



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y FACULTAD DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES**

**TITULACIÓN DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ESPECIALIDAD EN
MECÁNICA**

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA IMPLANTACIÓN DE
MEJORAS TÉCNICAS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CLORO
RESIDUAL EN LA REFRIGERACIÓN DE LA CENTRAL
TÉRMICA DE CARBONERAS (ALMERÍA)**

Alumno: Daniel Torres Gallegos

Directores: Francisco Javier Garrido Jiménez

Iván Franco Carballo

Almería, Febrero de 2014



Análisis de alternativas para mejoras en la medición de cloro residual de la CTLA

Comienza ahora lo que serás de aquí en adelante

SAN JERÓNIMO



AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por vuestra infinita paciencia e inestimable ayuda.

A mis hermanos, porque siempre habéis sido y seréis un modelo a seguir para mí.

A la Central Térmica Litoral de Almería y, en especial, a la Unidad de Mantenimiento Mecánico por todos los recursos facilitados y el buen trato recibido sin lo cual este trabajo hubiera sido imposible.

Gracias.



RESUMEN

Las centrales termoeléctricas son instalaciones empleadas en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor mediante la combustión de fósiles como el petróleo, gas natural o el carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica. Las centrales disponen de diversos circuitos de agua con distintos objetivos. Entre ellos está el circuito de refrigeración o también llamado de circulación, que sirve, fundamentalmente, para refrigerar y limpiar el interior del condensador mediante diversos sistemas y la adición de productos químicos como el cloro.

Entre los numerosos problemas que pueden presentarse en las centrales eléctricas (térmicas o nucleares) refrigeradas con agua de mar, es de especial interés la aparición y el desarrollo del mejillón común, cuya prolificidad origina una rápida obstrucción de los tubos que componen el circuito del agua de circulación. Si estas instalaciones no están sometidas a tratamientos preventivos ni emplean dosis suficientes para su neutralización, pueden transformarse con rapidez en auténticos criaderos de mejillones, llegando incluso a obligar a la interrupción del funcionamiento de las centrales para proceder a la limpieza manual. Esto puede originar problemas de todo tipo: falta de abastecimiento de energía a industrias y hogares, costes de reparación y mano de obra, posibles vertidos contaminantes al mar, peligro para los operarios en la limpieza debido a la putrefacción de moluscos, etc.

El sistema más empleado para combatir todo tipo de incrustaciones biológicas en los circuitos de centrales eléctricas es la adición de cloro. Con ello se consigue la eliminación de toda clase de vida al tiempo que se realiza una limpieza efectiva del circuito.

El presente trabajo tiene por objeto analizar las distintas posibilidades existentes para realizar la toma de muestras de cloro residual en el canal de descarga una central térmica. El análisis se ha centrado en la Central Térmica Litoral de Almería, dados los problemas que históricamente ha presentado la instalación que fue concebida en el diseño inicial de la central.

El estudio ha partido de una revisión bibliográfica de la que se han obtenido las diferentes opciones para realizar la toma de agua de salida del canal. En una segunda fase se ha realizado un análisis económico y otro multicriterio que han permitido seleccionar la



alternativa de implantación de un grupo de bombeo como opción mejor valorada. Finalmente, se ha realizado un dimensionamiento de las instalaciones necesarias para implementar en la práctica la alternativa elegida.



ABSTRACT

This work will be located in a context marked by the presence of thermal power plants and cooling. Thermal power plants are employed in facilities generating electrical energy from the energy released as heat by burning fossil fuels like oil, natural gas or, in our case, coal. This heat is used by a conventional thermodynamic cycle to drive a generator and produce electricity. These plants have different water circuits with different objectives. We study the cooling water circuit, also called circulation, which serves primarily to cool and clean the inside of the condenser through various systems and the addition of chemicals such as chlorine.

Among the many problems that can happen in power plants (thermal or nuclear) refrigerated sea water, is special interest the emergence and development of the common mussel, whose prolificity causes a fast clogging of the tubes that make up the water circuit circulation. If these facilities are not subject to preventive treatments are not enough dose for neutralization can be transformed quickly into real mussel farms forcing interrupting the plant operation to proceed with manual cleaning causing all sorts of problems: lack of energy supply to industries and homes, repair costs and labor, possible pollutant discharges to the sea, danger to operators in cleaning due to putrefaction of molluscs, etc.

The system most widely used to combat all types of fouling in the circuits of power plants, as we say, is the addition of chlorine. Thereby eliminating all life while effectively cleaning the circuit is done achieved.

This paper aims to analyze the different mechanisms sampling of wastewater in the discharge channel of the plant Litoral de Almería consolidated basis as the sole criterion, looking purely economic aspects, and the multi-criteria, where define a series of measures on what is required for each alternative.

It seeks, above all, economical, comfortable, reliable and compliant with relevant regulations. The fact that there are deficiencies in the current system makes sampling more interesting alternative approach to meeting these teams and then based on various predetermined criteria, choose the new system that best suits your needs.



ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1. Introducción.....	15
1.1.- Interés.....	15
1.2.- Objetivos.....	15
1.3.- Alcance.....	15
Capítulo 2. Revisión bibliográfica.....	16
2.1.- Tecnologías una central térmica de carbón.....	16
2.1.1.- El alternador.....	17
2.1.2.- La turbina.....	18
2.1.3.- El condensador.....	20
2.1.3.1.- Disposiciones constructivas.....	23
2.1.3.1.1.- Haz tubular.....	23
2.1.3.1.2.- Los tubos del condensador.....	24
2.1.3.1.3.- Accesorios diversos.....	25
2.1.3.2.- Particularidades.....	25
2.1.3.2.1.- Ensuciamiento del condensador.....	25
2.1.3.2.2.- Temperatura del agua de circulación.....	26
2.1.3.2.3.- El caudal de agua de circulación.....	26
2.1.3.2.4.- El agua de alimentación.....	26
2.1.3.2.5.- Inyección de cloro.....	27
2.1.3.2.6.- Trayectoria del agua condensada.....	27
2.1.3.2.7.- Perforación de un tubo.....	29
2.1.4.- La torre de refrigeración.....	30
2.1.4.1.- Torres S.C.A.M.....	31
2.1.4.2.- Torres HAMON.....	32
2.1.5.- La chimenea.....	32
2.1.6.- La caldera.....	33
2.1.7.- La preparación del carbón.....	35
2.1.8.- El sistema de evacuación de cenizas.....	35
2.1.9.- El sistema de depuración de gases.....	36
2.1.10.- El sistema de vigilancia ambiental.....	37



2.2.- Necesidad del tratamiento frente a la proliferación biológica.....	39
2.3.- Necesidad de limitar y medir el cloro residual en el punto de vertido.....	44
2.4.- Mecanismos de medición de cloro residual en aguas.....	45
2.4.1.- Botellas y cubos.....	46
2.4.2.- Botellas lastradas.....	46
2.4.3.- Botellas con apertura y cierre automático.....	47
2.4.4.- Sistemas de bombeo.....	49
2.4.5.- Sistemas integradores en profundidad.....	51
2.4.6.- Muestreadores automáticos pasivos.....	53
Capítulo 3. Planteamiento del problema.....	56
3.1.- Problema existente en el canal de descarga de la CTLA.....	56
3.2.- Descripción general de la Central Térmica Litoral.....	57
3.2.1- Breve historia.....	57
3.2.2- Características de los grupos.....	59
3.3.- Circuito de refrigeración de la CTLA.....	63
3.3.1.- Partes del circuito.....	64
Capítulo 4. Análisis de alternativas.....	74
4.1.- Criterio único.....	75
4.2.- Multicriterio.....	78
Capítulo 5. Alternativa elegida.....	81
5.1.- Sistema de bombeo.....	81
5.1.1.- Características de las bombas.....	83
5.1.2.- Las causas de avería para estas bombas.....	84
5.1.3.- Puesta en marcha de las bombas.....	85
5.1.4.- Parada de la bomba.....	87
5.2.- Tomamuestras.....	88
5.3.- Instalaciones complementarias.....	95
Capítulo 6. Resultados y discusión.....	103



Capítulo 7. Conclusiones.....	107
Capítulo 8. Referencias.....	108
- Referencias bibliográficas.....	108
- Referencias web.....	110



Anexos

Anexo 1. Sistema de refrigeración. Descarga de aguas residuales. Planta general.....	114
Anexo 2. Sistema de refrigeración. Descarga de aguas residuales. Cámara de rotura.....	115
Anexo 3. Sistema de refrigeración. Descarga de aguas residuales. Cámara de rotura. Secciones y detalles.....	116
Anexo 4. Sistema de refrigeración. Descarga de aguas residuales. Canal enterrado. H1.....	117
Anexo 5. Sistema de refrigeración. Descarga de aguas residuales. Canal enterrado. H2.....	118
Anexo 6. Sistema de refrigeración. Descarga de aguas residuales. Desembocadura.....	119
Anexo 7. Plano de estudio hidrológico.....	120
Anexo 8. Diagrama de flujo de las bombas VILPIN-Marina Inox.....	121
Anexo 9. Despiece de la bomba VILPIN-Marina Inox.....	122



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Partes de una central térmica convencional de carbón.....	17
Figura 2.2.- Sección de un alternador común.....	18
Figura 2.3.- Interior de una turbina. Partes fundamentales.....	20
Figura 2.4.- Condensador de una central termoeléctrica.....	21
Figura 2.5.- Condensador tubular.....	22
Figura 2.6.- Haz tubular de un condensador.....	24
Figura 2.7.- Tubos ondulados enlazados.....	24
Figura 2.8.- Disposición de los tubos de un condensador de tresbolillo.....	28
Figura 2.9.- Recorridos del agua de circulación en un condensador.....	29
Figura 2.10.- Ejemplos de “pinchazo” de un tubo.....	29
Figura 2.11.- Torre de refrigeración.....	30
Figura 2.12.- Torre de refrigeración SCAM.....	31
Figura 2.13.- Torre de refrigeración HAMON.....	32
Figura 2.14.- Chimenea industrial de unos 200 metros de altura.....	33
Figura 2.15.- Sección de una caldera.....	34
Figura 2.16.- Parque de carbones de la CTLA.....	35
Figura 2.17.- Sistema de evacuación de cenizas.....	36
Figura 2.18.- Cenicero.....	36
Figura 2.19.- Salida de los gases de combustión.....	37
Figura 2.20.- Control y vigilancia ambiental.....	38
Figura 2.21.- Radio de vigilancia de inmisiones de la CTLA.....	38
Figura 2.22.- Esquema de un circuito de refrigeración genérico.....	39
Figura 2.23.- Canal de descarga.....	40
Figura 2.24.- Circuito cerrado.....	40
Figura 2.25.- Circuito cerrado.....	41
Figura 2.26.- Estructura.....	41
Figura 2.27.- Esquema del flujo de agua a través de la torre de refrigeración.....	41
Figura 2.28.- Incrustación de mejillones en los haces tubulares.....	42
Figura 2.29.- Ejemplos de presencia de vida biológica en los tubos de un condensador.....	43



Figura 2.30.- Frasco lleno de una muestra de agua.....	46
Figura 2.31.- Botella lastrada.....	47
Figura 2.32.- Soporte lastrado de acero inoxidable.....	47
Figura 2.33.- Botellas con apertura y cierre mecánico.....	48
Figura 2.34.- Botella tomamuestras de agua.....	49
Figura 2.35.- Sistema de bombeo de aguas.....	50
Figura 2.36.- Sistema PLC.....	51
Figura 2.37.- Muestreador integrador de profundidad.....	52
Figura 2.38.- Sistema integrador en profundidad.....	53
Figura 2.39.- Uso del muestreador en profundidad por un operario.....	53
Figura 2.40.- Instalación de un muestreador puntual y continuo.....	54
Figura 2.41.- Esquema de un captador.....	55
Figura 2.42.- Esquema del muestreador pasivo.....	55
Figura 3.1.- Antiguo sistema de bombeo.....	57
Figura 3.2.- Entrada a la CTLA	58
Figura 3.3.- Esquema del circuito de refrigeración de la CTLA.....	63
Figura 3.4.- Esquema general del circuito de agua de refrigeración de la CTLA.....	63
Figura 3.5.- Equipos de aspiración de agua de mar.....	64
Figura 3.6.- Rejilla gruesa fija.....	65
Figura 3.7.- Ánforas.....	66
Figura 3.8.- Rejilla rotativa de paneles filtrantes.....	67
Figura 3.9.- Separador magnético de tambor.....	68
Figura 3.10.- Sistema Trapogge.....	69
Figura 3.11.- Inyección de bolas.....	70
Figura 3.12.- Cámara de rotura de la CTLA.....	72
Figura 3.13.- Canal de descarga visto desde la cámara de rotura.....	72
Figura 3.14.- Vista panorámica de la evacuación del agua de refrigeración.....	73
Figura 5.1.- Vista general del tomamuestras instalado y las nuevas bombas de impulsión.....	82
Figura 5.2.- Disposición de las nuevas bombas.....	83



Figura 5.3.- El cebado de la bomba consiste en llenar la bomba con el mismo líquido que se desea bombear.....	85
Figura 5.4.- Filtro a colocar en la manguera.....	86
Figura 5.5.- Toma de agua.....	86
Figura 5.6.- Colocación de la manguera.....	86
Figura 5.7.- Detalle de conexión de manguera-tubería.....	87
Figura 5.8.- Vista de perfil del tomamuestras.....	88
Figura 5.9.- Toma del agua residual al final del canal de descarga	89
Figura 5.10.- Funcionamiento del tubo de Pitot.....	90
Figura 5.11- Diagrama de presiones en torno al tubo de Pitot	91
Figura 5.12.- Líquido en movimiento	92
Figura 5.13.- Croquis con las dimensiones y situación del sistema.....	93
Figura 5.14.- Sistema de válvulas.....	95
Figura 5.15.- Filtro tipo malla.....	96
Figura 5.16.- Disposición del caudalímetro y by-pass.....	96
Figura 5.17.- Conductivímetro.....	98
Figura 5.18.- pH-metro.....	98
Figura 5.19.- Medidor de temperatura.....	99
Figura 5.20.- Visión general del medidor INSTRAN de cloro residual de la CTLA.....	99
Figura 5.21.- Módulo de jeringas.....	100
Figura 5.22.- Cámara de medida.....	101
Figura 5.23.- Display del medidor con información de un análisis de ejemplo.....	102
Figura 6.1.- Sistema de bombeo elegido	105
Figura 6.2.- Sistema de tomamuestras	106



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. VLA de Cloro residual en el punto de vertido estudiado.....	44
Tabla 3.1.- Características generales de la CTLA.....	59
Tabla 3.2.- Características generales de los grupos generadores de la CTLA.....	60
Tabla 3.3.- Características de los molinos de la CTLA.....	60
Tabla 3.4.- Características de las calderas de la CTLA.....	60
Tabla 3.5.- Características de la chimenea de la CTLA.....	61
Tabla 3.6.- Características de los filtros de la CTLA.....	61
Tabla 3.7.- Características de los condensadores de la CTLA.....	61
Tabla 3.8.- Características de las turbinas de la CTLA.....	61
Tabla 3.9.- Características los alternadores de la CTLA.....	62
Tabla 3.10.- Características de los transformadores de la CTLA.....	62
Tabla 4.1.- Costes generales de explotación para botellas y cubos.....	75
Tabla 4.2.- Costes generales de explotación para botellas lastradas.....	75
Tabla 4.3.- Costes generales de explotación para botellas con apertura y cierre automático.....	76
Tabla 4.4.- Costes generales de explotación para sistemas de bombeo.....	76
Tabla 4.5.- Costes generales de explotación para sistemas integradores en profundidad.....	76
Tabla 4.6.- Costes generales de explotación para muestreadores automáticos pasivos.....	77
Tabla 4.7.- Coste generales de cada alternativa en euros para una inversión de 3 años.....	77
Tabla 4.8.- Matriz rango de actuación.....	78
Tabla 4.9.- Matriz rango de actuación.....	79
Tabla 5.1 – Características de las bombas.....	83



Capítulo 1. Introducción

1.1. Interés

El interés del presente trabajo de investigación acerca de la toma de muestras para medición de cloro residual en el canal de descarga de una central térmica radica tanto en la revisión bibliográfica realizada, la cual permite conocer el estado del conocimiento sobre este tema, como en la propuesta y posterior puesta en práctica de los conocimientos adquiridos durante el análisis del marco teórico.

