de control de que se disponen (que además suelen suponer un 30% del coste total de la planta).

La **gasificación** supone en un primer paso una pirólisis con defecto de aire, seguido por reacciones a alta temperatura de los productos de dicha pirólisis produciéndose gases de bajo peso molecular con un poder calorífico del orden 1000-1200 kcal/Nm³. Estos gases pueden ser usados motores de combustión interna para la generación de potencia y en calderas para la generación de vapor.

Como *ventajas* podemos señalar la reducción en volumen y peso de los residuos, produce menos cenizas que la incineración, además prácticamente no produce gases peligrosos que puedan ser dañinos al medio ambiente. Pero como *inconvenientes* podemos destacar el exquisito cuidado que hay que tener con el sistema de limpieza de dicho gas pues podrían dañar seriamente los motores de



combustión interna, por lo que suele utilizar el gas para aplicaciones térmicas. Además el producto obtenido es caro de obtener pues requiere un sofisticado sistema de refrigeración así como de limpieza.

En la **digestión anaeróbica** la fracción putrefactible de los residuos es digerida anaeróbicamente (en ausencia de aire) , en digestores diseñados especialmente. Bajo esta actividad bacteriana se produce gas metano (combustible) y CO₂ (gas inerte).

Ventajas: se producen productos útiles como el biogás y compost, reducción drástica de patógenos, no necesita mucho espacio, no produce gases de efecto invernadero.

Inconvenientes: es un proceso muy lento, la fracción orgánica no biodegradable no es digerida, el compost producido no es útil directamente requiere un tratamiento que añade gastos.

Otros tipos tratamientos pueden ser:

- paletización
- plasma arc
- proceso de garret flash pyrolysis.



2. Razones para incinerar los RSU.

El número de plantas en Europa de incineración de RSU se incrementa cada año. Las razones que justifican este fenómeno son:

- a) La combustión de RSU persigue eliminar los efectos perjudiciales de los vertederos de residuos no tratados. Principalmente, la contaminación de aguas con destino al consumo humano, consideraciones higiénicas y los olores desprendidos de los vertederos, causaron la aparición de la incineración de los residuos. Actualmente, se requiere una adecuada protección del medio ambiente, y el tratamiento adecuado de los residuos se ha convertido en un problema. Es difícil encontrar áreas adecuadas para vertederos seguros, y tanto los costes de los mismos como la reducción de emisiones contaminantes están aumentando. Una de las soluciones a este problema es la inertización de los residuos por medio de la combustión e incineración, que aparece como un factor importante de protección medioambiental, dado que ninguna otra tecnología permite el tratamiento tanto de residuos urbanos como residuos tóxicos con tal extensión. En los vertederos, los residuos depositados sufren reacciones químicas sin control durante largos períodos de tiempo.



b) En los últimos años, la estrategia global para eliminar el problema de los residuos en los países de Europa Occidental han seguido las siguientes prioridades:

- Evitar la generación de residuos tanto como sea posible.
- Reciclar los residuos en la mayor medida posible.
- Inertizar los residuos no evitables mediante incineración.
- Separación, tratamiento y reciclado de los residuos procedentes de los procesos de incineración.

A pesar de todos los esfuerzos encaminados a evitar la generación de RSU y al reciclado de los mismos, la cantidad generada es tal que aún representa un problema, ya que los ratios de producción de RSU están creciendo.

La incineración ofrece una reducción tanto en masa como en volumen (aproximadamente 90% en volumen) del residuo sujeto a eliminación final.

c) La posibilidad de recuperación de energía: los RSU, aunque difieren bastante de los carbones de alto rango u otros combustibles como el fuel oil, es bastante similar a la madera, turba, lignito, etc. La siguiente tabla muestra el poder calorífico inferior aproximado de los RSU y otros combustibles.



Combustible	Poder calorífico (kcal/kg)	Combustible	Poder calorífico (kcal/kg)
RSU	2185	Bituminoso alto en volátiles B	6520
Madera	2170	Bituminoso volátil	7775
Turba	1330	Antracita	6010
Lignito	3585	Metano	11975
Sub-bituminoso B	5375	Fuel oil nº1	10210
		Fuel oil nº2	9600

Tabla 1. Comparación del poder calorífico de los R.S.U. con otros combustibles.

En resumen, la inertización controlada de los RSU en una planta de incineración moderna, combinada con una reducción del volumen de residuos del 90% y con la utilización de calor para la producción de vapor y electricidad, han hecho extensivo la utilización de la incineración de RSU en Europa Occidental.

3. Inconvenientes de la incineración de RSU.

Una consecuencia de la incineración de RSU es la generación de emisiones gaseosas contaminantes y de residuos sólidos.

Algunos de los contaminantes más importantes presentes en las emisiones gaseosas son partículas de cadmio, mercurio, cloruro de hidrógeno, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y dioxinas/furanos policlorados (PCDD/PCDF).



Los residuos sólidos consisten en cenizas enriquecidas en metales, los cuales están presentes en la corriente de RSU original. Estas cenizas requieren un adecuado tratamiento. Los dos principales residuos sólidos son bastante diferentes en composición y textura. Las cenizas de fondo pueden abarcar el 90% del residuo sólido generado, pero generalmente contiene concentraciones más bajas de ciertos metales, especialmente especies volátiles como son plomo, cadmio, cobre y zinc. Estos metales se desvían principalmente a las cenizas volantes, bien por volatilización o bien por arrastre, siendo extraídos de la cámara de combustión con los gases de combustión.

Una incineración de residuos no contaminante implica no solo una reducción al máximo de las emisiones atmosféricas, sino que también implica prestar atención a la compatibilidad medioambiental de los residuos producidos. Los contaminantes inorgánicos de los RSU, como metales pesados, no se destruyen en el proceso de incineración, sino que sólo puede modificarse su forma química, y siguen formando parte de los residuos sólidos. Para propósitos de utilización o eliminación segura, es preciso ver hasta que punto estos materiales pueden contaminar los suelos o contaminar las aguas.

La incineración de RSU optimizada en este sentido debe tener en cuenta, por tanto, la calidad de los residuos sólidos producidos además de bajas emisiones, justo desde el primer momento del proceso de incineración. También la elección de instalaciones aguas abajo del horno de incineración, como son los sistemas de



recuperación de calor y de depuración de gases de combustión, tiene un impacto considerable sobre el tipo de residuos generados y, como consecuencia, en la posibilidad de un efectivo tratamiento y en una eliminación segura y poco costosa.

La separación, tratamiento y reciclado de residuos durante y después de la incineración es una prioridad en las instalaciones de incineración actuales. Los objetivos de esta prioridad son la compatibilidad medioambiental de los residuos producidos, y la recuperación de recursos a partir de los residuos, específicamente:

- Recuperación de hierro de las cenizas de fondo.
- Recuperación de metales no férricos de las cenizas de fondo.
- Utilización de las cenizas de fondo, previo tratamiento, como material secundario de construcción carreteras.
- Recuperación de HCl de los gases de combustión en forma de ácido clorhídrico.
- Recuperación de SO₂ de los gases de combustión en forma de yeso.

Los gastos totales de una planta de incineración de RSU deberían ser cubiertos por los ingresos procedentes de la venta de calor, electricidad, subproductos y por la tasa de eliminación de RSU. Hoy día la electricidad cubre solo el 25% o menos. Por tanto, con el fin de cubrir los costes totales, las tasas de eliminación de los RSU han sido incrementadas considerablemente en muchos países.



4. Características de los RSU.

4.1 Características físicas de los residuos sólidos urbanos.

Es necesario conocer algunas de las propiedades de los residuos para prever y organizar los sistemas de prerrecogida, recogida y tratamientos finales de recuperación o eliminación, y para decidir sistemas de segregación en el caso de los residuos que generen riesgos especiales para el medio ambiente.

Dentro de las propiedades físicas de los residuos sólidos urbanos, destacan las siguientes: humedad, peso específico y granulometría.

HUMEDAD RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Componentes	Humedad en %	
	Sin mezclar	Mezclados
Orgánicos	68	65
Papel y cartón	12	24
Plásticos	1	2
Madera	20	24
Textiles	12	19
Vidrio	2	3
Metales	2	2
Valores muy variables si existen restos de líquidos en el interior de los recipientes.		

Tabla 2. Aportación de humedad de los componentes de los R.S.U.



- **Humedad.** Está presente en los residuos urbanos, y oscila alrededor del 40% en peso, con un margen que puede situarse entre el 25 y el 60%. La máxima aportación la proporcionan las fracciones orgánicas, y la mínima, los productos sintéticos. Esta característica debe tenerse en cuenta por su importancia en los procesos de compresión de residuos, producción de lixiviados, transporte, procesos de transformación, tratamientos de incineración y recuperación energética y procesos de separación de residuos en planta de reciclaje.

- **Peso específico.** Es un factor básico que marca los volúmenes de los equipos de recogida y transporte, tolvas de recepción, cintas, capacidad de vertederos, etc. Este valor soporta grandes variaciones según el grado de compactación a que están sometidos los residuos.

El peso específico unitario de cada producto no indica que su mezcla tenga un valor global proporcional al de sus componentes. En el hogar, estos valores son habitualmente muy superiores debido a los espacios inutilizados del recipiente de basura: cajas sin plegar, residuos de formas irregulares, etc. Sin embargo, conforme vayan agrupándose de forma más homogénea, se acercarán más al estricto cálculo matemático, que da unos valores medios teóricos para residuos sin compactar de 80 kg/m^3 con variaciones importantes de acuerdo a la composición concreta de los residuos en cada localidad.