1.2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es el de analizar las alternativas propuestas para mejorar el sistema de toma muestras de aguas residuales ubicado en el canal de descarga de la Central Térmica Litoral de Almería (en adelante CTLA). Se busca un sistema cuyas características básicas deben ser la robustez, la comodidad en el manejo, la facilidad en el transporte del fluido muestreado, la capacidad adecuada de muestra que puede contener y la fácil limpieza una vez empleado.

Además, otro objetivo es el de diseñar e instalar el nuevo toma muestras, el cual debe permitir solucionar los problemas que históricamente han presentado las instalaciones preexistentes en la central.

1.3. Alcance

Como se ha indicado, el estudio realizado ha culminado con una propuesta concreta de instalación de captación de agua para medición de cloro residual en la CTLA. Por ello, como es habitual en este tipo de trabajos de investigación, la revisión bibliográfica será de amplio espectro con objeto de abarcar la totalidad del conocimiento teórico en la materia de estudio, mientras que el desarrollo de la alternativa más viable se centrará específicamente en la Central Térmica de Carboneras (Almería).



Capítulo 2. Revisión bibliográfica

2.1 Tecnologías de una central térmica de carbón

Todas las centrales eléctricas, excepto las fotovoltaicas, generan electricidad mediante un alternador movido por una turbina (*Endesa, 2000*).

La energía mecánica que impulsa el giro de la turbina se puede obtener directamente de la naturaleza, por ejemplo de una corriente de agua (centrales hidroeléctricas) o de la fuerza del viento (centrales eólicas) o bien, indirectamente, mediante un proceso que genera vapor de agua o gases calientes. A estos dos grupos pertenecen las centrales termoeléctricas, que pueden clasificarse en tres categorías:

- Centrales de turbina de vapor (nuestro caso) que utilizan vapor de agua sobrecalentado para mover la turbina.
- Centrales de turbina de gas, que emplean gases calientes como elemento impulsor de las turbinas.
- Centrales de ciclo combinado, que utilizan ambos sistemas simultáneamente.

Todas ellas emplean un combustible para producir vapor o para generar gases calientes. *Una central termoeléctrica es, por tanto, una instalación donde se genera electricidad a partir de la energía contenida en un combustible.*

Las **centrales de carbón** tienen una serie de componentes que son comunes al resto de centrales de turbina de vapor: *alternador, turbina, condensador y torre de refrigeración*. Tiene, por el contrario unos componentes específicos que vienen determinados por la utilización de carbón como combustible: una *caldera*, un sistema de *preparación del carbón* antes de inyectarlo en la caldera, un sistema de *evacuación de cenizas*, un sistema de *depuración de gases* y un sistema de *vigilancia ambiental*.

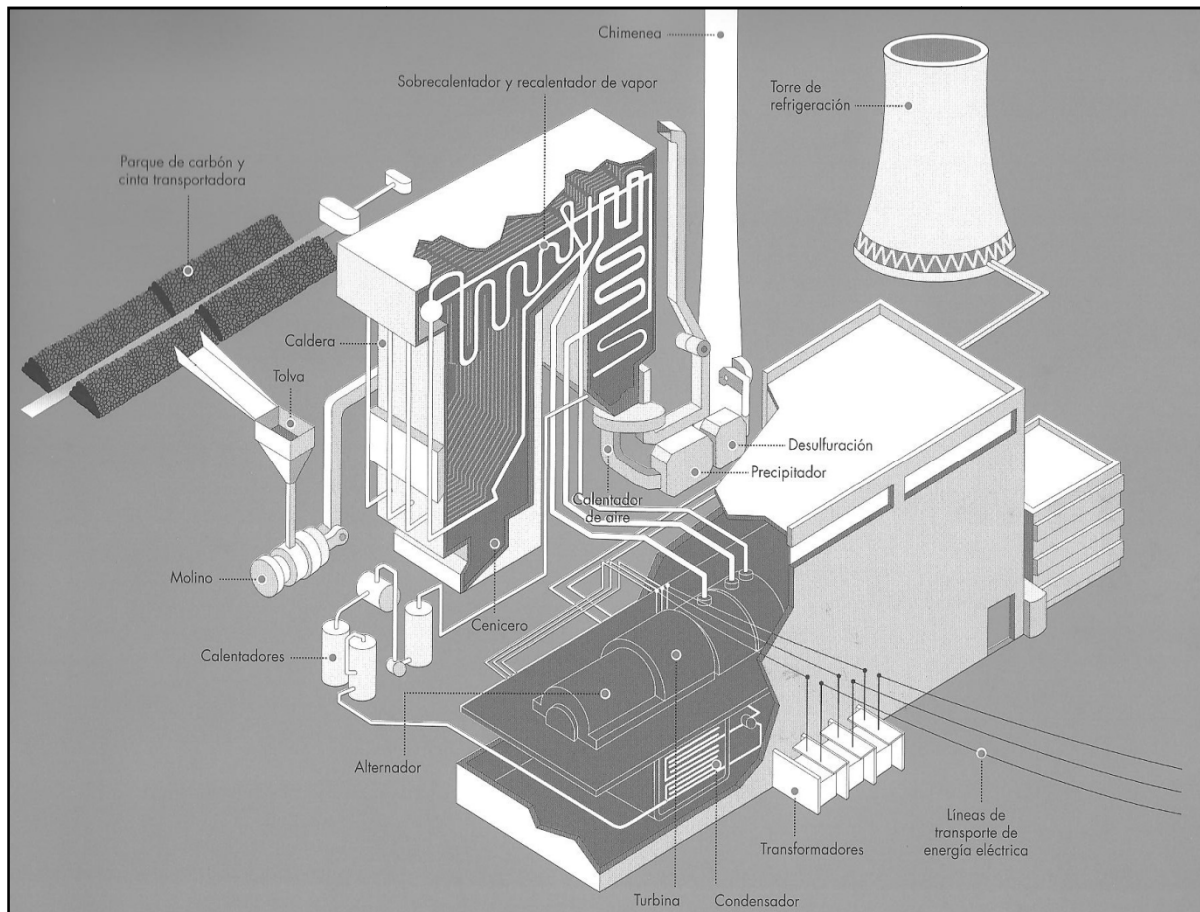


Figura 2.1.- Partes de una central térmica convencional de carbón (Endesa, 2000)

A continuación describimos, de forma breve, los principales componentes que constituyen una central de carbón citados anteriormente.

2.1.1. El alternador

Es una máquina en la que se produce una corriente alterna a partir de la energía cinética de rotación que le transmite una bobina.

El principio de funcionamiento de un alternador se basa en la *Ley de Faraday*. Cuando varía el campo magnético que atraviesa una bobina, se produce en ella una fuerza electromotriz proporcional al número de espiras de la bobina y a la velocidad con que varía el campo magnético. El alternador genera un período o ciclo de corriente alterna cada vez que una de sus bobinas es atravesada por el campo magnético correspondiente a un par de polos inductores. La frecuencia de la corriente alterna es exactamente proporcional a la velocidad de giro del rotor.

En el alternador de una central eléctrica existen dos elementos fundamentales: un elemento fijo, alojado en la carcasa envolvente, que se denomina *estator*, y un cilindro rotatorio, alojado en el interior de la carcasa, denominado *rotor*. En el rotor se aloja un devanado, denominado de campo, en el que se recogen las corrientes enviadas por una excitatriz.

Los alternadores de las centrales eléctricas son del tipo síncrono, así llamados porque la frecuencia de la corriente eléctrica producida es proporcional a la velocidad de giro del alternador. En las centrales eléctricas, para producir una corriente alterna de 50 ciclos por segundo, la velocidad de giro del alternador suele ser de 3.000 revoluciones por minuto.

Durante el funcionamiento del alternador se produce un intenso calor debido a las corrientes eléctricas que circulan por su interior. Es necesario evacuar este calor mediante la circulación de un fluido refrigerante que puede ser aire o agua en alternadores pequeños o hidrógeno líquido en alternadores de mayor tamaño.

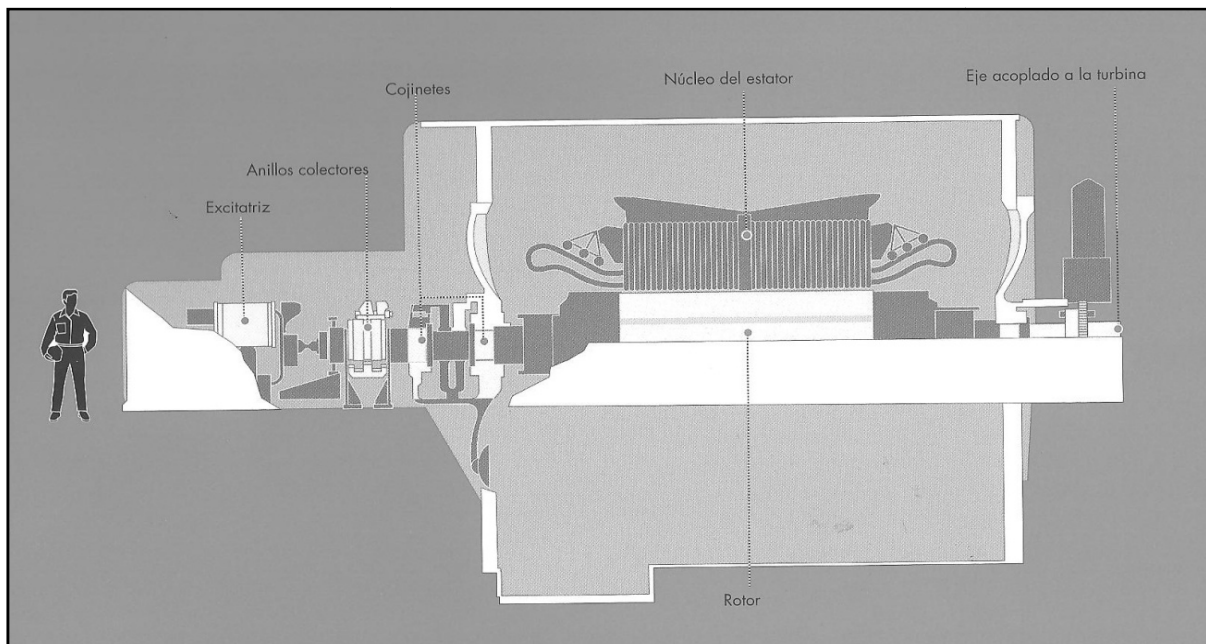


Figura 2.2.– Sección de un alternador común (Endesa, 2000)

2.1.2 La turbina

Una turbina es una máquina que produce energía cinética de rotación a partir de la energía contenida en una corriente de fluido que circula entre sus álabes o paletas. Los fluidos más comunes empleados en las turbinas son el vapor de agua (turbinas de vapor), los gases de combustión (turbinas de gas), el agua (turbinas hidráulicas) o el viento (turbinas eólicas).



En las turbinas de vapor éste va expansionándose, a medida que circula por su interior, cediendo a los álabes de la turbina la energía contenida en el flujo de vapor que entra en ellas. En los álabes se produce un fenómeno de acción-reacción que provoca su giro alrededor del eje que lo sustenta.

Una turbina de vapor consta de los siguientes componentes esenciales:

- Una *carcasa* que contiene el sistema de álabes fijos, encargados de dirigir el vapor hacia los álabes móviles.
- Un *rotor* en el que van montados los álabes móviles, en rodetes o tambores, con cojinetes en sus extremos, para su sustentación.
- Un sistema de *válvulas* para regular la velocidad y la potencia de la turbina, modificando el chorro de vapor.
- Un *acoplamiento* del eje de la turbina con el eje del alternador al que transmite su movimiento.
- *Conexiones* para los conductos que introducen el vapor y para el escape del vapor que sale de la carcasa.

Las turbinas de las centrales termoeléctricas se proyectan para el uso más eficiente posible del vapor en un ciclo térmico. Por ello se las dota de un sistema de varias extracciones con objeto de lograr que el vapor se expanda hasta la presión más baja posible compatible con la temperatura del sistema de refrigeración.

El vapor utilizado en turbinas posee una gran cantidad de energía aprovechable y, para que su utilización sea eficiente, se dota a las turbinas de varios compartimentos en serie (alta, media y baja presión), obteniendo cada uno de ellos una parte de la energía motriz total. También en estas centrales el flujo de vapor de escape resulta muy elevado y es necesario establecer un escalonamiento del escape a través de varios compartimentos para evitar una gran velocidad de salida y la consiguiente pérdida de energía cinética.

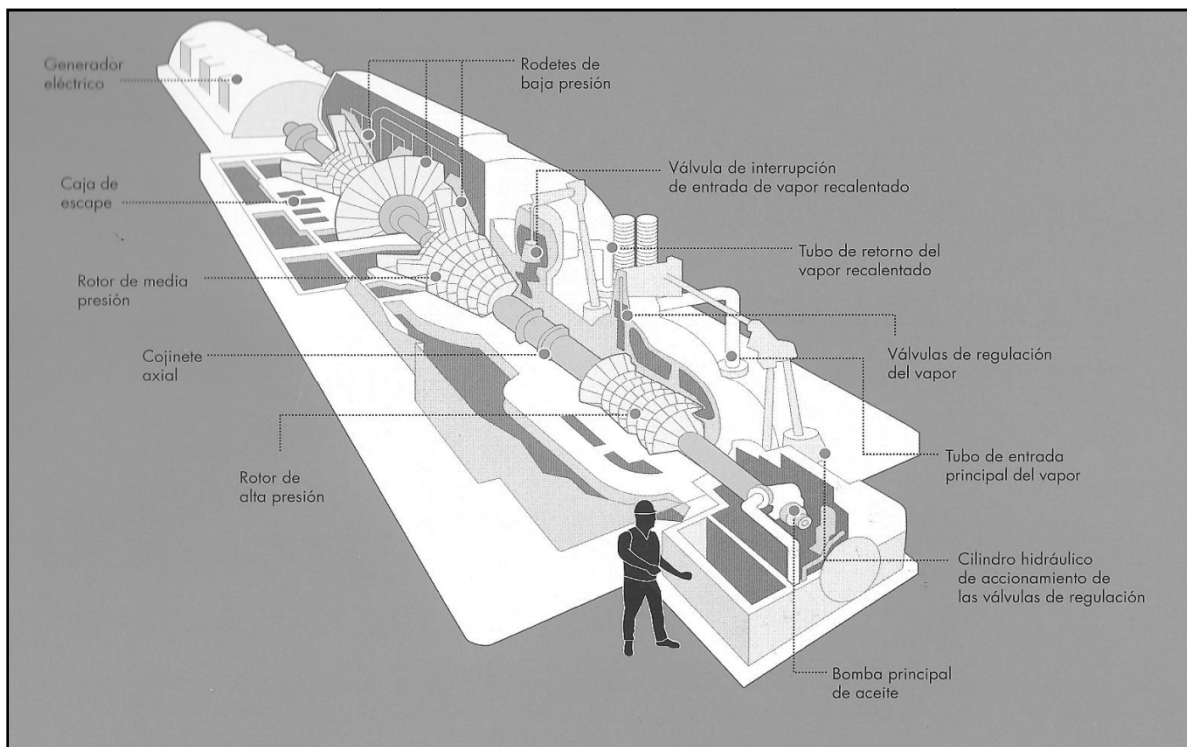


Figura 2.3.- Interior de una turbina. Partes fundamentales (Endesa, 2000).

2.1.3 El condensador

El condensador de una central termoeléctrica es un elemento clave en este trabajo, ya que es a través de este elemento por donde pasa el agua de refrigeración que, posteriormente, se evacuará al mar por el canal de descarga. En este equipo, el vapor efluente de la turbina se enfría y se condensa para volver a estado líquido y poder recircularse a la caldera.