<i>Componentes</i>	<i>Variación en kg/m³</i>	<i>Típico kg/m³</i>
Residuos de comida		
En hogares	131-481	291
En mercados	475-950	540
Residuos jardinería	59-225	101
Madera	131-320	237
Papel y cartón	42-131	50
Plásticos	42-131	65
Textiles	42-101	65
Vidrio	160-481	196
Latas de hojalata	50-160	89
Otros metales	65-1151	280

Tabla 3. Peso específico de los componentes de los R.S.U.

- **Granulometría.** El grado de segregación de los materiales y el tamaño físico de los componentes elementales de los residuos urbanos, constituyen un valor imprescindible para el dimensionado de los procesos mecánicos de separación y, en concreto, para definir cribas, tromeles y elementos similares que basan su separación exclusivamente en el tamaño. Estos valores también deben tomarse con cautela, ya que las operaciones de recogida afectan al tamaño por efecto de la compresión o de mecanismos trituradores. En cada caso concreto es preciso efectuar los análisis pertinentes para adecuar la realidad de cada circunstancia al objetivo propuesto.



4.2 Características químicas de los residuos sólidos urbanos.

Las propiedades químicas de los residuos urbanos son factores condicionantes para algunos procesos de recuperación y tratamiento final. El poder calorífico es esencial en los procesos de recuperación energética, al igual que el porcentaje de cenizas producido en los mismos. Otras características como la eventual presencia de productos tóxicos, metales pesados, contenido de elementos inertes, etc., son informaciones muy útiles para diseñar soluciones adecuadas en los procesos de recuperación y para establecer las adecuadas precauciones higiénicas y sanitarias.

Poder energético. Las propiedades calorimétricas de los residuos urbanos son los parámetros sobre los que se diseñan las instalaciones de incineración y de recuperación energética. Su valoración, fruto de la propia variabilidad de la composición, viene marcada por el poder calorífico de cada producto. En términos generales, puede indicarse que el poder calorífico de la totalidad de los residuos sólidos urbanos está entre 1.500 y 2.200 kcal/kg.

Otro valor que interesa conocer es la **temperatura a la que se funden** y solidifican las cenizas de la combustión de estos materiales. El punto de fusión de las cenizas está en 1.200° C, y las escorias obtenidas son utilizadas en algún proceso de tratamiento para reducir emisiones y para manejar de modo más controlado estos restos últimos de la incineración.



CONTENIDO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Componentes	PCI en kcal/kg		Cenizas y otros rechazos en %
	Variación	Típico	
Residuos de comida	600-800	700	8
Madera	4000-5000	4600	2
Papel y cartón	2400-4000	2500	12
Plásticos	6200-7200	6600	3
Textiles	3000-4000	3400	6
Vidrio			98
Metales			98
Nota: Valoración sobre base seca.			

Tabla 4. Contenido energético de los R.S.U.

Se ha tomado como composición de los residuos los de la provincia de Sevilla.

Materia orgánica	Papel-cartón	Vidrio	Plástico	Metal	Textil	Otros
51.66 %	15.17 %	4.37 %	12.47 %	3.08 %	4.35 %	9.1 %

Sevilla anualmente genera una cantidad de residuo de **1.17 kg/hab./día**. La planta está diseñada para procesar el residuo generado por una población de **1.000.000 de habitantes** lo cual hace un flujo anual de **427.000 t/a**.

El poder calorífico inferior que se ha tomado para diseñar la planta es de **7542 kJ/kg. (1800 kcal/kg)**.

5. Descripción de la planta.

Desde el punto de vista operativo, la planta está compuesta por 11 áreas:

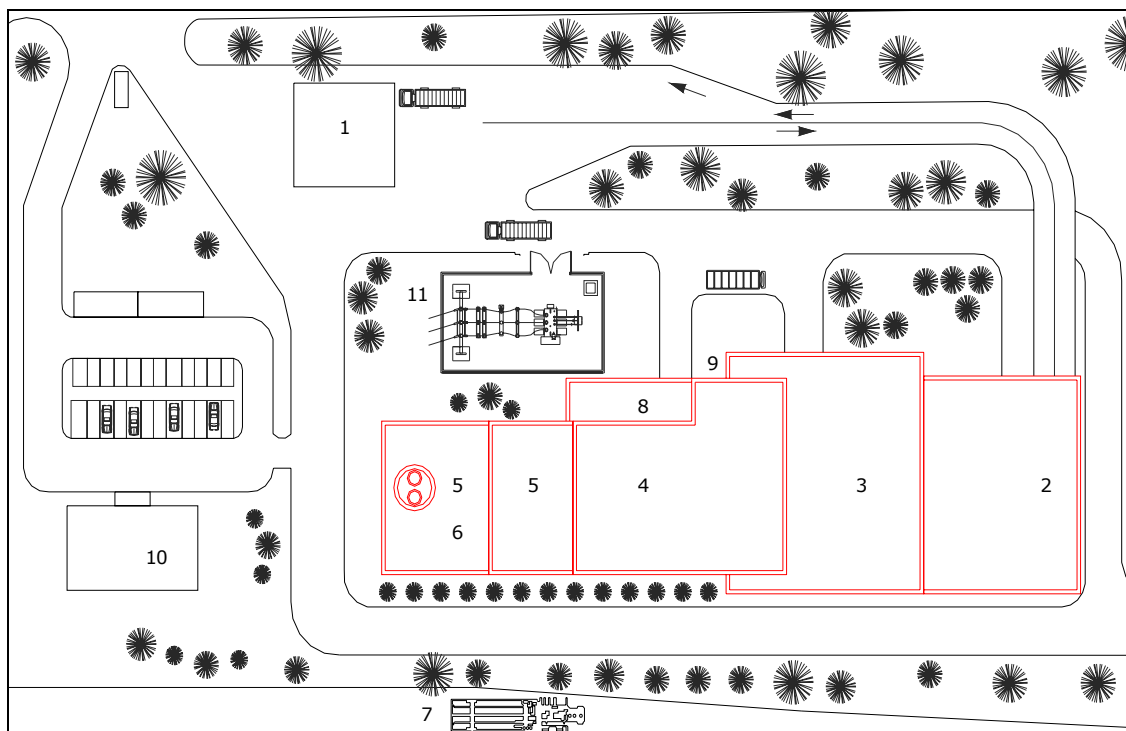


figura 1. Distribución en planta.

1. Recepción y control de accesos

Formada por el edificio de portería, básculas, aparcamientos y accesos con barreras.

2. Rampa de acceso y plataforma de maniobra

Zona de maniobra de los camiones de residuos y de descarga de residuos al foso.



3. Foso de residuos.

Foso dimensionado para el almacenamiento de al menos dos días de recogida de residuos y que contiene un puente-grúa dotado de un pulpo para la alimentación de la calderas.

4. Líneas de incineración

Edificio que contiene las líneas de incineración con sus hornos, calderas y auxiliares.

5. Depuración de gases

Incluye los equipos de depuración de gases de cada línea, reactor semiseco, inyección de carbón activo, filtro de mangas, ventilador de tiro, analizadores de gases y chimenea.

6. Tratamiento de cenizas

Formado por los silos de almacenamiento, tolvas, dosificadores, mezcladora y sus dispositivos auxiliares.

7. Planta de tratamiento de aguas

Formado por los equipos de desmineralización y almacenamiento de agua para las calderas.

8. Generación de energía

Formada por el turboalternador y sus accesorios.



9. Zona de escorias

Formada por el foso de escorias, los puentes grúa y el acceso para camiones, así como su tratamiento.

10. Edificios y dependencias

Área formada por el taller el almacén y laboratorio, así como el edificio de administración que consta de sala de actos, despachos de dirección, archivo, sala de reuniones, etc.. además de comedor y vestuario para los empleados.

11. Subestación de transformación.

Formado por el transformador de potencia y sus accesorios.

La superficie total del solar es de 15.364 m^2 ($167 \times 92 \text{ m}^2$).

Las naves de la planta ocupan una superficie 2.141 m^2 .

6. Descripción del proceso de incineración.

A partir del esquema siguiente describiremos brevemente los procesos que transcurren durante la incineración de residuos.

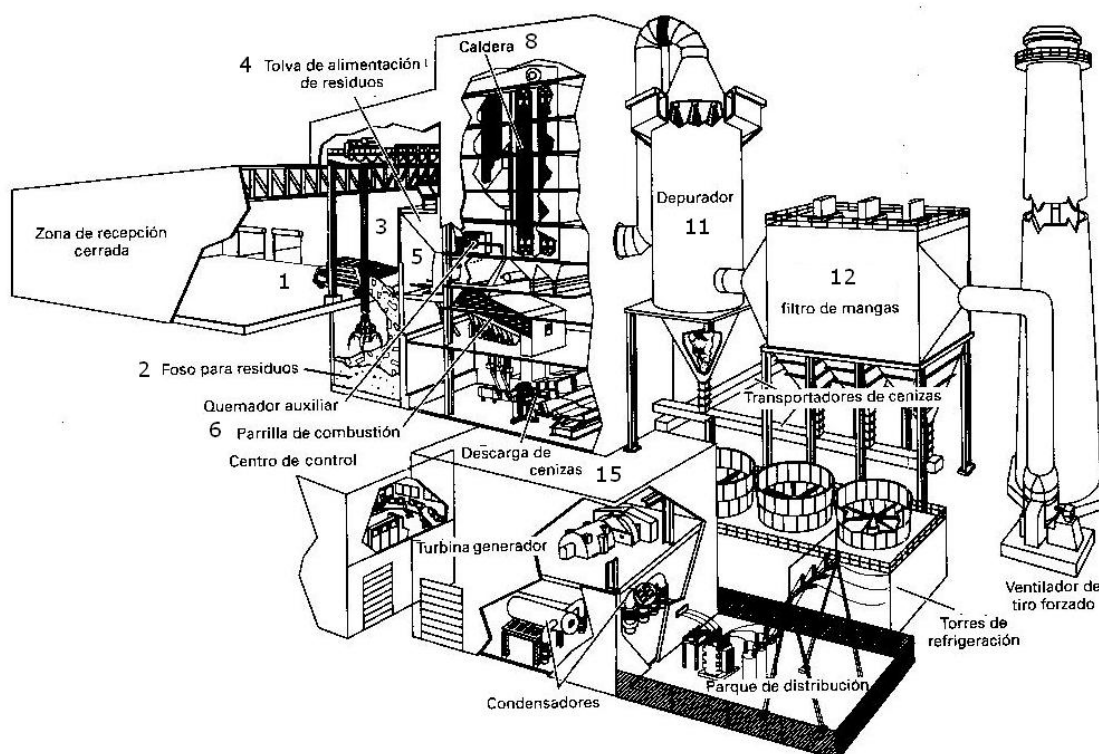


figura 2. Esquema de la planta de incineración.

a). La recepción y descarga de residuos.

1. Recepción pesado y descarga.

En la zona de recepción se dispone de dos básculas puente automáticas, controladas por un ordenador que permite registrar las pesadas y realizar la gestión administrativa y estadística de las mismas.

La plataforma de maniobra (1) dispone de espacio suficiente



para que varios camiones puedan situarse simultáneamente en el muelle de descarga para verter su contenido en el foso de residuos (2). Estos elementos están dimensionados para una capacidad de 2 líneas de incineración.

Se dispone de una cizalla destinada a la trituración de los residuos voluminosos para asegurar la completa incineración y evitar posibles atascos.

La plataforma de maniobra, foso, puentes grúa y tolvas de alimentación se encuentran en una nave cerrada de dónde se extrae el aire para la combustión de los residuos. De esta forma se mantiene una ligera depresión que evita la salida de olores y polvo al exterior.

La capacidad de la zona de alimentación excede el volumen de residuos que pueden ser incinerados en dos días, lo que permitirá continuar con la operación los fines de semana.

2. Alimentación de los hornos.

La gestión del residuo en el foso y la alimentación de las líneas de incineración se realiza mediante dos puentes grúa con capacidad cada uno para alimentar dos líneas de incineración, y que están dotados con cucharas mecánicas especiales para residuos sólidos urbanos (3). El operador de la cuchara mezcla los deshechos en la zona de almacenamiento para homogeneizar los residuos lo más posible.

Su operación se realiza desde la sala de control y están



equipados con seguridades, células de pesada para controlar la carga de los hornos y automatismos que permiten realizar de forma automática el recorrido hasta la posición de descarga en cada línea de incineración.

El puente grúa descarga en las tolvas (4) de cada línea de incineración y, a continuación, el residuo se dirige, mediante un conducto con dispositivo de cierre, al alimentador hidráulico del horno que regula el flujo de residuos. El diseño de estos elementos es muy sólido, resistente al desgaste, con unas secciones que impiden la formación de bóvedas y con una capacidad de regulación muy elevada para responder a la variabilidad de los residuos.

b). Incineración.

La carga desciende lentamente a lo largo de la cámara de alimentación. Una cantidad determinada de residuo (según las condiciones de operación) entra directamente a las parrillas.

Una vez en las parrillas la combustión se produce en varios pasos:

- secado, la humedad de los residuos se evapora.
- descomposición térmica, los componentes volátiles se separan.
- ignición, aparecen llamas.
- combustión última de los residuos carbonosos.

Los residuos se van desplazando por el movimiento de la

parrilla. El sistema de parrillas móviles (ver figura 3) es el componente más crítico de la instalación de incineración y realiza las siguientes funciones:

- soporta , transporta y agita los residuos durante el secado la ignición y la combustión.
- distribuye el aire primario de combustión, a la vez que refrigera las propias parrillas.
- periódicamente renueva la superficie expuesta y homogeiniza el lecho de secado o el material quemado.

Normalmente el residuo permanece en la parrilla de una a dos horas. El movimiento del residuo está asegurado por la inclinación de la construcción de la parrilla (18°) y por el movimiento de partes del sistema de parrillas.

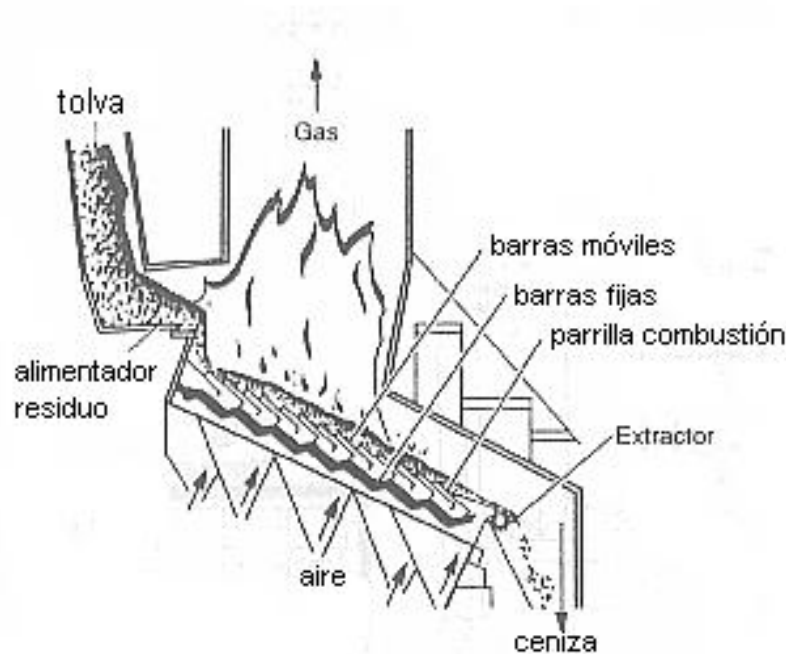


figura 3. Parrilla de incineración.



El aire puede ser introducido por la zona inferior de las parrillas (aire primario) y sobre las parrillas (aire secundario). Para asegurar que el aire alcanza todas las partes del residuo, es importante que la parrilla sea uniformemente cubierta y que dicho residuo esté bien mezclado.

El aire primario es distribuido desde unas cámaras que hay bajo las parrillas, las cuales también recogen cribas de las parrillas. El aire es soplado a través de las ranuras que hay entre las barras de la parrilla y sigue un camino de mínima resistencia a través de la capa de residuo.

Durante las fases iniciales de la combustión, el residuo es secado y descompuesto térmicamente, generándose una corriente de vapores y gases más o menos combustible.

Para asegurar su completa combustión es necesario mezclarlos con los gases calientes de la combustión y darle tiempo necesario para la oxidación. Por ello, una zona de alta turbulencia es creada a la salida de la cámara de combustión mediante la inyección de aire secundario a alta velocidad.

A continuación del hogar se sitúa la zona de postcombustión, en la que se cumple el tiempo de permanencia de los gases de escape de 2 segundos como mínimo, a una temperatura superior a 850°C, con un contenido de oxígeno de 6% en volumen como mínimo.

El residuo quemado cae desde la sección final de la parrilla a un baño de agua (15) donde la ceniza es apagada y refrigerada. Esta ceniza es extraída continuamente, escurrida y almacenada. El baño



de agua forma un cierre (hidráulico) que previene la entrada incontrolada de aire.

En el generador de vapor (8), el calor contenido en los gases de escape de la combustión se convierte en vapor. A continuación de la zona de postcombustión por encima del hogar se sitúan en el sentido del flujo de los gases de escape, tres tiros verticales, de radiación en los que los gases de escape se enfrían hasta el punto de que en el tiro horizontal situado a continuación, no se producen ningún ensuciamiento de las zonas de convección que resulte perjudicial para la operación. A la entrada del tiro horizontal está dispuesto primero el haz de tubos del evaporador.

A continuación, el gas de escape recorre las superficies de caldeo del sobrecalentador y del economizador y llega a la planta de depuración de gases para la separación de los componentes nocivos del gas.

c) Lavado de gases.

En la torre de absorción (11), el gas entrante, que presenta una temperatura de aproximadamente 220°C, es enfriado hasta unos 170°C. Como medio de refrigeración se utiliza el agua salobre del lavador de HCl, neutralizada y limpia de mercurio. A través de este tipo de vaporización se consigue una operación de la planta de depuración de gases sin generar aguas residuales.

El agua salobre a inyectar y el gas residual recorren la torre de absorción de arriba abajo. Con el fin de garantizar una vaporización completa bajo todas las condiciones, el agua salobre



se pulveriza en la corriente de gas de escape a través de seis boquillas de dos materiales. Para ello se utiliza aire comprimido generado centralmente.

En el filtro de mangas situado a continuación, la ceniza volante de las plantas de combustión y generación de vapor, así como las sales reactivas secadas del agua salobre (principalmente cloruro de calcio), se eliminan prácticamente en su totalidad.

El propio filtro de mangas (12) está dividido en seis cámaras de filtrado de idéntico diseño. El gas de escape recorre las mangas de filtro allí instaladas de fuera hacia adentro. En la superficie de las mangas de filtrado se separan las partículas sólidas y al mismo tiempo las partículas de metales pesados ligados por adsorción. La funcionalidad del filtro de mangas se supervisa mediante una medición del contenido de polvo que se sitúa a continuación.

La extracción de sólidos de la torre de absorción y del filtro de mangas, así como la ceniza volante producida anteriormente en los tiros de la caldera, se transporta por aire a los silos de residuos y allí se almacena provisionalmente hasta la recogida por los vehículos del silo.

d) Lavador de HCl y SO₂.

Tras el desempolvado, los gases de escape llegan primero al lavador de HCl, diseñado en dos etapas. En la primera etapa, de extinción, el gas de escape es enfriado a la temperatura de



saturación de 65°C. En este proceso se eliminan simultáneamente HCl, HF y Hg, así como restos de polvo.