El enfriamiento se realiza mediante la circulación de agua fría por un circuito interior. El vapor cede calor al agua fría que circula por el circuito que, por efecto de esta cesión, eleva su temperatura.

Los objetivos fundamentales en esta circulación son: producir un vacío elevado en la descarga de la turbina con el consiguiente aumento en su trabajo útil y recuperar el condensado para emplearlo de nuevo como agua de alimentación de la caldera (Iberdrola, 2014).

El agua utilizada para enfriar el vapor puede circular en circuito abierto o cerrado. En el primer caso se toma agua fría de un río, un embalse o del mar, se la hace pasar por el interior del condensador y se la devuelve al medio de origen a una temperatura ligeramente superior a la de la toma. En el caso de circuito cerrado, el agua de enfriamiento, que tras su paso por el condensador se ha calentado, se lleva a una torre de refrigeración donde se enfría para ser bombeada de nuevo al circuito de enfriamiento del condensador.

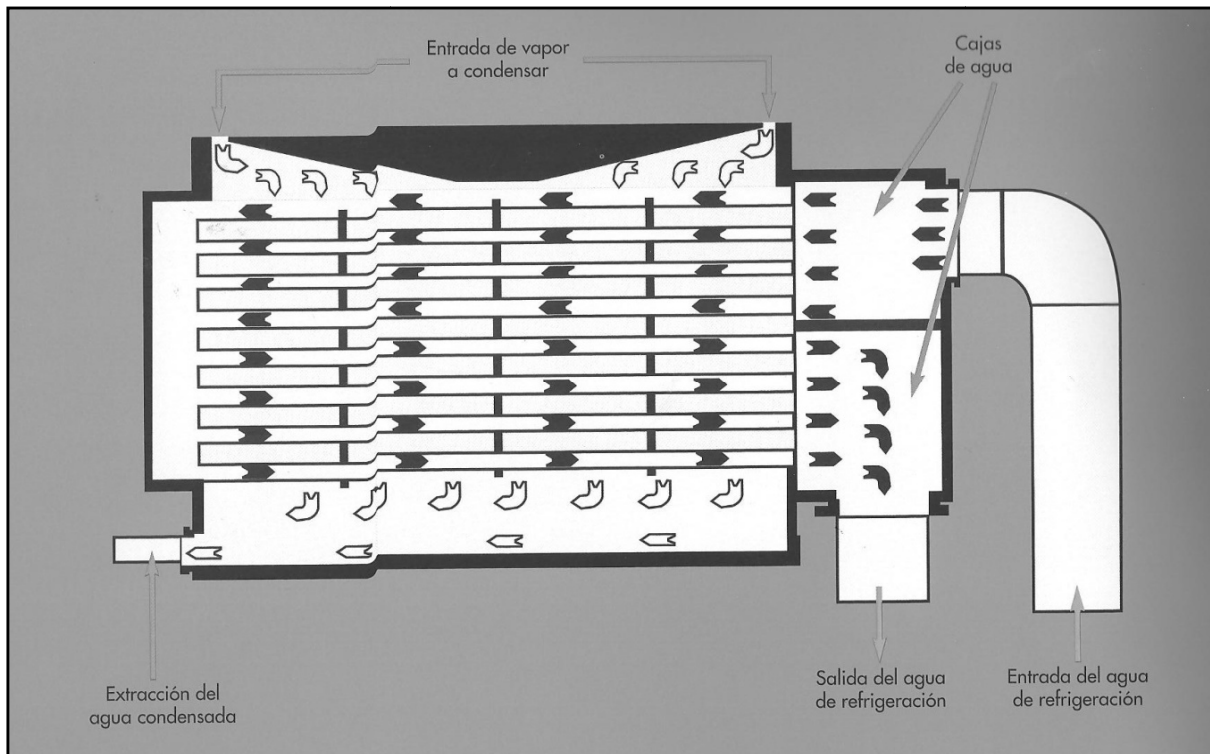


Figura 2.4.- Condensador de una central termoeléctrica (Endesa, 2000)

Un condensador de superficie comprende esencialmente:

- Un cuerpo de acero.
- Una placa tubular de acero en cada una de las extremidades del cuerpo.
- Un haz de tubos de latón o de una aleación apropiada.
- Una caja de agua de acero a la entrada y a la salida del agua de circulación.
- Un tubo de acero uniendo el cuerpo del condensador con la brida de escape de turbina.
- Un pozo situado en la parte inferior del cuerpo del condensador que recoge el agua condensada.

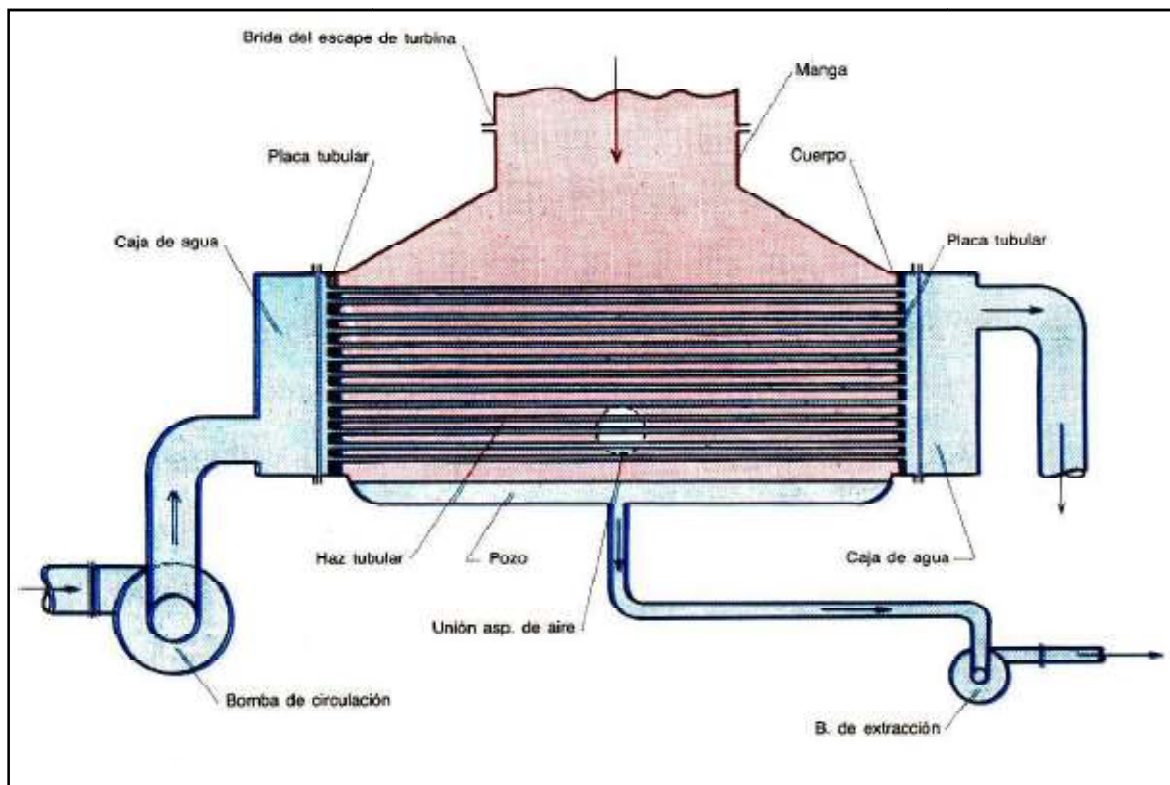


Figura 2.5.- Condensador tubular (Iberdrola, 2014)

El vapor de escape de la turbina se condensa al entrar en contacto con la parte exterior de los tubos del haz tubular, recorridos interiormente por agua de circulación. El agua condensada recogida en el pozo es aspirada por la bomba de extracción. Este agua se utiliza de nuevo para la alimentación de la caldera. La temperatura del agua de circulación va aumentando conforme va atravesando el haz tubular hasta su salida a la caja de agua.

Si el caudal de agua de refrigeración disponible es insuficiente, el agua de circulación a la salida del condensador es enviada hacia un refrigerante atmosférico y el agua a la salida de este refrigerante sirve de nuevo para condensar el vapor en el condensador.

El aire que se introduce en el condensador es aspirado por medio de eyectores o bombas de vacío. La tubería de aspiración de estos aparatos está unida a un tubo situado hacia la parte baja del condensador.

El intercambio de calor entre el vapor de escape de la turbina y el agua de refrigeración mejora cuando (Engineering Branch Training, 2010):



- Aumenta la superficie de intercambio. La superficie del condensador corresponde en general a un caudal de vapor de 30 a 50 kilogramos de vapor condensado por hora, a la carga máxima de la turbina, y por m² de superficie tubular.
- La velocidad del agua de circulación es más elevada (o lo que es lo mismo, el caudal). Se está obligado a mantener dentro de ciertos límites. La velocidad está comprendida entre 1,5 y 2,5 metros/segundo. Si la velocidad es inferior a 1 metro/segundo, los materiales en suspensión del agua de circulación se depositan en los tubos. Si la velocidad es superior a 3 metros/segundo, pueden producirse erosiones en el interior de los tubos.
- La temperatura del agua de circulación es más baja.
- Los tubos del condensador están más limpios. El intercambio de calor depende igualmente del diámetro, del espesor y de la calidad del metal de los tubos.

2.1.3.1 Disposiciones constructivas de condensadores

2.1.3.1.1 Haz tubular

El haz debe ser diseñado para que las pérdidas de carga del tubo de vapor sean lo más pequeñas posible. Para conseguir este resultado los tubos están dispuestos de tal forma que dejen amplios espacios por los que el vapor encuentre acceso a todas las partes del haz.

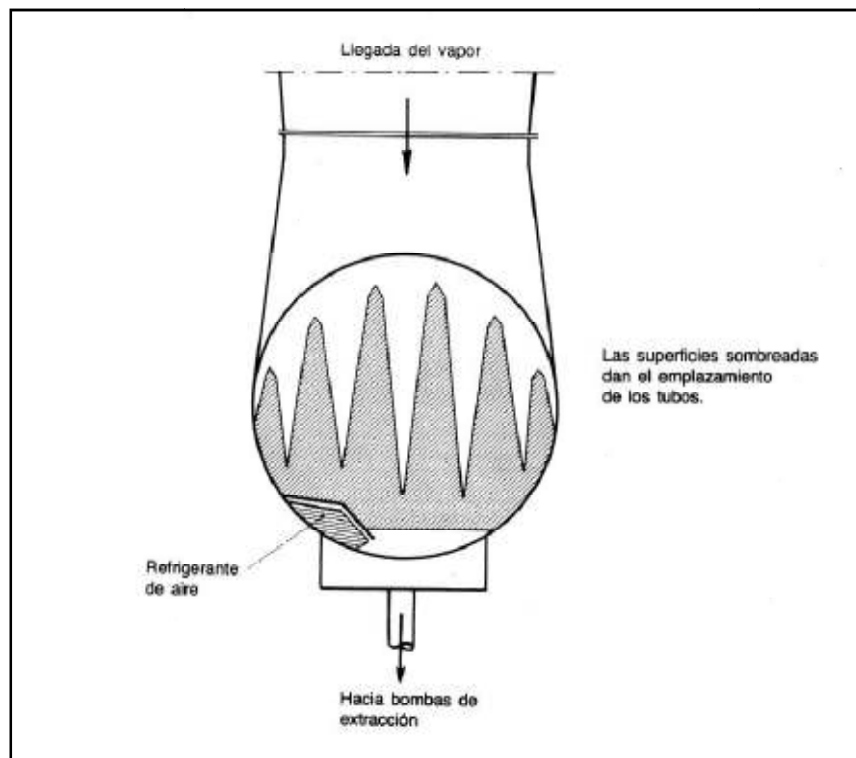


Figura 2.6.- Haz tubular de un condensador (Iberdrola, 2014)

2.1.3.1.2 Los tubos del condensador de las turbinas modernas son muy largos, pudiendo alcanzar los diez metros. Estas longitudes implican diferentes apoyos a lo largo de toda su longitud. Estos soportes se llaman placas separadoras.

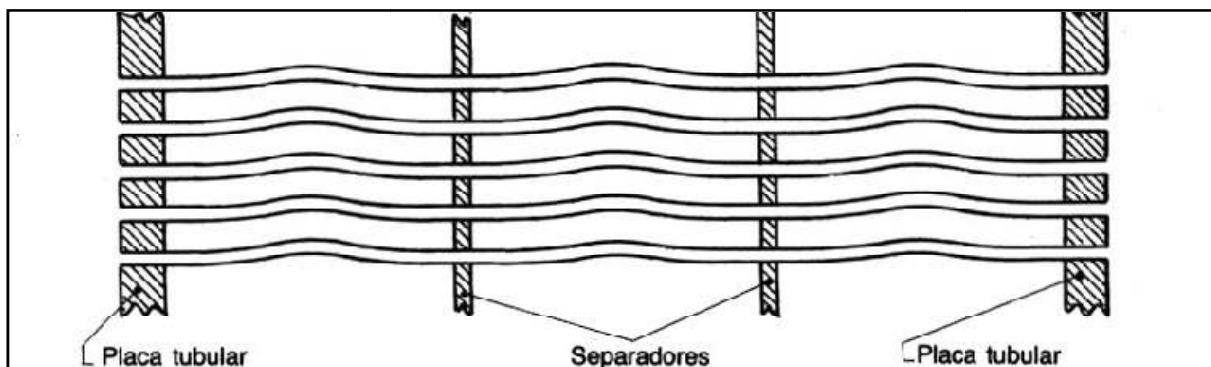


Figura 2.7.- Tubos ondulados enlazados (Iberdrola, 2014)



2.1.3.1.3 Accesorios diversos

Además de las tuberías que conducen el vapor de escape de la turbina, existen otros conductos de menor importancia que conducen al condensador diferentes vapores de recuperación.

Los accesorios normalmente utilizados son los siguientes:

- Un indicador de nivel de agua condensada.
- Alarmas de niveles alto y bajo.
- Válvulas para el vaciado de las cajas de agua.
- Válvulas para purgar el aire de las cajas de agua.
- Válvulas de vaciado del cuerpo del condensador.
- Válvula de llenado del cuerpo del condensador, para los ensayos de estanqueidad del haz tubular.
- Un regulador de nivel.

2.1.3.2 Particularidades

2.1.3.2.1 Ensuciamiento del condensador

Cuando el condensador se ensucia, el intercambio de calor entre el vapor de escape de la turbina y el agua que recorre los haces tubulares del condensador empeora (*Müller-Steinhagen, 2000*), ocasionando que la temperatura y la presión aumenten en el condensador y el vacío disminuya. El resultado es una disminución del rendimiento térmico de la turbina. El vacío en el condensador es un factor muy importante, a vigilar constantemente.

El ensuciamiento del condensador es provocado por las dos causas principales siguientes:

- Desarrollo de microorganismos en el interior de los tubos. Se presenta bajo la forma de materia gelatinosa. Estos depósitos son más abundantes cuando el agua está polucionada, por ejemplo, por la evacuación de sumideros y también en verano cuando la temperatura del agua es más elevada.
- Presencia de materias inorgánicas, tierra, arena, contenida en el agua. Estas materias se depositan en los tubos, están a menudo envueltas en materias orgánicas en proliferación.
- Los depósitos en los tubos del condensador disminuyen cuando la velocidad del agua que la recorre es más elevada.

Sin embargo se está obligado a limitar la velocidad:



- Para no alcanzar una potencia muy elevada de la bomba de circulación ya que su consumo de energía sería inaceptable.
- Para no provocar la erosión de los tubos.

Se debe adoptar una velocidad del agua en los tubos entre 1,5 metros/segundo a 2,5 metros/segundo. Después de una limpieza, el condensador se ensucia lentamente durante un período más o menos largo, a medida que los depósitos adquieren una cierta importancia el ensuciamiento se acelera más rápidamente.

2.1.3.2.2 La temperatura del agua de circulación a la entrada del condensador nos viene dada por la temperatura del agua del río o del mar; no tenemos pues elección sobre esta temperatura.