Al líquido de lavado se le añade lechada de cal en una proporción que solamente permite una neutralización parcial. De esta manera y para asegurar una separación eficiente del mercurio, el valor pH del líquido de lavado se puede ajustar.

El caudal de líquido de lavados saliente de esta etapa depende de la densidad del líquido. Este líquido pasa antes de entrar en la etapa de neutralización, por un intercambiador de iones de mercurio con el fin de eliminar las combinaciones de mercurio disueltas en el líquido de lavado y luego pasa como agua salobre a la torre de absorción.

La separación final de HCl, HF y Hg a los niveles de pureza exigidos para los gases tiene lugar en la segunda etapa ácida de lavado, que está conformada a modo de torre de absorción con un foso externo y que se opera con un valor de pH de 0,5. El vaciado de este sistema se regula a través del valor de pH y tiene lugar en la primera etapa de lavado.

Para eliminar las gotitas arrastradas, los gases de escape se conducen a través de un separador de gotas antes de entrar en el lavador de SO₂. Con el fin de evitar depósitos, este separador de gotas es lavado con agua de proceso.

En el lavador de SO₂, todas las partículas de azufre se eliminan de los gases de escape. Para ello, el lavador está conformado a modo de torre de absorción con tres niveles de boquillas. Dado que la adsorción de SO₂ solamente es efectiva



cuando se dan mayores niveles de pH, al añadir lechada de cal al foso del lavador se alcanza un pH de 5,7. El producto reactivo es yeso que en el foso del lavador se presenta como sólido en fina suspensión.

La eliminación de los productos reactivos tiene lugar a través del conducto de recirculación y desde allí pasa, mediante centrífugas, a la deshidratación del yeso. Aquí, primero se lava el yeso y luego se deshidrata hasta que alcance una humedad residual inferior al 10%. El yeso terminado se almacena provisionalmente en un silo y luego se retira para ser aprovechado en la industria de la construcción.

Tras la separación de las gotitas arrastradas en un sistema de separación de gotas de dos etapas, el gas residual es aspirado por el ventilador de gas residual. Este tiene la finalidad de superar las pérdidas de presión en el lado de gases de los componentes de depuración descritos, así como del generador de vapor y regular la presión negativa del hogar en un valor constante.

e) Planta de eliminación de NO_x / dioxinas.

Dado que la planta de eliminación de NO_x /dioxinas, situada a continuación, para la reducción catalítica del NO_x , y oxidante de PCDD/F, es operada en un mayor nivel de temperatura que el lavado en húmedo, es necesario calentar el gas de escape. Para ello se dispone de un intercambiador de calor gas/gas que aprovecha el calor de los gases de escape que salen del catalizador. Como no se puede aprovechar todo el calor, detrás del intercambiador de calor



para el calentamiento de los gases de escape a la temperatura necesaria de operación de 300°C (ajuste del gradiente), está instalado un quemador de conducto operado con gas.

Antes de la entrada al catalizador, al gas de escape se le añade amoníaco. Para este agente reductor, necesario para la eliminación del monóxido de nitrógeno, se utiliza solución amoniacal acuosa. El empleo de la solución amoniacal tiene la ventaja de un almacenamiento sin presión que no resulta peligroso.

Para que la solución amoniacal se evapore con seguridad y uniformemente sobre toda la sección del conducto, es introducida en la corriente de gas de escape a través de un sistema de boquillas de dos materiales que se opera con aire comprimido.

Solamente una parte del catalizador recorrido de arriba hacia abajo es necesario para la reducción del monóxido de nitrógeno. La mayor parte del catalizador es necesario para la destrucción oxidante de las dioxinas y los furanos, así como de otras sustancias orgánicas de los gases de escape. Como oxidante se emplea una parte del oxígeno contenido en el gas de escape.

El gas de escape sale de la planta de DeNO_x/dioxinas, tras el intercambiador de calor gas/gas, con una temperatura de unos 105°C.

El esquema de todo este proceso se puede observar en la figura siguiente.

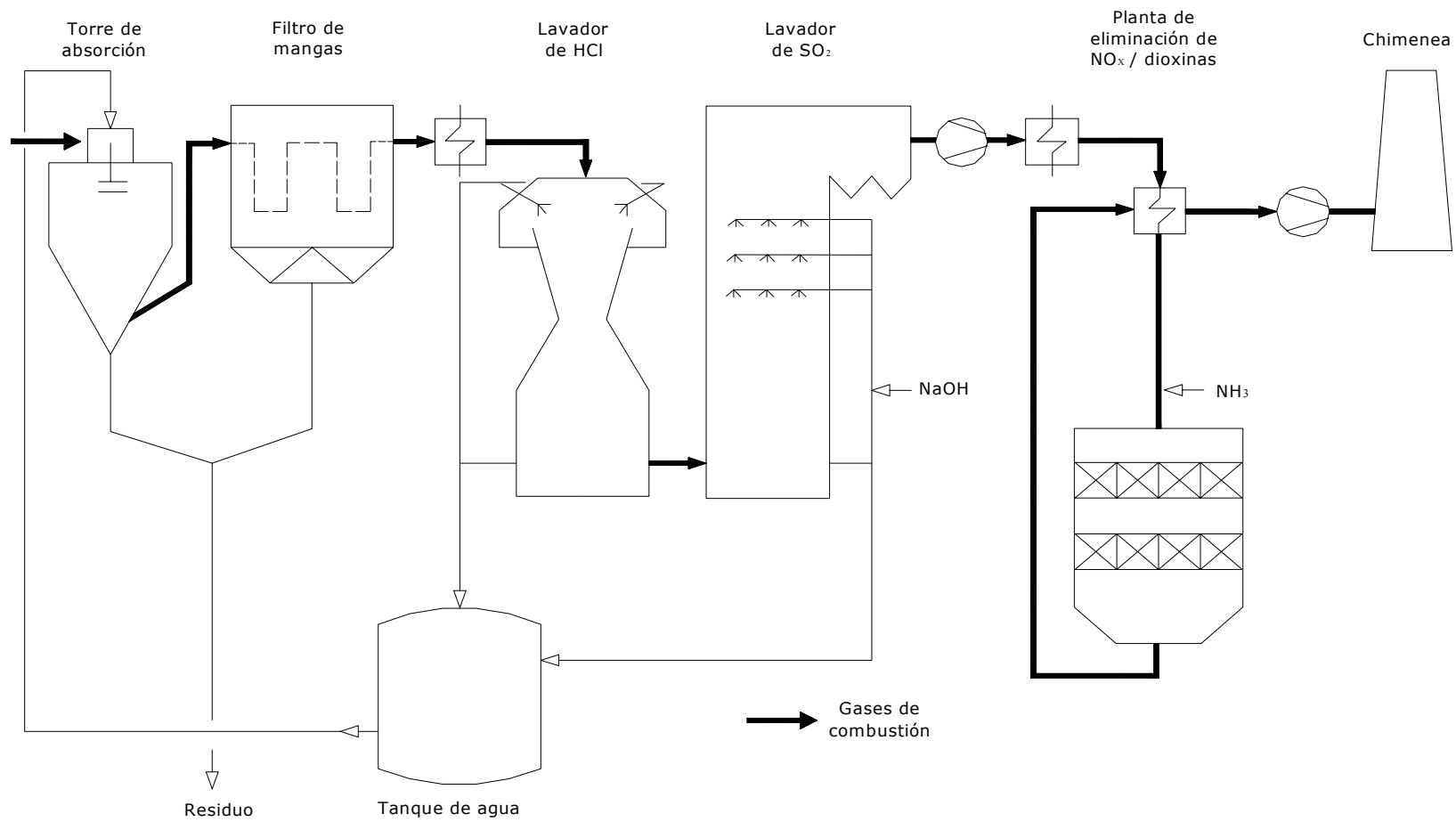


figura 4. Esquema del proceso de limpieza de gases..



7. Descripción del ciclo de potencia.

El ciclo de potencia del que vamos a hacer un aprovechamiento energético para la generación de electricidad es un ciclo de vapor del cual podemos destacar los siguientes aspectos:

- Se disponen de dos calderas iguales para la generación de vapor. El flujo de residuos de cada una es de 26.7 t/h.
- Se realizan tres extracciones intermedias, dos (las de 16 y 4 bar) se utilizan para el precalentamiento del aire primario de combustión y la tercera para precalentar el agua que sale del condensador de agua.
- La temperatura de entrada del agua de retorno de la caldera ha de ser de 130°C porque temperaturas inferiores favorecerían la corrosión y temperaturas superiores no permitirían aprovechar todo el contenido de energía que va arrastrando el gas de combustión.
- Se obtiene una producción eléctrica de 29 MW con un flujo de vapor de 31.81 kg/s a 400°C y 40 bar.

En el siguiente esquema se muestran detalladamente cada una de las corrientes que conforman el ciclo de vapor.

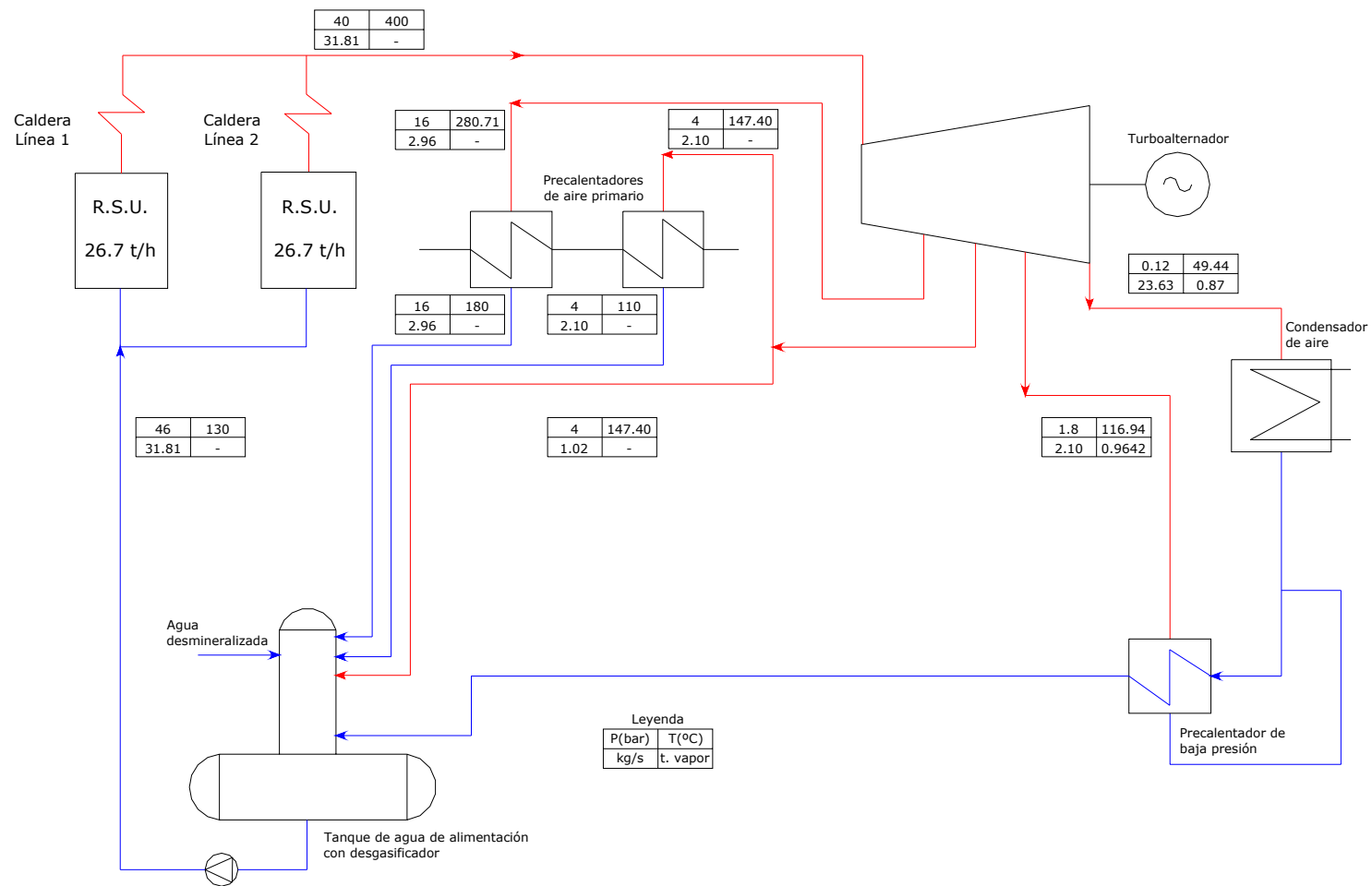


figura 5. Esquema del ciclo de potencia.



8. Descripción del esquema unifilar.

El esquema unifilar de la planta es el representado en el plano nº 3 de la memoria de planos.

El generador de 29 MW genera a un nivel de tensión de 11 kV. Esta energía generada será transformada a 66 kV, mediante el transformador correspondiente, siendo este el nivel de tensión que la compañía eléctrica nos ofrece como punto de enganche.

Los consumos de servicios auxiliares, iluminación y fuerza serán satisfechos, desde la barra de 11 kV, por la producción del generador, con el consiguiente ahorro económico.

Durante la ejecución de este proyecto se plantearon diversas alternativas al esquema unifilar finalmente propuesto. Estas alternativas iban destinadas a la resolución de problemas causados por faltas dentro de la propia planta. Ante la posibilidad de que el transformador de potencia se hallara fuera de servicio, se estudiaron varias alternativas:

- La utilización de un generador auxiliar de gas-oil, para satisfacer aquellas partes críticas de la planta como podrían ser los sistemas de refrigeración.
- La colocación de un transformador auxiliar en paralelo con el de potencia, con la misma finalidad que el caso anterior.

Estas alternativas finalmente se desecharon, por dos razones fundamentales:



- La posibilidad de que el régimen de funcionamiento de la turbina se adaptara en breves instantes a la potencia solicitada por los servicios auxiliares, lo cual solucionaría un eventual desenganche de la central de la línea de 66 kV (este régimen de funcionamiento no es aconsejable durante mucho tiempo puesto que la turbina estaría sometida a unas tensiones nada aconsejables para su vida media).
- Y la razón principal, la pequeña entidad de la generación de potencia no hacen viables, las soluciones propuestas.

Caben destacar los siguientes aspectos del esquema unifilar:

- La elección de los relés de protección de los transformadores y del generación se han realizado siguiendo las recomendaciones de R.E.E. (Red Eléctrica de España).
- Se disponen de tres transformadores. Uno de ellos, que se encuentra en la subestación de transformación de 30 MVA de potencia. Los otros dos son de distribución. Se utilizan dos por razones económicas, ya que a partir de potencias de consumo mayores de 2.500 kVA, resulta más económico (los sistemas de protección son más caros) la instalación de dos transformadores. Uno de ellos está sobredimensionado por si en un futuro se quieren realizar ampliaciones en la planta.
- En la barra de 11 kV hay un transformador de tensión en triángulo abierto al que está conectado un relé de sobretensión homopolar (64) para detectar faltas monofásicas cuando el



sistema esté aislado. Este relé producirá una señal de alarma que impide la conexión del sistema.

- Los relés están tarados de tal forma que ante una falta que se produjera en la barra de 11 kV, desenganchan a todos los dispositivos a ella conectados.
- El generador de potencia está conectado a tierra mediante una resistencia que limita la corriente de falta a 1.000 A.
- La protección de los circuitos de baja tensión se han realizado con fusibles y relés térmicos y con relés diferenciales. El empleo de fusibles garantiza un elevado poder de corte y limitación con tamaño y coste reducido, así como un tiempo de despeje de faltas muy corto. Se emplearán fusibles tipo aM. Para la protección frente a sobrecargas se emplearán relés térmicos asociados al contactor principal.
- El control de la conexión y desconexión de cada motor se realiza a través de contactores tripulares.
- Cada circuito llevará seccionadores que permitirán aislar una salida a motor del embarrado principal sin necesidad de cortar la alimentación.



9. Descripción del sistema eléctrico de generación.

9.1 Alternador síncrono trifásico.

Alternador ABB-SEMOT, tipo GBA1120 LK, autoexcitado sin anillo, ni escobillas con excitación compuesta y regulación de tensión de 33.300 KVA., 11.000 V. 50 Hz. a 1.500 r.p.m., construido conforme a las siguientes normas internacionales siguientes:

C.E.I.: recomendaciones de la Comisión Electrónica Internacional (34-1, 34-2)

V.D.E.: normas "Allemandes Verein Deutscher Elektrische Ingenieure (0530)

B.S.S.: normas británicas "British Standard Specification (4999, 5000).

9.1.1. Características mecánicas.

- Carcasa en acero
- Brida de acoplamiento en fundición, normalizada según normas SAE
- Cojinetes de bolas reengrasable
- Forma constructiva IM 1005.
- Extremo del eje del rotor, cilíndrico y normalizado
- De un solo cojinete y disco de acoplamiento construcción abierta y autoventilada
- Grado de protección: IP 54.



9.1.2. Datos técnicos del alternador.

Fabricante	ABB-SEMOT
Tipo	GBA1120 LK
Potencia nominal	33.300 kVA
Factor de potencia nominal	11 kV
Velocidad nominal	1500 r.p.m.
Potencia máxima continua con un refrigerante fuera de servicio, con tensión y factor de potencia nominal (si aplica) (kVA)	33300 kVA
Valor máximo del $I_2^2 \cdot t$	20
Valor máximo de I_2 en permanencia	8 A
Rango de funcionamiento en tensión a frecuencia nominal	$\pm 5 \%$
Máximas variaciones de frecuencia admisibles	$\pm 2 \%$
Capacidad de sobrecarga	50 %
duración en minutos	0.5
Tiempo máximo admisible de cortocircuito trifásico en los terminales del generador en condiciones normales y máxima excitación.	3 s
Clase de aislamiento y elevación máxima de temperatura sobre el ambiente: - Bobinados del estator - Bobinados del rotor	
	F / B
	F / B
Tensión de excitación: - En vacío a la tensión nominal - A la potencia nominal y factor de potencia nominal	
	63 V
	141 V



Resistencias:		
- Rotor a 20 °C	0.220 Ω	
- Estator a 20 °C	0.009 Ω	
- Homopolar a 20 °C	0.0081 Ω	
Reactancias nominales a la potencia y tensión nominal en régimen saturado: (p.u.)	Eje Directo	Eje Trans.
- Subtransitoria X ^{''}	0.142	0.213
- Transitoria X [']	0.222	---
- Síncrona X	1.54	0.744
- Secuencia inversa X ₂	0.175	
- Secuencia homopolar X ₀	0.067	
Reactancias nominales a la potencia y tensión nominal en régimen no saturado (p.u.)	Eje Directo	Eje Trans.
- Subtransitoria X ^{''}	0.161	0.242
- Transitoria X [']	0.259	---
- Síncrona X	1.66	0.806
- Secuencia inversa X ₂	---	
- Secuencia homopolar X ₀	---	
- Potier X _p	0.18	



Constantes de tiempo:					
- Subtransitoria directa T''_d	0.025 s				
- Transitoria directa T'_d	0.95 s				
- Armadura T_a	0.17 s				
- En circuito abierto T'_{d0}	8.28 s				
- Subtransitoria transversal T''_q	0.0368 s				
- Transitoria transversal T'_q	---				
- En circuito abierto T'_{q0}	---				
Capacidad fase-tierra del estator	0.148 μ F				
Relación de cortocircuito	0.65				
Pérdidas en condiciones nominales de factor de potencia y tensión (kW):	Estado de Carga				
	100 %	75 %	50 %		
	- En el núcleo	Fe	95.6	95.6	95.6
	- Por Joule en el estator	Cu_1	106.7	60.0	26.7
	- Por Joule en el rotor	Cu_2	74.2	51.9	34.0
	- Dispersión	Stray	42.0	24.0	10.2
	- Cojinetes	Bearings	25	25	25
	- Otras	Friction	87.5	87.5	87.5
	- Totales		431	344	279
	- Rendimiento		98.58	98.49	98.17
Factor de desviación de forma de onda	10 %				
Nivel de ruido a 1 m. de distancia	$\leq$ 83 dBA				
Vibraciones (simple amplitud)	16 μ m				
Factor más bajo de seguridad del rotor	1.124				



Velocidades críticas del rotor:	
- Primera	2331 r.p.m.
- Segunda	---
Sobrevelocidad máxima admisible 2 min.	120 %
Momento de inercia del rotor	2505 kgm ²

9.1.3. Sistema de excitación.

Sistemas de excitación brushless.