El calentamiento del agua de circulación en el condensador va de 7 a 9 °C para la carga máxima de turbina y está ligado al su caudal.

2.1.3.2.3 El caudal de agua de circulación puede disminuir por dos razones (*Müller Steinhagen, 2000*):

- Aumento de la pérdida de carga en el circuito de agua de circulación provocado por una limpieza defectuosa de las rejillas filtrantes de la toma de agua o porque la placa tubular de entrada al condensador esté parcialmente tapada.
- Mal funcionamiento de la bomba de circulación.

2.1.3.2.4 El agua de alimentación de las grandes calderas modernas, que trabajan a presiones y temperaturas cada vez más elevadas, debe cumplir **especificaciones** de pureza muy rígidas para evitar corrosiones, depósitos, incrustaciones, etc., en la caldera y en la turbina, y por eso debe ser agua tratada químicamente, filtrada y desmineralizada. Sería muy antieconómico no recuperar el condensado, que es agua tratada, para volverlo a introducir en la caldera, pues se tendría que reponer en el ciclo continuamente una gran cantidad de agua tratada nueva. Con el condensador se recupera el agua, que trabaja así en ciclo cerrado, y sólo hay que reponer una pequeña cantidad de agua de aportación para compensar las pérdidas por atmosféricas, drenajes, etc. (*Iberdrola, 2014*).



2.1.3.2.5 Para luchar contra la proliferación de materias orgánicas se **inyecta cloro** en el agua de circulación antes de pasar al condensador. El cloro puede ser inyectado:

- Bajo la forma de lejía. Esta solución es la forma más adoptada.
- Bajo la forma de cloro. El cloro es suministrado en botellas o contenedores, que se encuentra en estado líquido. Esta instalación está sujeta a una reglamentación muy rigurosa. Debe estar bien estudiada y realizada de una forma perfecta para no presentar ningún peligro.

Cualquiera que sean los productos empleados el mantenimiento debe hacerse tomando todas las precauciones para evitar todo accidente debido a las características agresivas y nocivas de este producto.

La cloración del agua retrasa muy notablemente la formación de depósitos en los tubos del condensador pero no lo suprime totalmente.

2.1.3.2.6 **La trayectoria del agua condensada** debe asegurarse de manera que el agua encuentre lo más rápidamente posible la parte baja del condensador, inundando el mínimo número de tubos que encuentra en su recorrido, con el fin de reducir la película de agua que se forma al exterior de éstos. Esta película de agua presentará mayor resistencia al intercambio de calor entre el vapor y el agua de circulación, cuanto mayor sea su espesor (*Lever & Weaver, 1986*).

En los condensadores de la CTLA se utiliza la disposición *Ginabat* que consiste en disponer los tubos al tresbolillo. El agua que cae de un tubo entra en contacto tangencialmente al tubo situado debajo del primero. La cuarta parte de la superficie exterior del tubo queda “mojada” por el agua caída del tubo superior, lo que da un espesor de película reducido.

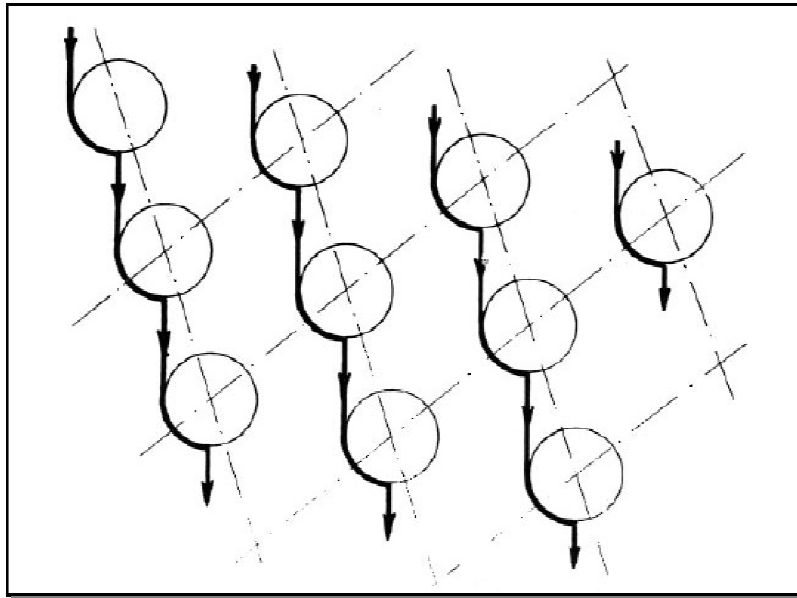


Figura 2.8.- Disposición de los tubos de un condensador de tresbolillo (Lever & Weaver, 1986)

El agua de circulación puede pasar por el interior del haz tubular:

- Directamente de la caja de agua de entrada a la caja de agua de salida. Se trata de una disposición de paso único.
- Efectuando dos recorridos, la entrada y la salida de agua de circulación se hacen desde el mismo lado del condensador.

La velocidad del agua de circulación dentro de los tubos está comprendida entre 1,5 y 2 metros/segundo y la pérdida de carga para un solo recorrido entre la brida de entrada de agua de circulación y la brida de salida es del orden de 0,3 bar. La importancia de esta pérdida de carga es la que determina la potencia de la bomba de circulación.

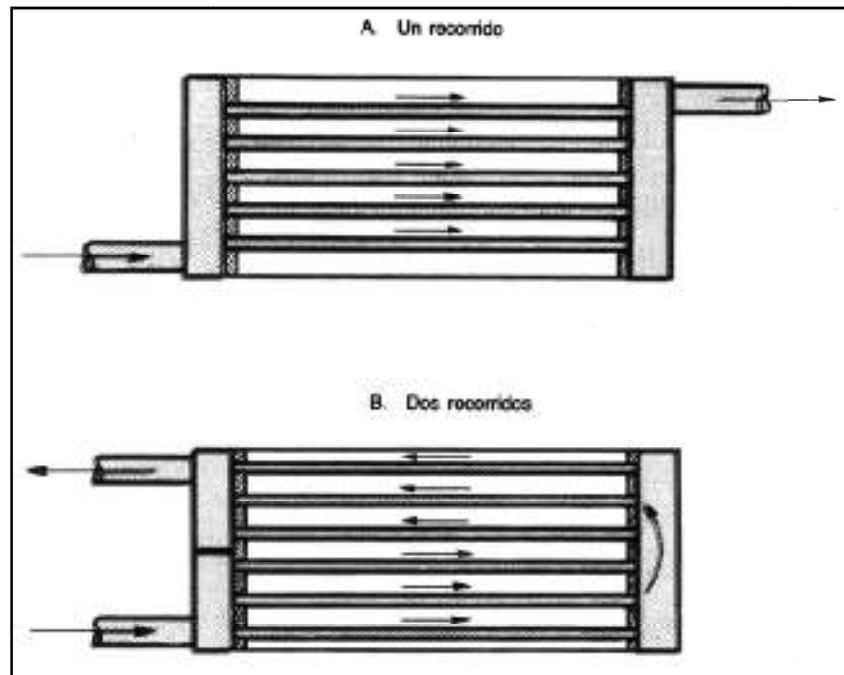


Figura 2.9.- Recorridos del agua de circulación en un condensador (Iberdrola, 2014)

2.1.3.2.7 Cuando se produce la **perforación de un tubo** del haz tubular, el agua bruta que circula por el interior de este tubo pasa al interior del condensador, mezclándose con el agua condensada. El agua condensada que se utiliza para la alimentación de los generadores de vapor queda de esta manera contaminada por las sales contenidas en el agua bruta. Estas sales formarán incrustaciones peligrosas en el generador de vapor si esta entrada de agua bruta no se suprime rápidamente. Se detecta por medio de conductivímetros instalados en el circuito de condensado.



Figura 2.10.- Ejemplos de “pinchazo” de un tubo (Elaboración propia)

2.1.4 La torre de refrigeración

La torre de refrigeración de una central termoeléctrica es una instalación donde se enfría el agua caliente procedente del circuito de enfriamiento del condensador.

En la torre de refrigeración, el agua se mezcla con una corriente de aire en condiciones ambientales. La mezcla se realiza a contracorriente, es decir, el agua cae dividida en gotas finas, y el aire circula en forma ascendente, produciéndose por efecto de esta mezcla una transmisión de calor del agua al aire. El agua fría se recupera en la base de la torre y se recircula al condensador.

Por otra parte, esta transmisión de calor da lugar a la evaporación de una pequeña parte del agua que cae es arrastrada por la corriente de aire ascendente en forma de vapor y sale en forma de penacho por la parte superior de la torre. El vapor emitido a la atmósfera supone una pérdida de agua del circuito que es necesario reponer mediante el aporte externo de agua nueva.

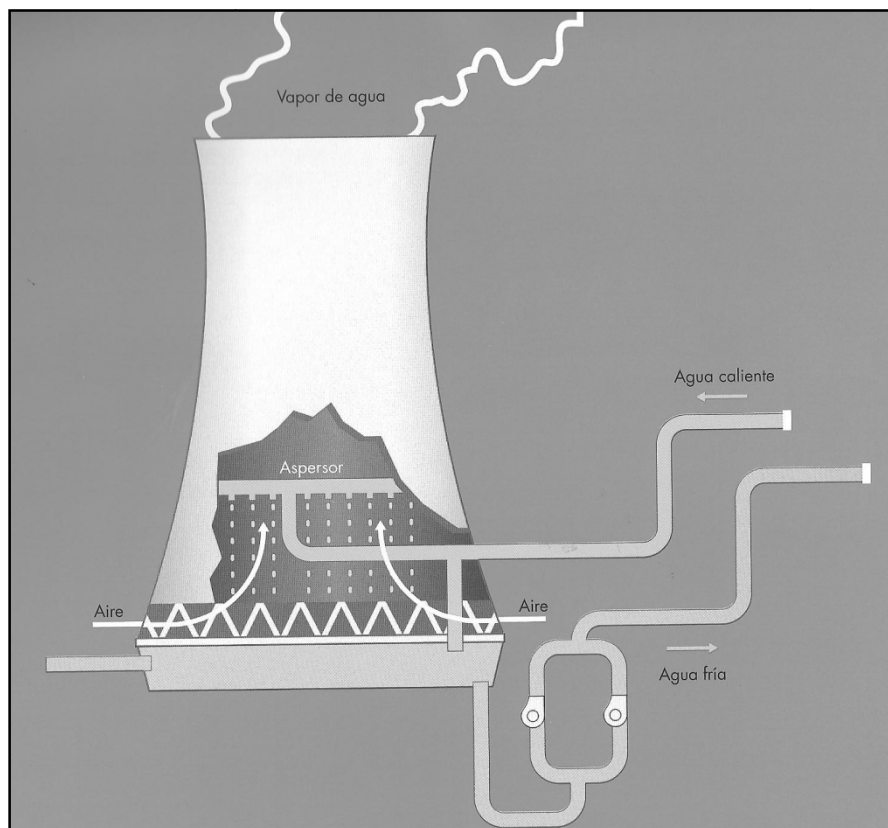


Figura 2.11.– Torre de refrigeración (Endesa, 2000).

En general, en las instalaciones de centrales térmicas de refrigeración en circuito cerrado realizadas hasta el momento en España, el tipo de torre instalado es el de estructura de hormigón de circulación natural (*Iberdrola, 2014*).

Según la forma y en cómo se distribuye el agua en su interior distinguimos:

2.1.4.1 Torres S.C.A.M.: Las gotas de agua caen sobre láminas de amianto, cemento o poliéster armado de fibra de vidrio curvadas hacia abajo. De esta forma, las gotas van cayendo y rompiéndose continuamente. El aire circula hacia el interior de la chimenea, donde el intercambio es en contracorriente.

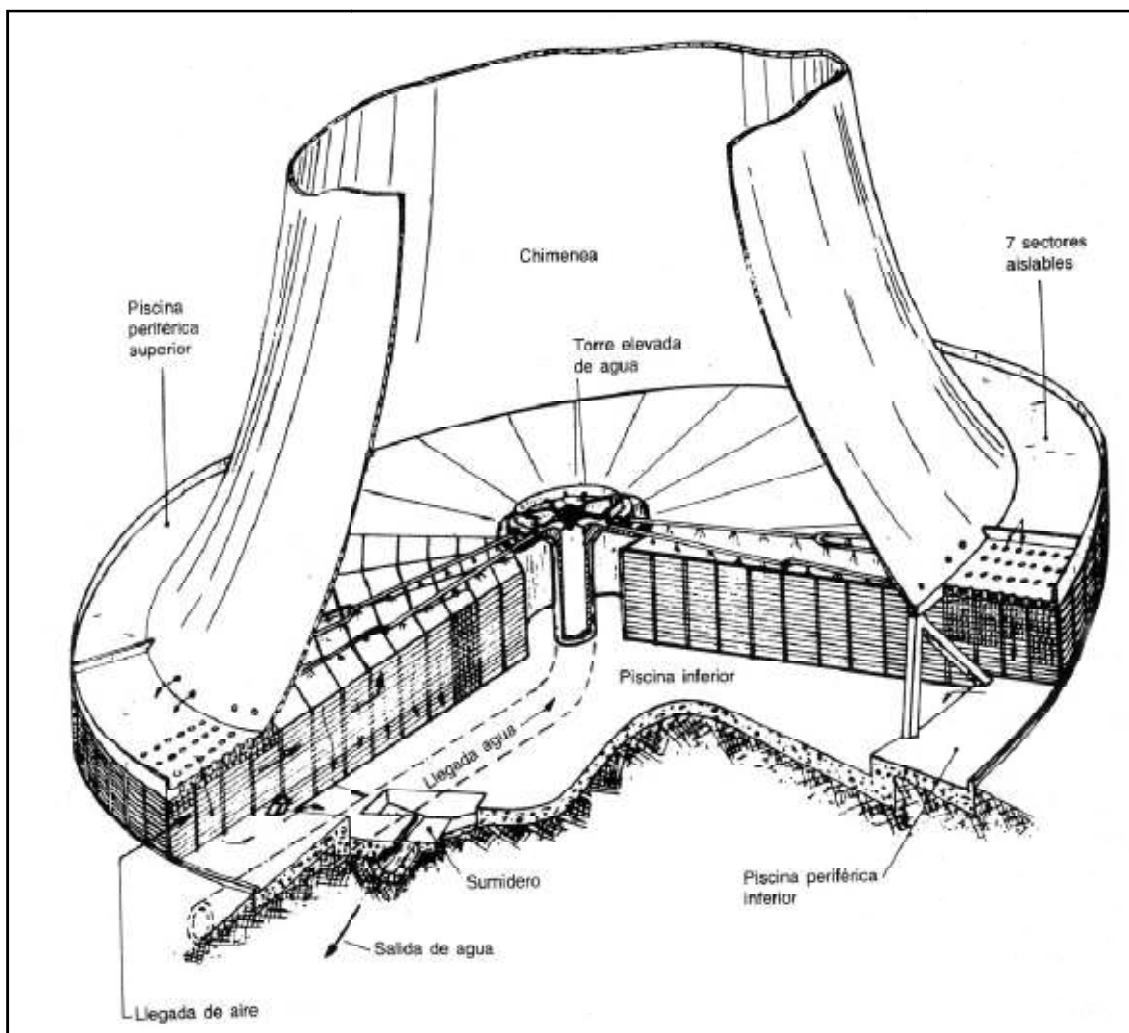


Figura 2.12.– Torre de refrigeración SCAM (*Iberdrola, 2000*)

2.1.4.2 Torres HAMON: El agua se pulveriza en pequeñas gotas en las boquillas de dispersión y se reparte sobre placas de amianto cemento colocadas verticalmente. El aire asciende entre las placas, siendo el intercambio en contracorriente.

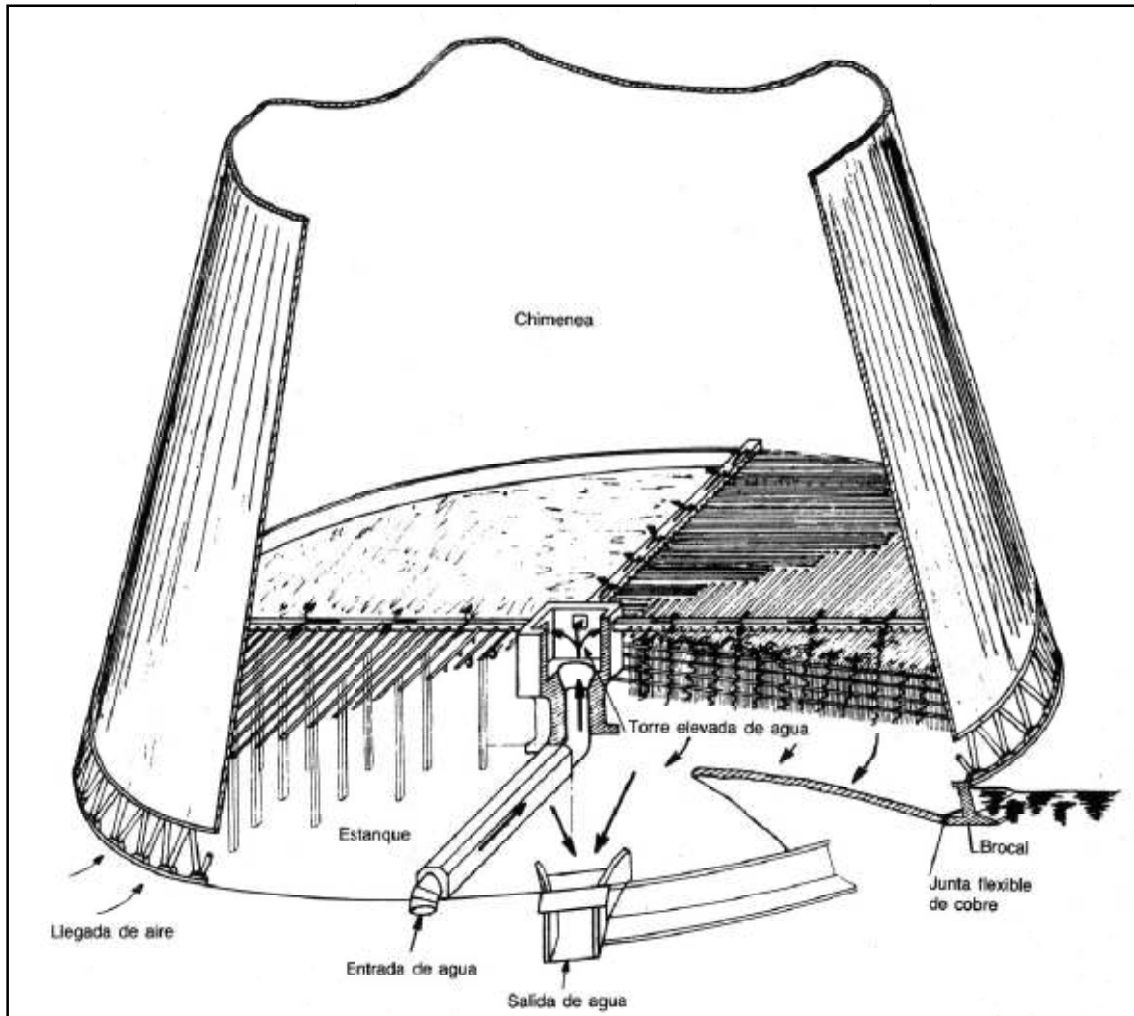


Figura 2.13.– Torre de refrigeración HAMON (Iberdrola, 2000)

2.1.5 La chimenea

La chimenea de una central térmica es una estructura hueca de albañilería, de acero u hormigón, destinada a evacuar los productos gaseosos de la combustión. Debe tener la altura suficiente para crear una corriente ascendente de aire que establezca el tiro y permita la difusión en la atmósfera de los gases, evitando su concentración en las proximidades de la central.

El diámetro y altura de la chimenea determinan la velocidad del aire, que recibe el nombre de tiro. En las chimeneas de tiro natural la velocidad se logra por la diferencia de densidad que



existe entre la columna de gases calientes que asciende y el aire exterior. En las centrales termoeléctricas los gases se impulsan mediante un ventilador y por ello se llaman de tiro forzado.

Las chimeneas de gran altura, algunas de las cuales pueden superar los 250 metros, suelen ser de hormigón armado para que pueda resistir su propio peso y las tensiones provocadas por el empuje del viento. A diversas alturas de la chimenea existen medidores de las emisiones que alertan de posibles desviaciones respecto a los patrones fijados, permitiendo la adopción de medidas correctoras en la combustión (ajuste de las condiciones de combustión, empleo de carbones de mayor calidad, mezcla de gas natural, etc.).

Endesa ha realizado en todas sus centrales estudios de difusión de humos cuya finalidad es conocer la trayectoria del penacho, su difusión y su impacto.



Figura 2.14.- Chimenea industrial de unos 200 metros de altura (CRINA, 2008)

2.1.6 La caldera

En la caldera de carbón de una central se produce vapor de agua recalentado mediante la combustión de carbón pulverizado que se inyecta en su interior arrastrado por un flujo de aire caliente.

La combustión de carbón libera una gran cantidad de calor que se transmite a un flujo de agua que circula por un haz tubular, produciendo su evaporación y el recalentamiento del vapor generado.

La combustión del carbón produce cenizas que se retiran de la caldera a través de un cenicero. También produce gases de combustión que emplean gran parte de su energía en evaporar el agua y recalentar el vapor. Los gases que salen de la caldera se aprovechan para precalentar el agua de alimentación y el aire de combustión. Posteriormente, pasan por un sistema de depuración antes de emitirse a la atmósfera a través de la chimenea.

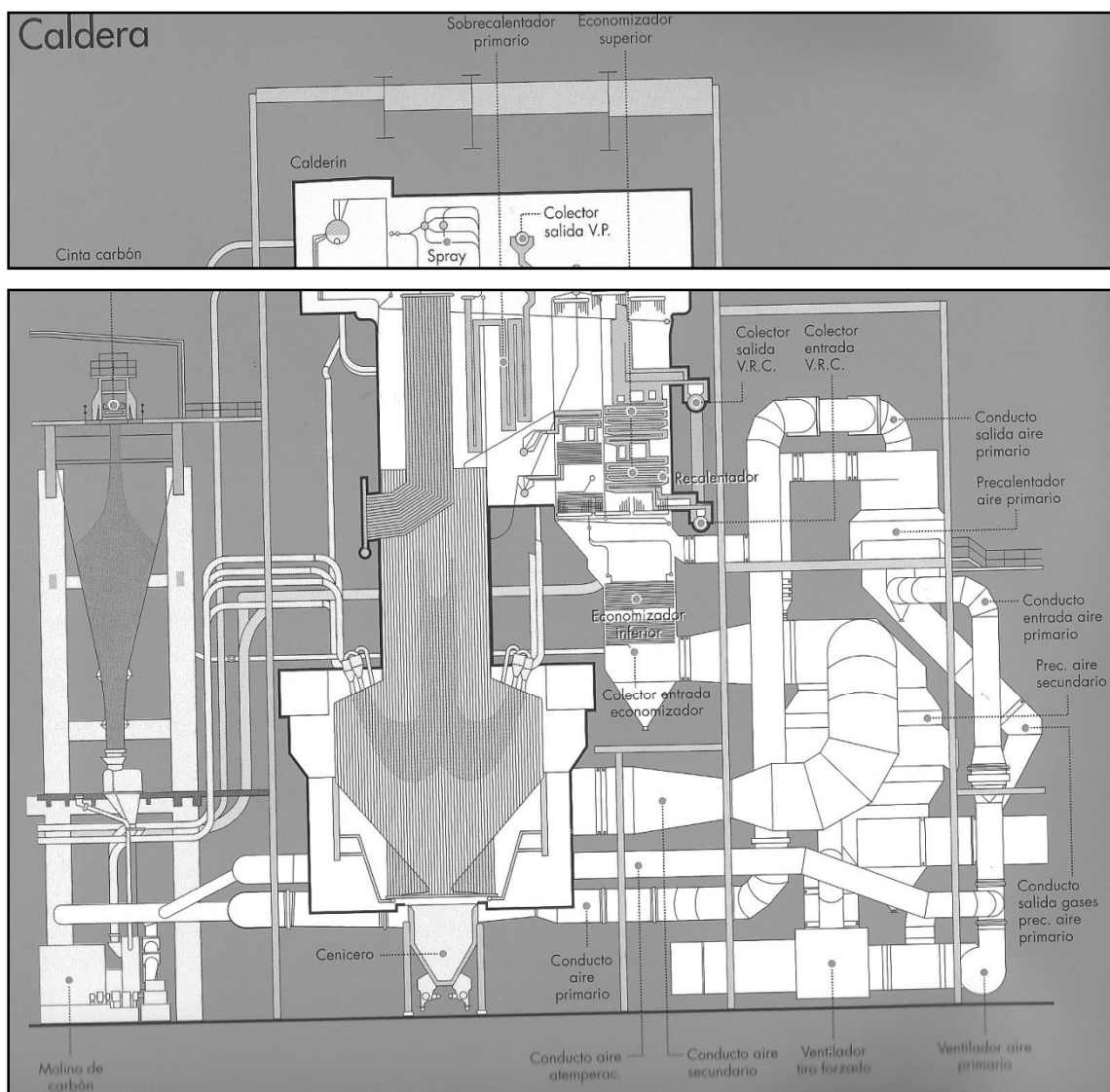


Figura 2.15. Sección de una caldera (Endesa, 2000)

2.1.7 La preparación del carbón

En el parque de almacenamiento de una central de carbón se almacenan varias clases de carbón con poderes caloríficos y contenidos de impurezas diferentes. Algunos de estos carbones pueden necesitar un lavado previo para reducir su contenido en cenizas y en azufre antes de mezclarse con otros para su inyección en la caldera.

En algunas centrales se utilizan carbones de distinto tipo y procedencia. En ese caso, los carbones se mezclan en distintas proporciones adecuadas para garantizar un poder calorífico que supere el mínimo requerido, y una producción de cenizas y SO₂ que se encuentre dentro de los límites medioambientales fijados.

La mezcla de carbones se lleva a las tolvas de alimentación de la caldera a través de una cinta transportadora que pasa por unas cribas y separador magnético para eliminar las impurezas metálicas. Las tolvas alimentan unos molinos donde se pulveriza el carbón. A continuación se inyecta en la caldera mezclado con aire caliente.



Figura 2.16. Parque de carbones de la CTLA (Elaboración Propia)

2.1.8 El sistema de evacuación de cenizas

Las centrales de carbón están equipadas con un sistema de evacuación de cenizas que permite recoger tanto las más pesadas que caen al cenicero, como aquellas captadas por los

electrofiltros. En la mayoría de las centrales de carbón, las cenizas son puestas en valor mediante su venta para ser empleadas en la industria de la construcción.

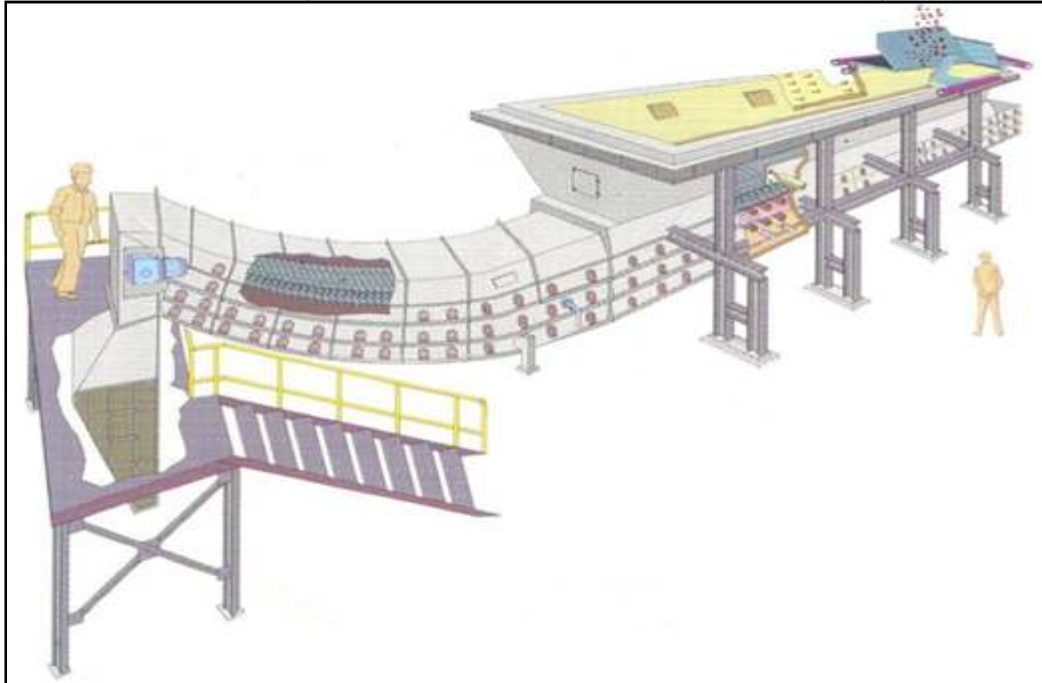


Figura 2.17.– Sistema de evacuación de cenizas (Endesa, 2000)



Figura 2.18.– Cenicero (Endesa, 2000)

2.1.9 El sistema de depuración de gases

Los gases calientes que salen de la caldera contienen partículas sólidas en suspensión y contaminantes químicos producidos por la combustión de impurezas, especialmente SO_2 .

La limpieza de partículas sólidas en suspensión se realiza en unos precipitadores electrostáticos, también llamados electrofiltros. Los electrofiltros constan de un gran número

de electrodos que cargan de electricidad electrostática a las partículas en suspensión. Estas son captadas por unas placas y posteriormente recogidas en unas tolvas. Alcanzan una eficiencia del 99,9 por ciento.

La limpieza de SO₂ y otros contaminantes se realiza mediante procedimientos químicos. Los gases procedentes de los electrofiltros se pasan por un reactor que contiene una lechada de cal u otro absorbente, reaccionan con esta sustancia y se transforman en yeso. Este yeso se trata y se seca antes de ser valorizado mediante su venta, o retirado a una escombrera controlada.

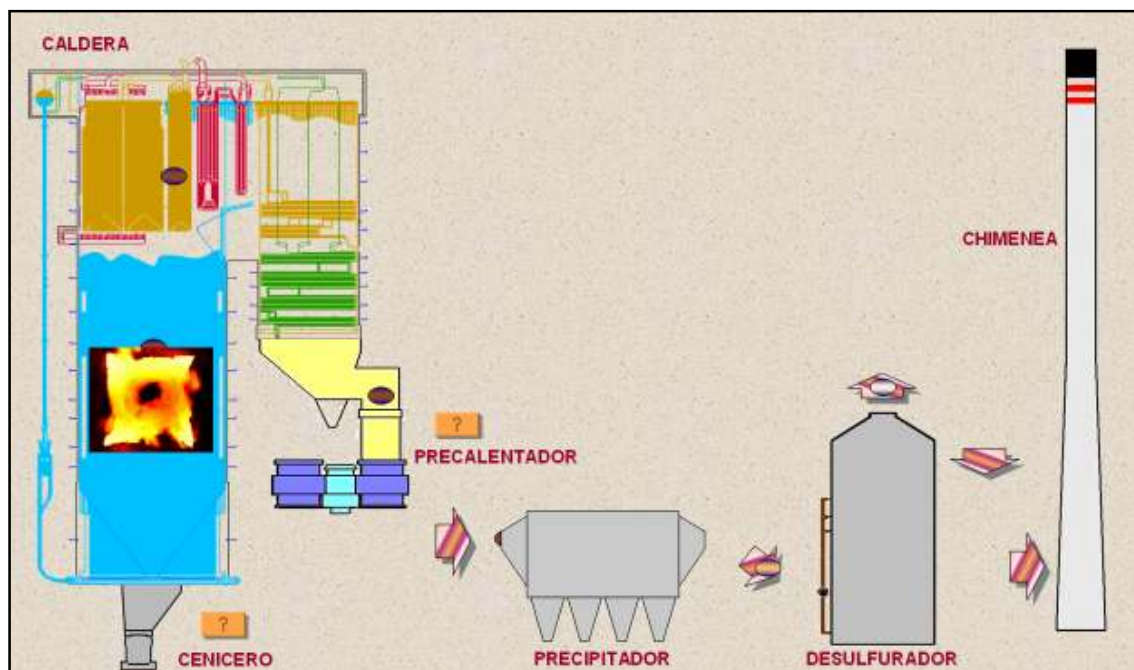


Figura 2.19.- Salida de los gases de combustión (Endesa, 2000)

2.1.10 El sistema de vigilancia ambiental

Las centrales de carbón cuentan con una estación meteorológica para medir las condiciones atmosféricas en cada momento y con una red de control de inmisiones en su entorno.