Fabricante	ABB SEMOT
Tipo	GLC 600
Tensión nominal	155 V
Intensidad nominal	545 A
Tensión de techo	366 V
Velocidad de respuesta	$> 1 \text{ s}^{-1}$
Potencia nominal de la excitatriz	84.5 kW
Potencia máxima	472 kW
Tiempo admisible a la máxima potencia	10 s
Momento de inercia de la excitatriz	incl. en generador



9.1.4. Excitatriz piloto

Fabricante	NEWTON DERB4
Tipo	PMG
Potencia nominal de la excitatriz piloto	2.66 kW
Tensión nominal	220 V
Intensidad nominal	11.8 A
Momento de inercia de la excitatriz piloto	incl. en generador

9.1.5. Regulación de tensión.

Fabricante	ABB
Tipo	UNITROL F
Campo máximo de regulación	160
Regulación a plena carga	$\pm 10 \%$
Constante de tiempo de respuesta	1.1 1/s

9.1.6. Cuadro de control y de potencia del generador.

El control del generador y de los interruptores de potencia se realiza a través de un módulo de control y potencia.

Los cuadros de control, protección y potencia del generador se basan en el uso de un autómata programable (PLC) que rodeado por el equipamiento necesario, permite el desempeño de las siguientes maniobras y funciones:

- Funcionamiento completamente automático y manual asistido de la instalación.



- Protección continuada de turbina y alternador, con parada de grupo en caso de anomalía en éste. Las acciones de las alarmas se ejecutan, bien sea de forma inmediata, o en conjunción de las condiciones de funcionamiento (control en servicio).
- Sincronización automática del grupo con la red.
- Control de potencia del grupo en función de la disponibilidad de vapor, mediante señal de caudal a las válvulas.

9.1.7. Protecciones de generación.

A continuación se describirán brevemente las protecciones elegidas para el grupo generación y se darán los ajustes de aquellos relés que la compañía Endesa impone para la conexión de dicho grupo de generación a su red, las demás estarán ajustadas por el propio fabricante del generador.

- Diferencial de generador, 87G.

La protección principal a utilizar es un relé diferencial de alta velocidad.

Las faltas entre fases en el sistema de generación son de carácter grave, ya que pueden provocar daños serios en aislamientos, arrollamientos y chapa magnética del estator, así como esfuerzos mecánicos de torsión en el rotor.

Se necesita un sistema de protección muy selectivo. Además debe ser muy rápido, ya que las intensidades de falta son bastantes elevadas.

- Sobreintensidad, 51.

Como protección de apoyo se utiliza este relé además de uno de mínima impedancia (21), que describiremos más tarde.

La protección de sobreintensidad se coloca en el lado de neutro de la máquina, porque interesa medir la aportación del generador a la falta, y no a la red. Es una protección temporizada con memoria de tensión, que dispone de dos elementos: uno de mínima tensión y otro de intensidad. Colocamos este tipo porque en máquinas autoexcitadas, cuando ocurre un cortocircuito, la tensión se reduce aportando cada vez menos intensidad, y la protección recae sin haberlo despejado.

- Protección de mínima impedancia del generador, 21.

La protección de mínima impedancia es mucho más selectiva y rápida que la anterior. Se ajusta el círculo de forma que no vea faltas más allá del transformador. (Radio= 0,9 veces la reactancia de cortocircuito del transformador).

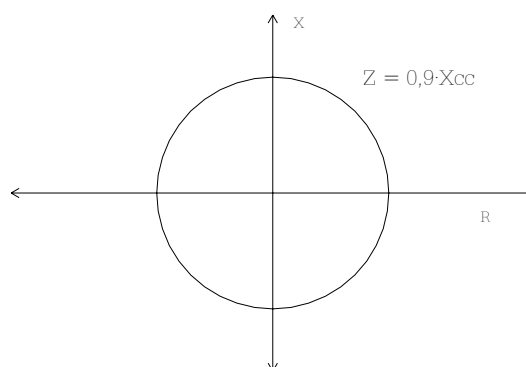


figura 6. Característica de mínima impedancia.



- Protección contra carga desequilibrada, 46.

Las intensidades desequilibradas en un alternador pueden aparecer por diversas causas, entre las que se pueden señalar:

- Asimetrías de reactancias en el sistema de transporte.
- Cargas desequilibradas.
- Faltas desequilibradas.
- Fases abiertas, por aperturas de conexiones.

Las intensidades inversas, obtenidas al descomponer el sistema desequilibrado en componentes simétricas, inducen intensidades de frecuencia doble en el rotor. Estas corrientes inducidas provocan pérdidas que, por efecto Joule, calientan el rotor en poco tiempo. El fabricante especifica la capacidad de soportar intensidades inversas.

- Protección contra pérdida de sincronismo, 78.

Son muchos los factores que pueden llevar al generador a la pérdida de sincronismo. De esta forma, la máquina pasa a funcionar a velocidad distinta de la síncrona, con sucesivos deslizamientos o pérdidas de polos, y ángulos de carga superiores a 90° .

Las consecuencias directas sobre el generador son de tipo mecánico, y se deben a los fuertes pares de freno y aceleración a los que se somete la máquina. También se ve afectada la estabilidad de la red. Por ello se coloca esta protección.



- Protección contra variaciones de frecuencia, 81 m/M.

Son protecciones que controlan las variaciones de frecuencia. La primera no debe confundirse con la de sobrevelocidad, ya que esta se detecta cambios muy elevados en la velocidad (frecuencia) del generador.

Su tarado está impuesto por la Compañía Eléctrica y el de máxima frecuencia lo está a 51 Hz y el de mínima a 49 Hz.

- Protección de mínima tensión, 27.

Una caída de tensión tiene especial repercusión en los servicios auxiliares de la Central.

El motivo es la relación directa de la magnitud de tensión con el par desarrollado por los motores.

El objeto de la protección de mínima tensión en barras de servicios auxiliares es:

- detectar las caídas de tensión.
- iniciar la secuencia de disparo del conjunto caldera-turbina-alternador, antes de que se produzca el bloqueo de los accionamientos, y
- evitar un posible arranque simultáneo de todos los motores ante una pérdida de tensión.

El ajuste de dicho relé se realizará a un 85% de la tensión nominal.



- Protección contra sobretensiones, 59.

Dos son los tipos de sobretensiones que pueden afectar al funcionamiento normal del alternador:

- Sobretensiones transitorias. Que pueden ser de maniobra o de origen atmosférico.
- Por defectos de regulación (funcionamiento anómalo del regulador de tensión).

Se utilizará el relé de sobretensión, con dos escalones de actuación. El primero instantáneo a 1,4 veces la tensión nominal. El segundo con una característica de tiempo inverso a 1,1 veces la tensión nominal.

- Protección contra retorno de energía, 32.

La protección contra retorno de energía (también denominada de antimotorización) sirve para separar al generador de la red cuando falla la turbina. Es decir cuando éste pase a funcionar como motor síncrono para mover a la turbina.

Se usa un relé direccional de potencia monofásico. Se ajusta a 0,005 veces la potencia nominal del generador.

- Protección contra pérdida de excitación, 40.

La pérdida de la excitación puede producirse por diversos motivos: fallo en el sistema de regulación, pérdida de la alimentación de la excitación. etc. Esto puede provocar daños serios en el alternador. Al perder excitación, el grupo generador consume



potencia reactiva de la red, para absorber de ésta su excitación, lo cual puede desestabilizarlo.

Para protegerlo se mide la impedancia del sistema en bornas del generador, detectando cuándo la impedancia del sistema es tal que se está consumiendo reactiva.

Cuando la máquina funciona a plena carga, la impedancia que ve en sus terminales varía, en diagrama R-X, desde un valor en el primer cuadrante, hasta un valor en el cuarto cuadrante, algo mayor que $x'_d/2$ (reactancia transitoria directa), cuando está muy subexcitada. En caso de funcionar en vacío, éste último llega hasta x_d (reactancia síncrona directa).

El relé de impedancia se ajusta siguiendo la siguiente característica:

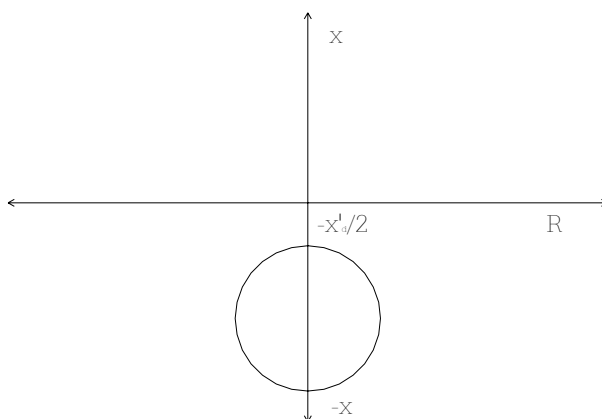


figura 7. Característica de pérdida de excitación.



9.2 Descripción del centro de transformación.

9.2.1. Transformador elevador.

Se dispone un transformador trifásico a la salida del generador para elevar la tensión desde 11 kV de la generación, a 66 kV de la red de Endesa Generación. Este transformador se dispondrá a la intemperie en el recinto destinado a la transformación de la tensión.

Las características constructivas de este transformador marca OASA son:

- Servicio de intemperie.
- Aislamiento y enfriamiento en baño de aceite.
- Refrigeración natural tipo ONAN (aceite).
- Llenado de aceite integral con depósito de expansión.
- Arrollamiento de AT y BT en aluminio.
- Arrollamiento en BT en espiral, con conductor en banda aislado con papel epoxy entre espiras.
- Arrollamiento de AT continuo por capas aislante y canales de refrigeración.
- Aislamiento clase A.
- Tapa empernada sobre cuba.
- Circuito magnético ejecutado en chapa de acero al silicio de grano orientado, formando núcleos de sección cruciforme.
- Frecuencia 50 Hz.

Régimen de funcionamiento continuo.



- Altitud inferior a 1.000 metros.
- Temperatura ambiente máxima 40 °C
- Calentamiento arrollamientos y aceite inferior a 65/60 K

Normas seguidas en la construcción del transformador:

- UNE 20101 (CEI 76)
- Documento europeo de armonización CENELEC HD 428
- UNESA 5201D
- UNE 20138

9.2.2. Características técnicas del transformador.

TRANSFORMADOR ELEVADOR	
Marca	OASA
Potencia asignada	30.000 kVA
Tensión de aislamiento	72.500 V
Tensión primaria	66.000 V
Tensión secundaria	11.000 V
Regulación sin tensión	($\pm 2,5$ %, ± 5 %, ± 7 %)
Grupo de conexión	Ydn11
Pérdidas en el hierro	25177 W
Pérdidas en el cobre	122.964 W
Tensión de cortocircuito	10,31 %
Corriente de vacío a 100% U_n	0,40(%)
Corriente de vacío a 110% U_n	1,30(%)
Caída de tensión a plena carga con $\cos\varphi = 1$	1,23
Caída de tensión a plena carga con $\cos\varphi = 0,8$	4,48
Calentamiento en el cobre	65°C
Ruido Potencia acústica	75 dB
Peso total	48.274 kg
Peso de la parte activa	27.471 kg
Líquido	10.263 kg



9.2.3. Accesorios.

- Apoyos y ganchos de elevación y manutención.
- Depósito de expansión, conservador de aceite con sus respectivas válvulas.
- Válvula de alivio de presión.
- Indicador magnético de nivel de aceite, con alarma por bajo nivel.
- Válvula de llenado, vaciado y filtrado.
- Grifo de extracción de muestras de aceite.
- Relé buchholz con dos contactos.
- Secador de silicagel.
- Termómetro de esfera.
- Tomas de tierra.
- Ruedas orientables.
- Zapatas de apoyos para gatos.
- Caja de bornas auxiliares.
- Termostato de alarma y disparo.
- Transformador de intensidad de cuba, relación 100/5 A.

El pozo apagafuegos tendrá las dimensiones necesarias para contener una capacidad mínima, igual al volumen de aceite del transformador situado como se indica en el plano correspondiente a la subestación.



9.2.4. Ajustes de las protecciones del transformador.

A continuación se muestran los ajustes de los relés de protección del transformador de potencia realizados por el fabricante del transformador.

- Termostato de protección, 26:
 - 26 A, (alarma): tarado a 90°C.
 - 26 D, (disparo): tarado a 95°C.

- Termómetro de protección, 49:
 - 49 A, (alarma): tarado a 90°C.
 - 49 D, (disparo): tarado a 95°C.

- Relé Buchholz, 63:
 - tarado a 0,4 kg/cm².



9.3 Transformadores de distribución.

Se disponen de dos transformadores trifásicos de distribución destinados a los servicios auxiliares de la central. Transforman de 11.000 V de la barra de generación a 400 V. Estos transformadores se dispondrán en una caseta prefabricada (como se indica en la figura de final de apartado). El objeto de colocar dos transformadores de distribución en lugar de uno con la potencia suficiente para todas las necesidades de potencia es meramente económico ya que a partir de 2500 kVA el costo de la aparamenta del transformador se dispara por lo que resulta económicamente rentable utilizar dos transformadores de distribución.

Las características constructivas de este transformador marca ALKARGO son:

- Servicio de interior.
- Aislamiento y enfriamiento en baño de aceite.
- Refrigeración natural tipo ONAN (aceite).
- Llenado de aceite integral con depósito de expansión.
- Arrollamiento de AT y BT en aluminio.
- Arrollamiento en BT en espiral, con conductor en banda aislado con papel epoxy entre espiras.
- Arrollamiento de AT continuo por capas aislante y canales de refrigeración.
- Aislamiento clase A.
- Tapa empernada sobre cuba.



- Circuito magnético ejecutado en chapa de acero al silicio de grano orientado, formando núcleos de sección cruciforme.
- Frecuencia 50 Hz.

Régimen de funcionamiento normal

- Altitud inferior a 1.000 metros.
- Temperatura ambiente máxima 40 °C.
- Calentamiento arrollamientos y aceite inferior a 65/60 K.

Normas seguidas en la construcción del transformador:

- UNE 20101 (CEI 76)
- Documento europeo de armonización CENELEC HD 428
- UNESA 5201D
- UNE 20138

9.3.1. Características técnicas del transformador.

TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN	
Marca	ALKARGO
Potencia asignada	2.500 kVA
Tensión de aislamiento	17.500 V
Tensión primaria	11.000 V
Tensión secundaria	400 V
Regulación sin tensión	($\pm 2,5$ %, ± 5 %)
Grupo de conexión	Dyn11
Pérdidas en vacío	3.800 W
Pérdidas por carga a 75 °C	26.500 W
Tensión de cortocircuito	7,8 %
Corriente de vacío a 100% U_n	1,3
Corriente de vacío a 110% U_n	3,0
Caída de tensión a plena carga con $\cos\varphi = 1$	1,23
Caída de tensión a plena carga con $\cos\varphi = 0,8$	4,48



Rendimiento a carga 100% $\cos\varphi = 1$	98,80%
Rendimiento a carga 25% $\cos\varphi = 0,8$	98,92 %
Ruido Potencia acústica	76 dB
Peso total	5.500 kg
Líquido	1.170 kg

9.3.2. Accesorios

- Apoyos y ganchos de elevación y manutención.
- Depósito de expansión, conservador de aceite con sus respectivas válvulas.
- Válvula de alivio de presión.
- Indicador magnético de nivel de aceite, con alarma por bajo nivel.
- Válvula de llenado, vaciado y filtrado.
- Grifo de extracción de muestras de aceite.
- Relé buchholz con dos contactos.
- Secador de silicagel.
- Termómetro de esfera.
- Tomas de tierra.
- Ruedas orientables.
- Zapatas de apoyos para gatos.
- Caja de bornas auxiliares.
- Termostato de alarma y disparo.
- Transformador de intensidad de cuba, relación 100/5 A.

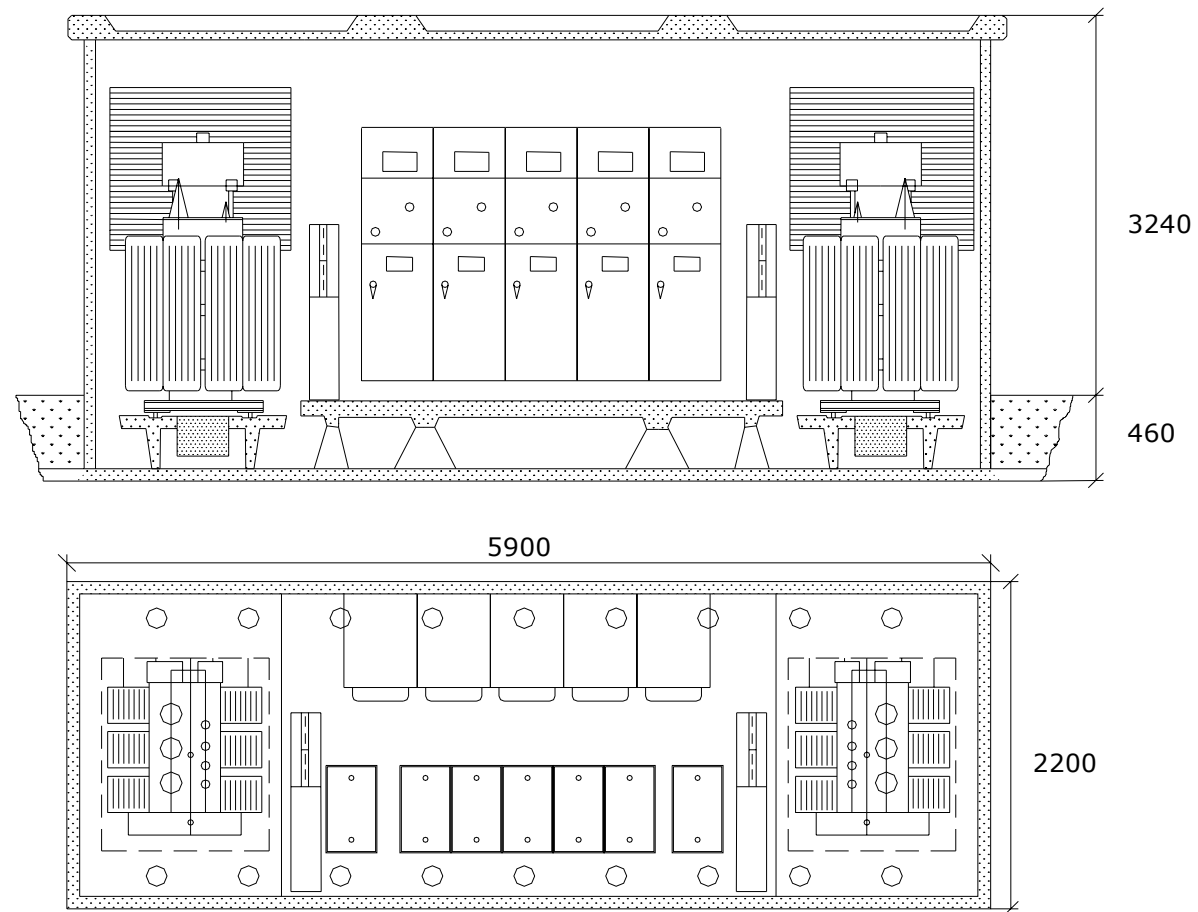


figura 8. Caseta prefabricada que contiene los transformadores de distribución.