Las torres meteorológicas, que pueden superar los 60 metros de altura, permiten efectuar medidas de los parámetros atmosféricos a varios niveles (velocidad y dirección del viento, temperatura, gradientes térmicos, turbulencia, temperatura de rocío, radiación solar, etc.) Estos datos se emplean para conocer el grado de estabilidad de la atmósfera y para elaborar modelos de predicción de su comportamiento dispersivo.

La red de control de inmisiones consta de sensores capaces de detectar la incidencia de los humos de la central en los puntos concretos situados en el entorno próximo y lejano, en un

radio que puede alcanzar los 40 Kilómetros. La red consta de estaciones, frecuentemente automatizadas, que miden las concentraciones de SO₂, NOX y O₃ así como de partículas en suspensión.

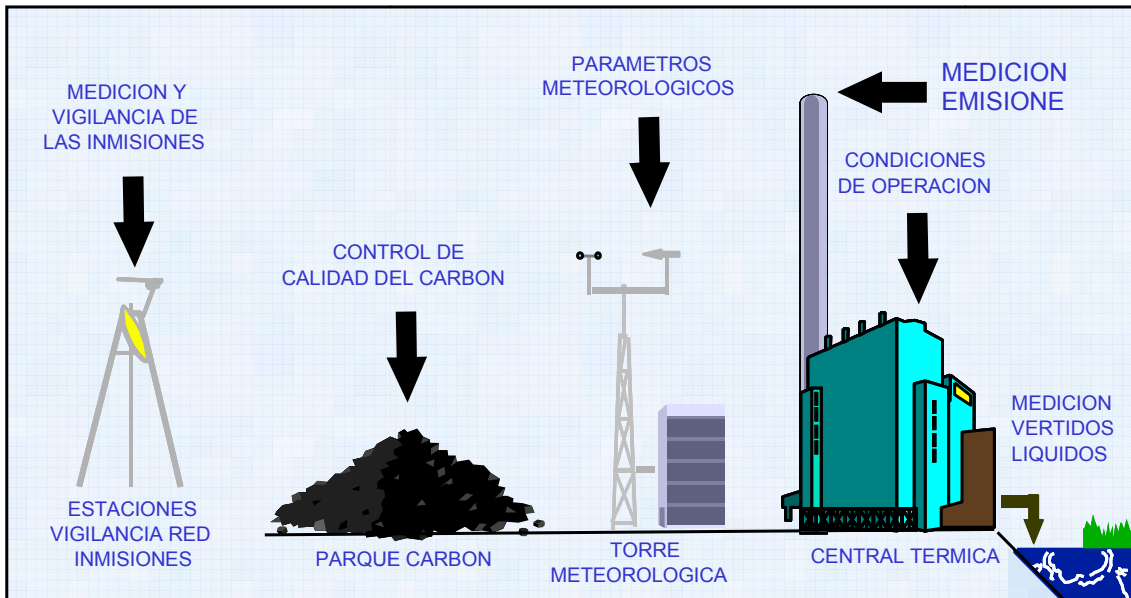


Figura 2.20.- Control y vigilancia ambiental (Elaboración Propia)



Figura 2.21.- Radio de vigilancia de inmisiones de la CTLA (Endesa, 2000)

2.2. Necesidad del tratamiento frente a la proliferación biológica

En un proceso de producción de energía eléctrica se generan una serie de necesidades de agua para refrigerar diferentes elementos tales como turbina-generator, compresores, motobombas, caldera, etc.

Cualquier central que produzca electricidad y posea al menos una turbina y un condensador necesita enfriar el vapor mediante el agua de circulación.

El circuito de refrigeración siempre tiene su origen en un foco frío, una fuente de agua con capacidad y garantía de servicio suficientes para atender las necesidades de refrigeración del proceso de generación de energía, que puede ser el mar, un río, un lago, etc. La refrigeración es necesaria para mantener el funcionamiento del vapor que transporta la energía desde las calderas a las turbinas (UNESA, 2013). Por este motivo, la presencia de esta fuente de agua barata y accesible es un elemento determinante a la hora de la ubicación de cualquier central eléctrica.

La circulación del agua se realizará a través del foco caliente, una serie de compresores y bombas conforme la naturaleza y estado del refrigerante. La constitución y configuración de un circuito de refrigeración no guarda un estándar, ya que puede variar según sea el tipo de central eléctrica: térmica, ciclo combinado, hidroeléctrica, etc. o según sea la fuente de alimentación.

Finalmente, el agua del circuito debe ser igualmente devuelta a un medio receptor con capacidad suficiente para acogerla (nuevamente al mar, río, lago...). Un esquema básico del circuito de refrigeración de una central eléctrica es el que se indica en la siguiente figura:

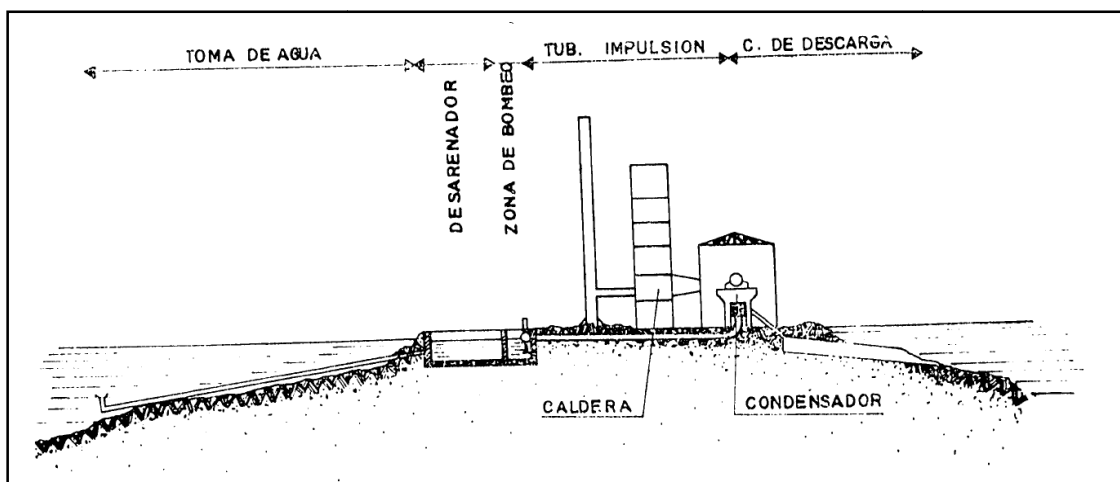


Figura 2.22.- Esquema de un circuito de refrigeración genérico (Sánchez López, 1976)

La parte final del circuito, el canal de descarga, tiene el siguiente aspecto:



Figura 2.23.- Canal de descarga de la CTLA (*Elaboración Propia*)

Cuando la central térmica se encuentra en una zona donde el agua es escasa o no alcanza a cubrir las necesidades de refrigeración, se utiliza un circuito cerrado de agua de circulación, es decir, se transfiere el calor extraído de los equipos a la atmósfera mediante torres de refrigeración (*UNESA, 2013*).

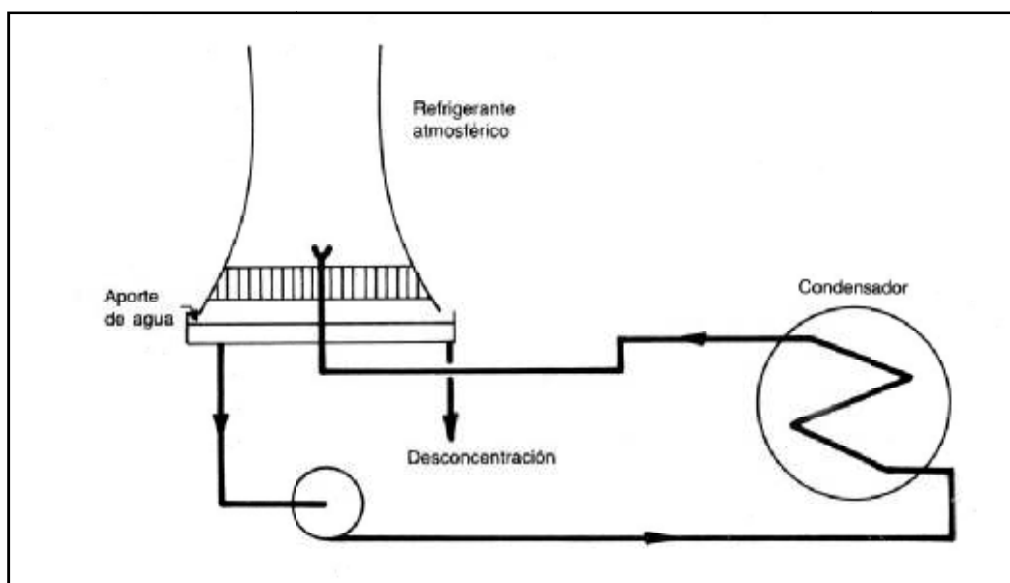


Figura 2.24.- Circuito cerrado (*Iberdrola, 2014*)

Las torres de refrigeración son estructuras de gran dimensión cuyo principio de funcionamiento se basa en la evaporación. El equipo produce una nube de gotas de agua que se pone en contacto con una corriente de aire caliente. Se produce una evaporación de una pequeña parte del agua inducida por el contacto con el aire dando lugar al enfriamiento del resto del agua que cae en la balsa a una temperatura inferior a la de pulverización.

En las siguientes figuras podemos ver algunos dibujos esquemáticos de una torre asociada a un proceso industrial genérico de refrigeración como la generación de energía eléctrica.

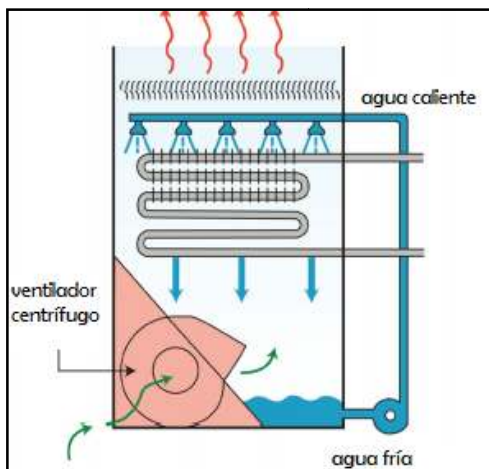


Figura 2.25.- Circuito cerrado (FEMP, 2011)

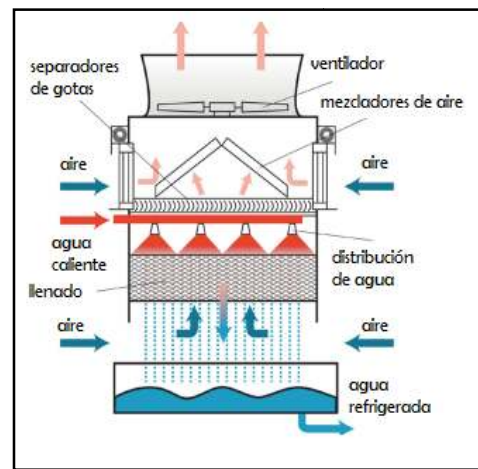


Figura 2.26.- Estructura (FEMP, 2011)

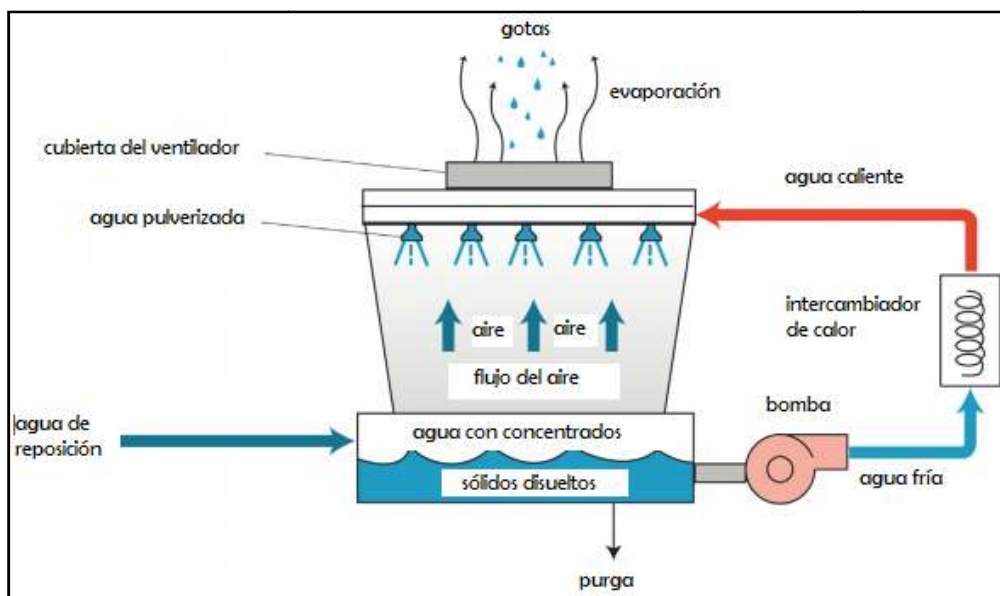


Figura 2.27.- Esquema del flujo de agua a través de la torre de refrigeración (FEMP, 2011)



Un elemento crítico en la gestión de la refrigeración de la central eléctrica radica en el mantenimiento del agua de refrigeración dentro de unas condiciones determinadas. Concretamente, el agua del circuito de refrigeración debe ser tratada con el fin de que no se produzca la proliferación de vida biológica en los haces tubulares del condensador e interrumpa, de esta forma, el proceso de refrigeración.



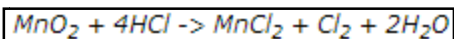
Figura 2.28.- Incrustación de mejillones en los haces tubulares (FBS, 2014)

Existen numerosos métodos para tratar el agua y eliminar las impurezas y partículas que pueda contener. Entre ellos, destacamos la *sedimentación* y la *flotación* que separan sólidos disueltos en el agua o los tratamientos *anaerobios* que son procesos más complejos en los cuales se priva de oxígeno al agua para evitar la existencia de vida biológica en ella (Kemmer, 1989).

Sin embargo, la cloración es el sistema más empleado en centrales térmicas para combatir todo tipo de incrustaciones orgánicas y, de forma fundamental, el desarrollo del mejillón. Con ello se consigue la eliminación de toda clase de vida, al tiempo que se realiza una limpieza efectiva de todo el circuito (Sánchez López, 1976).

El Cloro (Cl_2) fue descubierto en su forma diatómica y preparado en su forma pura en el siglo XVIII por el sueco Carl Wilherlm Scheele calentando manganeso sódico (MnO_2) con ácido hidrociorídrico (HCl). Cuando estas sustancias son calentadas los enlaces se rompen

originando manganoso clorídrico ($MnCl_2$), agua (H_2O) y cloro (Cl_2). Podemos enunciar la reacción química de la siguiente forma (Lenntech, 2014):



La presencia de colonias de mejillones origina una rápida obstrucción de los tubos de impulsión junto con un aumento del coeficiente de rozamiento, hasta el punto de que las instalaciones no sometidas a tratamientos preventivos o que no emplean dosis suficientes de cloro pueden verse obligadas a interrumpir total o parcialmente su funcionamiento para proceder a la limpieza manual de los tubos de impulsión o de los tubos del condensador obstruidos por mejillones desprendidos de racimos previamente desarrollados en algún punto anterior del circuito. Sin embargo, hay que tener en cuenta que al vaciar el condensador para proceder a su limpieza, comienzan a desprenderse gases tóxicos debido a la putrefacción de los moluscos. Por ello que es muy peligroso para la salud de los operarios limpiar estas zonas (Iberdrola, 2014).



Figura 2.29.- Ejemplos de presencia de vida biológica en los tubos de un condensador (FBS, 2014)

Esta interrupción del funcionamiento de la central térmica puede traducirse en una pérdida de ingresos económicos, falta de abastecimiento de energía eléctrica a industrias y hogares, costes de reparación y mano de obra, etc. Por ello, en la totalidad de las centrales térmicas existen mecanismos y procedimientos tendentes a evitar la proliferación de vida en los circuitos de refrigeración.



2.3. Necesidad de limitar y medir el cloro residual en el punto de vertido

La cantidad de cloro agregada al agua del circuito de refrigeración debe ser limitada por dos motivos diferentes:

- a) Motivos ambientales, ya que no se debe verter agua con un exceso de cloro al medio receptor.
- b) El coste que representa el cloro que se aporta al circuito.

En base a los posibles daños que puedan derivar en el medio receptor por la existencia de cantidades excesivas de cloro residual, las administraciones competentes en materia de medio ambiente establecen una serie de limitaciones de tipo cuantitativo a la presencia de este elemento. También deben ser controlados otros parámetros como la temperatura, la conductividad, el pH o el caudal circulante.

En el caso concreto de la concentración de cloro residual, aunque es variable según las diferentes normativas, existen algunos valores de referencia. Estos valores, llamados Valores Límite Ambientales (VLA), representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que el cloro en esa proporción marca el límite estimado como para ser considerado contaminante (INSHT, 2013).

A modo de ejemplo, se indican los exigidos en el caso de la Central Térmica de Carboneras en 2008 y los establecidos por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo:

	MEDIA MENSUAL	MEDIA DIARIA	VALOR PUNTUAL
Cloro residual (mg/l)	0,20	0,50	1,00
Cloro (mg/m ³)			0,50-1,50

Tabla 2.1. VLA de Cloro residual (Autorización Ambiental Integrada de la Central Térmica de Carboneras, 2008 ; Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2013).

Dada la importancia de tener controlados los niveles de cloro que se vierten al medio ambiente, es necesario arbitrar sistemas alternativos en caso de fallo. Por ejemplo, en el caso de avería en los equipos de medición de cloro (véase epígrafe 5.3) el personal de trabajo pertinente, en este caso la Unidad de Instrumentación de la CTLA, se encargará de la reparación o sustitución de los mismos teniendo un tiempo establecido para su puesta de funcionamiento de dos horas impuesto por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.



Durante este período se activa el protocolo de actuación en caso de fallo o avería de los sistemas de medición de vertidos dando aviso por correo electrónico al Centro de Control de Datos de la Consejería. Además, se emplearán métodos de recogida de muestras manualmente durante el tiempo que dure la incidencia para seguir con un muestreo continuo del cloro residual.

El personal de Mantenimiento procederá a realizar los trabajos oportunos para solventar la incidencia ocurrida que puede ir desde una reparación inmediata de los equipos hasta la sustitución de los mismos por otros de reserva.

Cuando se ponga fin a la incidencia es necesario comunicarlo al Centro de Control de Datos enviando el último valor resultante de la medición manual tomada de cloro residual.

2.4. Mecanismos de medición de cloro residual en aguas

Como es lógico, la necesidad de controlar los valores máximos de cloro residual en el momento previo a la descarga del agua de refrigeración en el medio receptor hará imprescindible establecer un determinado mecanismo para tomar muestras y establecer la medición del cloro.

Desde un punto de vista estadístico, el muestreo podrá ser de los siguientes tipos (*Instituto Nacional de Estadística, 2013*):

- Muestreo aleatorio simple: consiste en la toma al azar de muestras independientes temporales y espacialmente.
- Muestreo estratificado: consiste en dividir el curso de agua en varios tramos a los que se aplica un muestreo aleatorio simple.
- Muestreo sistemático: aquí se adopta una cadencia temporal repetitiva, con lo cual se obtienen series temporales de datos.
- Muestreo sistemático estratificado: que combina los dos anteriores, representando probablemente el tipo de muestreo más adecuado y completo para conocer comportamientos cíclicos de sistemas hidráulicos.

En cuanto al mecanismo propiamente dicho de recogida del agua cuya cantidad de cloro se pretende medir, puede ser tan simple como una botella de vidrio, metálica o de plástico provista de un tapón, que se llena con el agua objeto del posterior análisis, hasta equipos más sofisticados de medición continua.



Características comunes a cualquier equipo de muestreo deben ser su robustez, comodidad en el manejo, facilidad en su transporte, capacidad adecuada de muestra que pueden contener y fácil limpieza una vez utilizados.

Los equipos de toma de muestras para la medición de cloro residual pueden ser de alguno de los siguientes tipos (AGACE, 2004):

2.4.1. Botellas y cubos

De uso manual, sirven para tomar muestras de aguas superficiales y de pozos que no dispongan de sistemas de bombeo. Se aconseja enjuagarlos varias veces con el agua a muestrear antes de su llenado definitivo (salvo en el caso de botellas estériles para análisis microbiológico). Cuando se van a determinar gases en la muestra tomada, las botellas deben poder cerrarse herméticamente, pudiendo también emplearse dos botellas unidas por una tubuladura o dos botellas introducidas una en la otra.



Figura 2.30.- Frasco lleno de una muestra de agua (Hernández, 2010)

2.4.2. Botellas lastradas

Se usan para obtener muestras de agua a profundidad variable. Para esto, la botella, unida a una cuerda y tapada, se introduce a la profundidad deseada abriéndose entonces y cerrándose cuando se haya llenado del agua a tomar, mediante un sistema adecuado.

Suelen ser de plástico o cristal y se utilizan en ríos, embalses, pozos sin bombas de extracción, etc. (Orozco, 2003).

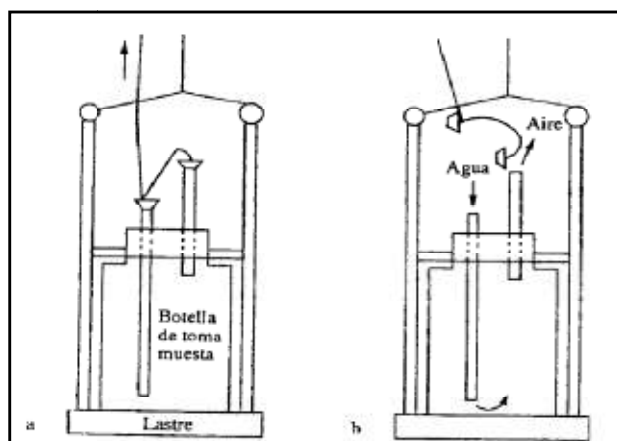


Figura 2.31.- Botella lastrada (AGACE, 2004)



Figura 2.32.- Soporte lastrado de acero inoxidable (Agbar, 2011)

2.4.3. Botellas con apertura y cierre automático

Pueden ser tan complicados como se desee. En síntesis consisten en un tubo cilíndrico de 1 a 5 litros de capacidad, abierto por sus dos extremos y que, mediante un sistema mecánico o eléctrico, cierra sus dos bases cuando se alcanza el agua de profundidad deseada. Así son los muestreadores usados para toma de muestras en lagos y embalses, que emplean como sistema de cierre una pesa que posee un orificio central para deslizarse sobre la cuerda que sostiene el muestreador. Lanzada desde el extremo superior de la cuerda, fuera del agua, su impacto provoca el cierre simultáneo de las dos tapaderas del cilindro.

La muestra es recogida en una botella interior separable, que se llena 5 veces para asegurar una muestra representativa. Las muestras se pueden tomar a una profundidad determinada utilizando el cabo calibrado. Enganchando el peso de 900 gramos al extremo inferior del aparato tomamuestras se asegura un descenso rápido y minimiza su marcha a la deriva por las corrientes. Si hay corrientes fuertes se debe poner más peso en la botella.

Es necesario mantener una posición directamente encima de la botella tomamuestras cuando ésta se baja, de forma que permanezca en posición vertical. De esta manera saldrá todo el aire de la botella y se llenará completamente. Las burbujas de aire que salgan de la botella se observarán corriente abajo (*Técnicas Ecológicas Indalo, 2013*).

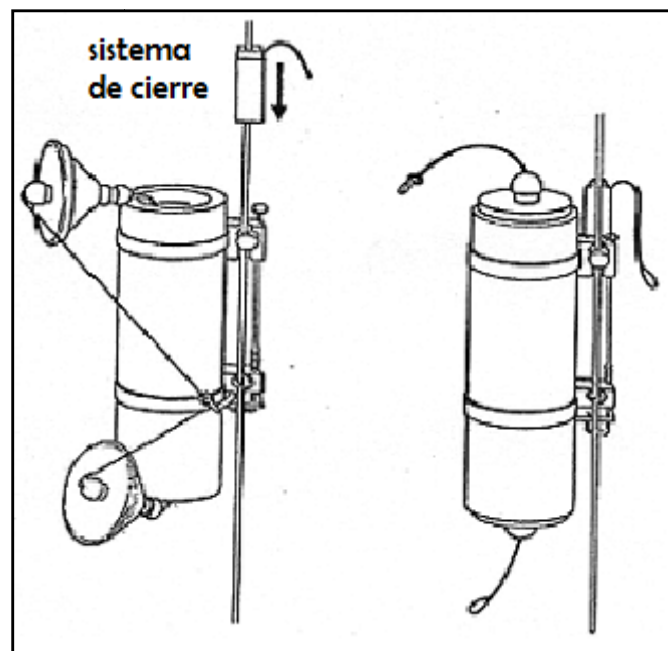


Figura 2.33.- Botellas con apertura y cierre mecánico (*Universidad de Salamanca, 2013*)



Figura 2.34- Botella tomamuestras de agua (*Técnicas Ecológicas Indalo, 2013*)

2.4.4. Sistemas de bombeo

Utilizados ampliamente, permiten tomar muestras puntuales, continuas y a intervalos temporales variados, de acuerdo al programa de muestreo establecido por un sistema de programación automático o bien mediante accionamiento manual. Las bombas usadas pueden ser centrífugas (transforman la energía mecánica de un impulsor) o peristálticas (usadas para bombear gran variedad de fluidos) permitiendo la extracción de volúmenes importantes de muestra.

Un sistema de bombeo necesita, además de las tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, algunos elementos que aporten la energía potencial necesaria para el transporte, como válvulas y equipos de medida (*Lasheras, 2012*).

Las bombas son los elementos que aportan energía para vencer las pérdidas de carga y la diferencia de altura entre dos puntos y fuerzan a que el fluido circule en un determinado sentido.



Figura 2.35.- Sistema de bombeo de aguas (Elaboración propia)

Los equipamientos con sistemas de bombeo de impulsión en las industrias modernas están presentes en multitud de actividades industriales, como la química, la alimentación o la generación de electricidad. Los procesos de automatización de las bombas en estas industrias conducen a una mejora en su funcionamiento.

A partir de un análisis sobre las condiciones de trabajo de los sistemas de bombeo, sabemos que hay numerosos problemas a los que es necesario hacer frente, como los esfuerzos dinámicos en las partes mecánicas, alta tensión en los motores o problemas de ahorro de energía. Se ha demostrado, mediante numerosos análisis experimentales, que este tipo de inconvenientes pueden ser, al menos, aliviados empleando programas de secuencia PLC (Programmable Logic Controller) que se encargan del control y organización entre los inputs y outputs de las herramientas del sistema (Akayleh Ali, 2009).

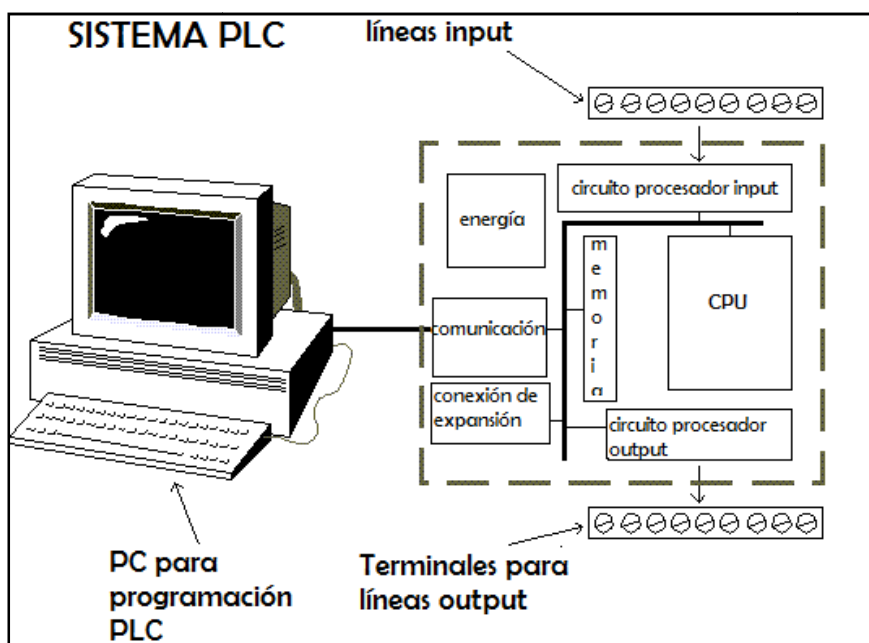


Figura 2.36.- Sistema PLC (Kelvin & John, 1999)

2.4.5. Sistemas integradores en profundidad

Se trata de aparatos automáticos que se introducen en el fondo del río o embalse y se van llenando paulatinamente y a una velocidad definida a medida que se van izando hacia la superficie. De esta manera se pueden tomar muestras “integradas” en profundidad.

Este sistema consiste en hacer bajar un dispositivo de muestreo hacia la zona de circulación del fluido, dejando que se llene con agua a una profundidad conocida, y recuperando la muestra para transferirla a un recipiente apropiado, cuando sea necesario. Este método normalmente es adecuado sólo para uso en pozos de monitoreo que no se bombean, aunque las muestras de profundidad se pueden recoger de los pozos durante el bombeo, si hay acceso libre por la bomba, con un tubo instalado para este propósito. Las muestras de profundidad nunca se deben tomar de los intervalos con la tubería lisa, ya que el agua no es representativa de la profundidad a la que se activa el dispositivo de muestreo y, bajo condiciones estadísticas, su calidad puede haber sido alterada por actividad microbiológica o química (IDEAM, 2002).