10. Descripción del turbogruppo de vapor.

Concepto constructivo.

Se trata de un grupo formado por una turbina de vapor acoplada a un alternador mediante una reductora de velocidad (de velocidad de entrada de 5500 r.p.m y velocidad de salida de 1500 r.p.m.), fijados a un bancada común fabricada en acero electrosoldado.

El grupo generará 29 MW_e a 11 kV y 50 Hz.

Turbina de vapor.

Se trata de una turbina de vapor del tipo KR 71/150 de la marca Blohm + Voss AG con tres extracciones intermedias de vapor, las dos primeras destinadas a un precalentamiento intermedio del aire primario de combustión y la tercera a un precalentamiento a baja presión del agua de retorno del condensador.

La turbina está construida según las normas internacionales DIN estándar 4312, VDEW, VDE-Dampfturbinenreglen, IEC 45, DIN 1943 y la especificación estándar API 612.

El diseño tiene además las siguientes características:

- rotor de tipo tambor.
- álabes de reacción.
- sellado de tipo laberíntico.
- cojinetes antifricción en cámara de aceite.



a) Carcasa de turbina.

La carcasa de la turbina es de acero fundido, en ella se integran la conexión de salida, el pistón de equilibrado y los soportes para los álabes guía.

El grupo de válvulas de control y toberas se realiza como una pieza aparte y posteriormente se embrida a la carcasa.

El centrado del rotor en la carcasa se asegura de la siguiente manera:

1. Verticalmente soportando las ménsulas axialmente sobre los brazos soporte de cojinetes, y al final por ménsulas laterales directamente sobre soportes de la fundación o la estructura base.
2. Horizontalmente por guías de la carcasa en la mitad inferior de ésta.

b) Portador de álabes guía.

Las piezas donde van soportados los álabes guía en la zona de reacción son de construcción de acero fundido y divididos horizontalmente en dos mitades como la carcasa.

Estos soportes se unen rígidamente a la carcasa en sentido axial, pero pueden moverse en el sentido radial cuando se producen cambios de temperatura, gracias a la suspensión elástica. Esta suspensión asegura la posición concéntrica de las piezas soporte de los álabes fijos respecto al rotor de la turbina.



c) Sellos, pistón de equilibrado.

El sellado de vapor entre carcasa y rotor en los extremos de la turbina así como en pistón de equilibrado son de tipo laberíntico.

d) Álabes.

Las ruedas de álabes consisten en:

- 1 rueda de acción como de escalonamiento de control.
- una parte de reacción con múltiples escalones.

e) Rotor de la turbina.

El rotor de la turbina es de tipo tambor. Junto con el pistón de equilibrado y la rueda de control forma una sólida pieza forjada.

f) Cojinetes.

El rotor de la turbina está soportado sobre dos cojinetes radiales y fijado axialmente por un cojinete de empuje.

Los cojinetes radiales son del tipo antifricción y lubricados en aceite. La posición estable del rotor es mantenida por medio de cuñas de aceite espaciadas homogéneamente a lo largo de la circunferencia del cojinete.

El cojinete de empuje está diseñado como un cojinete de doble superficie que absorbe el empuje resultante que no



contrarresta el pistón de equilibrado. A todos los cojinetes se les suministra aceite a presión.

Consumo eléctrico de la turbina.

A continuación se presenta un listado de los consumos eléctricos de la planta:

Nº	Motor	Pot. (kW)	Veloc. (r.p.m.)	corriente	tensión	Prot.
1	Bomba de aceite	40	1500	AC	400	IP 54
1	Bomba emerg.aceite	10	1500	DC	110	IP 54
1	Virador	15	1500	AC	400	IP 54
2	Ventilación	1.3	1500	AC	400	IP 54
1	Calentamiento tanque	10	-	AC	400	IP 54
1	Control	1	-	DC	24	
4	Varios	1	-	AC	230	
2	Varios	1	-	DC	110	

Tabla 5. Lista de motores auxiliares de la turbina.



11. Planta de tratamiento de agua.

Para utilizar el agua procedente de un río cercano, es necesario que el agua se encuentre desmineralizada y destilada para evitar posibles incrustaciones de cal en aquellas zonas donde se producen evaporaciones y condensaciones. Para ello se dispone de un equipo de tratamiento de agua.

Esta unidad de tratamiento consta de los siguientes elementos: descarbonatador, filtros de arena, cambiador catiónico, cambiador aniónico, desgasificador térmico. La finalidad de este equipo es obtener un agua de determinadas características especificadas, a partir del análisis del agua disponible.

El descarbonatador se diseña para conseguir la formación, maduración y decantación acelerada de los fangos que se producen en el proceso de floculación o de precipitación cristalina que ocurre en el seno de las aguas brutas. Esta descarbonatación será con cal.

Los filtros de arena: en ellos tiene lugar un proceso de filtración a través de un medio poroso, reteniéndose las partículas en suspensión. En cuanto al desgasificador, la misión de éste es controlar la presencia de oxígeno, lo que conduce a corrosiones tanto más importantes y rápidos cuanto más elevada sea la presión de funcionamiento de las calderas.

Teóricamente es suficiente, de acuerdo con la ley de Henry, para eliminar el oxígeno, anular la presión de éste por encima del agua. Para ello se lleva el agua a la temperatura de saturación a la presión de servicio, los gases disueltos y por tanto el oxígeno, pasa



automáticamente a la atmósfera de vapor de saturación así creada. Esta mezcla gas-vapor se evacua al exterior de forma continua mediante la purga de aire. Basta pues, introducir en el recinto en el que tiene lugar el proceso, un cierto volumen de vapor que compense las pérdidas de calorías correspondiente a la evaporación del vapor arrastrado por los gases y que, eventualmente, efectúe el recalentamiento del agua.

El desgasificador se suele prever para una presión efectiva de 100 a 230 g/cm² a la que corresponde una temperatura de ebullición del agua comprendida entre 102 y 105 °C.

La desmineralización consiste en eliminar o disminuir la concentración de sales que se encuentren disueltas en el agua hasta dejarlas a unos niveles lo suficientemente bajos que resulten aceptables para los fines perseguidos.

La técnica que se emplea es la de intercambio iónico por medio de resinas sintéticas en la que se distinguen dos etapas bien diferenciadas:

1. Etapa de Intercambio Catiónico.
2. Etapa de Intercambio Aniónico.



11.1 Etapa de Intercambio Catiónico

En esta etapa que es la primera, se hace pasar el agua ya pretratada y con todas sus sales en disolución, por un lecho de Resinas Catiónicas Fuertes bajo la forma H.

Este contacto íntimo provoca un intercambio de iones entre la resina y el agua, adsorbiendo la resina todos los cationes tales como Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} , etc., y cede en su lugar protones H^{++} . Todo esto según las reacciones.

Dada la poca capacidad de adsorción que presenta el ión sodio (Na^{++}) frente a los demás, es posible que se produzca una pequeña fuga del intercambiador de cationes con valores superiores a 1 p.p.m.

El pH del agua efluente es inferior a 3, debido a los ácidos fuertes que se forman, tales como el sulfúrico y el clorhídrico.

El flujo de agua de proceso va en contracorriente al agua en la etapa de regeneración; en la etapa de proceso el agua entra por la parte superior y sale por la inferior, mientras que la regeneración se realiza de abajo hacia arriba.

La regeneración se realizará en contra corriente porque presenta las siguientes ventajas frente al sistema más normal que es el equicorriente:

- Mucha menor fuga catiónica.
- Considerable ahorro de regenerante, lo que lleva un menor coste.
- Menor consumo de agua de desplazamiento.



11.2 Etapa de intercambio aniónico.

En esta etapa, se hace pasar el agua ya descationizada de la primera etapa por un lecho de resinas aniónicas fuertes bajo la forma de OH^- .

Los aniones como sulfatos, cloruros, nitratos, carbonatos, etc. Son adsorbidos en la superficie de la resina, cediendo en su lugar los iones OH^- al efluente.

Los iones OH^- son arrastrados con el efluente, por lo que mientras la resina tenga capacidad para absorber aniones, la reacción se propagará hacia la derecha.

La fuga de ión Na^{++} de C.C.F atravesará el C.A.F sin sufrir transformación.

El proceso de intercambio se realiza de arriba hacia abajo, y la regeneración en contracorriente de abajo hacia arriba.

Las ventajas de emplear el sistema de regeneración en contracorriente frente al equicorriente son:

- Menor fuga aniónica.
- Considerable ahorro de regenerante.
- Menor consumo de agua de desplazamiento.

La solución regenerante se forma mezclando hidróxido sódico al 50% con agua desmineralizada.