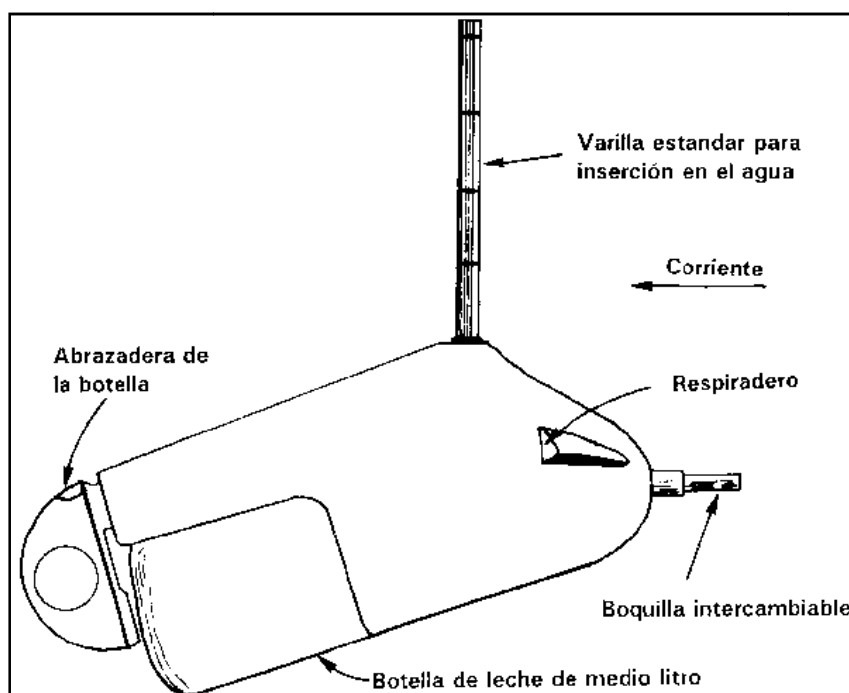


Figura 2.37.- Muestreador integrador de profundidad (FAO, 2013)

El muestreador integrador en profundidad recoge y acumula la muestra a medida que se baja hacia el fondo del río y cuando es elevado hacia la superficie. Durante el recorrido debe moverse a velocidad uniforme en cada sentido, pero no es necesario que sea la misma en ambos. El muestreador consta de una pieza de aluminio fundido, aerodinámica, que encierra parcialmente el recipiente recolector de la muestra. Este último se ajusta contra una junta estanca, situada en la cavidad delantera del muestreador, mediante un tirador o tensor regulado por un muelle que está ensamblado en el extremo o cola del muestreador. La muestra se recoge a través de la boquilla de entrada y se almacena dentro de la botella. El aire desplazado por ésta, es expelido corriente abajo a través de la salida de aire emplazada en el costado del cabezal del muestreador. Este último, incluido el recipiente recolector, pesa 2 kilogramos. Para suspenderlo se utiliza una varilla de vadeo normalizada de las empleadas para aforar corrientes fluviales, u otro dispositivo manual adecuado, que se enrosca en la parte superior del muestreador.

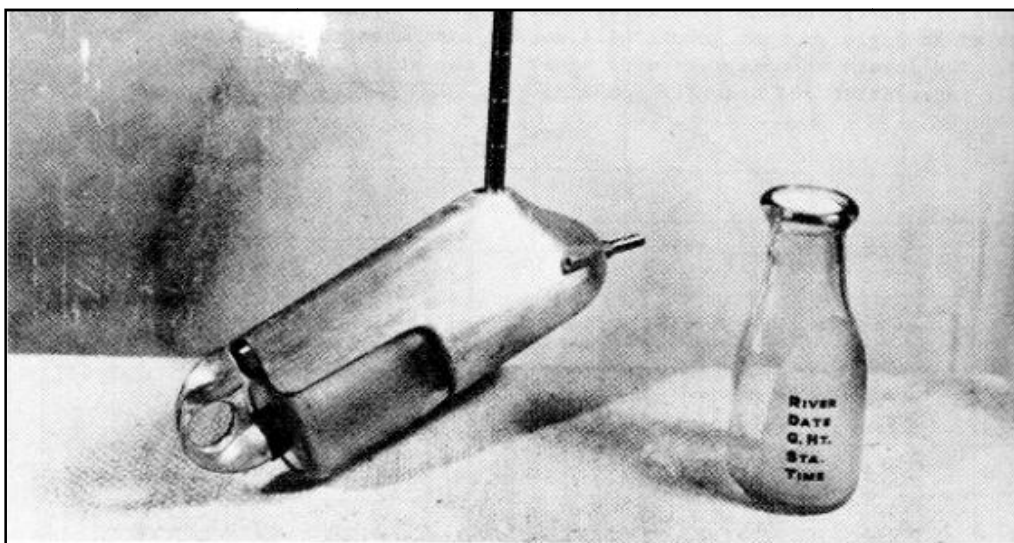


Figura 2.38.- Sistema integrador en profundidad (CEDEX, 2013)



Figura 2.39.- Uso del muestreador en profundidad por un operario (CEDEX, 2013)

2.4.6. Muestreadores automáticos pasivos

Este tipo encuentra su principal utilización en la toma de muestras integradas en aguas residuales, domésticas, industriales y estaciones de depuración. Se encuentran profusamente distribuidos en el mercado. Suelen constar de un depósito de capacidad variable, pero en general superior a 10 litros para el almacenamiento temporal de la muestra.

La succión a través del tubo se promueve mediante un sistema de bombeo, cuyo accionamiento se temporiza automáticamente por un equipo programador, bien en función de una secuencia preestablecida de tiempos de succión y tiempos de espera entre éstos, bien en función del caudal circulante en cada momento por el medio hídrico que se está muestreando. Esta información se obtendría por un sensor de flujo convenientemente calibrado. Los equipos automáticos de muestreo se revelan particularmente adecuados en el seguimiento de vertidos industriales, ya que la evacuación de las mayores cargas contaminantes suele producirse durante las puntas de producción, estando ligados además a variaciones muy importantes del caudal vertido.



Figura 2.40.- Instalación de un muestreador puntual y continuo (DICTUC, 2013)

El muestreador pasivo simula el comportamiento de un organismo bioacumulador, captando el contaminante del medio de forma proporcional a la concentración y al tiempo de exposición. La cantidad acumulada permite posteriormente calcular la concentración promedio en el punto de muestreo. Un muestreador pasivo consta de una fase receptora (absorbente o disolvente afín al compuesto objeto de estudio) sobre la que se retiene el compuesto, en el interior de una barrera limitante.

Se proporcionan valores medios de concentración en períodos prolongados de exposición (desde días a varias semanas). Son aplicables a un amplio rango de compuestos, tanto microcontaminantes orgánicos como especies metálicas.

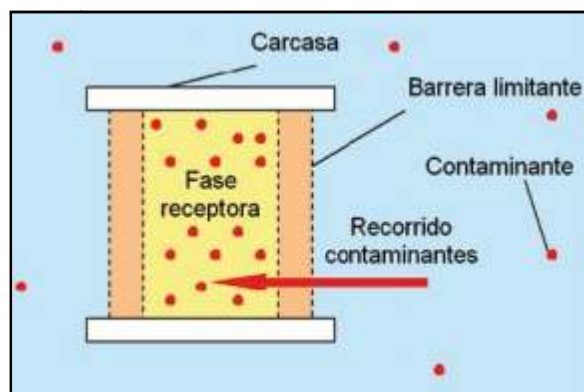


Figura 2.41.- Esquema de un captador (*Labaqua S.A., 2013*)

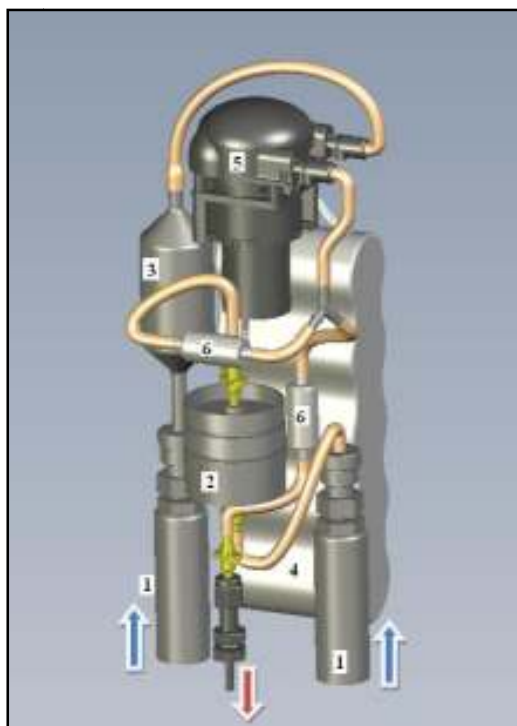


Figura 2.42.- Esquema del muestreador pasivo: (1) Camisa de vidrio y prefiltro. (2) Casete porta filtros de sólidos en suspensión. (3) Celda de Acero. (4) Batería de litio. (5) Bomba peristáltica. (6) Válvula anti retorno. (*Labaqua S.A., 2013*)



Capítulo 3. Planteamiento del problema

3.1. Problema existente en el canal de descarga de la CTLA

Desde el momento en que se construyó la central, el sistema de medición de cloro residual constaba de dos pequeñas bombas situadas al final del canal de descarga, diseñadas para trabajar en ambientes marinos y capaces de trasvasar toda clase de líquidos. Las bombas fueron instaladas para la toma constante del agua que fluye por el canal con el fin de controlar las inmisiones de la Central Térmica. La absorción del agua se realizaba mediante un par de tuberías que se encuentran pegadas a la pared del canal.

Cabe indicar que en el apartado 2.3. del Anexo IV de la Autorización Ambiental Integrada, se exige la instalación de equipos de control automático en continuo, debiendo ser ubicados y mantenidos en un punto representativo del vertido. Asimismo, deben contar con preinstalación para transmisión automática, en un lugar accesible para su calibración, mantenimiento y contraste. Es obligatorio conservar al menos durante tres (3) años los resultados de las mediciones de cloro si no hubiera transmisión automática a la Consejería de Medio Ambiente y seis (6) meses si la hubiera.

Las bombas eran de la marca ELIAS, Serie SL, de baja calidad, auto-aspirantes para piscinas y que funcionaban con bajo rendimiento. Además, los tubos de aspiración, de 2'' de diámetro y comunes para ambas bombas, habían sido desplazados por la fuerza del agua quedando el sistema deshabilitado.

Por otra parte, existía la problemática de la dificultad de maniobrar en dicho espacio ya que el agua fluye a gran velocidad y el canal no puede evacuarse ya que, para ello, deberían pararse los dos (2) grupos y eso no es viable. Para una mejor comprensión de la problemática podemos observar la Figura 3.1, donde se aprecia claramente que un tubo de aspiración había desaparecido y el otro estaba seriamente deteriorado.



Figura 3.1.- Antigo sistema de bombeo (Franco, 2009)

Las anomalías en los filtros propios de la bomba eran continuas teniendo que arrancar y parar las bombas frecuentemente. Esto conlleva muchos problemas, sobre todo de consumo.

Además, el aporte de agua de la desaladora hace que contenga más partículas en suspensión y exceso de salinidad.

Durante la realización de un periodo de prácticas en la CTLA, por parte del Servicio de Mantenimiento se plantea la posibilidad de mejorar el sistema existente y que tantos fallos había manifestado. En base a ello se plantea la realización de un estudio de alternativas completo que habría de culminar con el diseño e implantación de la alternativa que se estimase más adecuada.

3.2. Descripción general de la Central Térmica Litoral

3.2.1. Breve historia

La Central Térmica Litoral Almería (CTLA) está ubicada en el municipio de Carboneras (Almería) junto al mar Mediterráneo. Consta de dos grupos generadores con una potencia total de 1.158,9 MW (Endesa, 2000).

Tradicionalmente, los factores fundamentales de la localización de las centrales térmicas de Endesa venían determinados por la existencia de yacimientos de carbón en las proximidades y/o por la cercanía de importantes centros de consumo de energía eléctrica.

En el caso de la Central Térmica Litoral, en el que no se cumplía ninguno de estos requisitos, la motivación de la instalación obedeció a distintas circunstancias. Por una parte, el creciente

desarrollo económico en España, y concretamente de Andalucía, exigía el incremento de potencia eléctrica instalada en las mejores condiciones tecnológicas y de coste, así como diversificar las fuentes primarias de energía en generación eléctrica.



Figura 3.2.- Entrada a la CTLA (Elaboración propia)

La Central Litoral fue constituida en el marco del Plan Acelerado de Centrales de Carbón redactado en 1979. La llamada “segunda crisis del petróleo” aconsejó a los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) la reducción de la dependencia del petróleo como fuente de energía primaria. El Plan Energético de 1979 recogió esta directriz e incluyó, entre las acciones para llevarla a cabo, la construcción de una serie de centrales de carbón en España, entre las que se encontraba una que debería ubicarse en el litoral de Almería.

La central debía construirse preferentemente en la zona de Carboneras para aprovechar las instalaciones portuarias anteriormente preparadas para dar servicio a una fábrica de cemento. Con la construcción de la central, estas instalaciones portuarias se ampliaron y adecuaron para recibir grandes barcos con carbón importado.

La construcción del complejo Central-Puerto supuso una inversión material de 907 millones de euros. Una buena parte de estas inversiones se destinó a minimizar su incidencia en el medio ambiente. La casi totalidad de su ingeniería y el suministro de equipos fue realizado por empresas españolas.

La instalación de esta central ha tenido un importante impacto en los sistemas socioeconómicos andaluz y almeriense, especialmente en la zona de Carboneras.



Los hitos históricos más importantes de esta central son los siguientes:

- El proyecto de ingeniería para el primero y el segundo grupo de la central se redactó en 1980.
- El grupo 1 se conectó a la red a finales de 1984, entrando en explotación comercial en febrero de 1985. El 1 de mayo de 2001 se reconoció el aumento de potencia nominal de dicho grupo desde 550 MW a 577 MW.
- El grupo 2 recibió la autorización para su construcción de la Dirección General de la Energía al mismo tiempo que el grupo 1, si bien su construcción se paralizó hasta 1993. El 24 de agosto de 1997 comenzó la operación comercial de dicho grupo y el 1 de junio de 2000 se reconoció el aumento de potencia nominal desde 550 MW a 582 MW.
- La obra civil de la Terminal Portuaria, autorizada también por la Dirección General de la Energía, comenzó en julio de 1982. Dos años más tarde, en septiembre de 1984, se produjo la primera descarga de carbón.
- En 1999 tuvo lugar la puesta en funcionamiento de la segunda Terminal Portuaria y, ese mismo año, se amplió la capacidad de transporte del círculo Puerto-Parque de central.
- La central ha obtenido de AENOR el certificado de gestión medioambiental ISO 14001, que acredita que sus actividades se realizan de forma respetuosa con el medio ambiente.

3.2.2. Características de los grupos

Propiedad	Endesa
Tipo	Térmica
Potencia instalada total (MW)	1.158,9
Número de grupos	2

Tabla 3.1.- Características generales de la CTLA (Endesa, 2000)



	GRUPO 1	GRUPO 2
Tipo de combustible	Carbón de importación	Carbón de importación
Potencia por grupo (MW)	576,9	582
Año de puesta en servicio	1985	1997
Combustible	Hulla de importación	Hulla de importación

Tabla 3.2.- Características generales de los grupos generadores de la CTLA (Endesa, 2000)

	GRUPO 1	GRUPO 2
Capacidad (t/h)	53	53
Fabricante	Combustión Engineering	ABB
Número	6	6
Potencia (Kw)	500	500

Tabla 3.3.- Características de los molinos de la CTLA (Endesa, 2000)

	GRUPO 1	GRUPO 2
Tipo de caldera	Fuegos tangenciales	Fuegos tangenciales
Fabricante	Combustión Engineering	ABB
Altura calderín (m)	66,34	66,34
Caudal de vapor principal (t/h)	1.679	1.679
Capacidad de vapor recalentado (t/h)	1.525	1.525
Presión de vapor inicial (bar)	176	176
Presión de vapor recalentado (bar)	41	41
Temperatura agua alimentación (°C)	253	253
Temperatura vapor principal (°C)	541	541
Temp. vapor recalentado caliente (°C)	541	541
Temp. vapor recalentado frío (°C)	338	338
Situación caldera	Intemperie	Intemperie
Rendimiento (%)	89,42	89,42

Tabla 3.4.- Características de las calderas de la CTLA (Endesa, 2000)



Altura (m)	200
Diámetro exterior de la base (m)	19
Número de conductos	1
Material de conductos	Cerámico

Tabla 3.5.- Características de la chimenea de la CTLA (Endesa, 2000)

	GRUPO 1	GRUPO 2
Filtros electrostáticos	2 Uds., 4 campos, 5 zonas	2 Uds., 5 campos
Características por grupos	20 campos eléctricos	20 tolvas/precipitadores
Caudal de gases (m³/h)	1.574.609	906 m ³ /segundo efecto.
Rendimiento (%)	99,83	99,72

Tabla 3.6.- Características de los filtros de la CTLA (Endesa, 2000)

	GRUPO 1	GRUPO 2
Tipo	Presión dual	Presión dual
Fluido refrigerante y proced.	Agua de mar en circuito abierto	Agua de mar en circuito abierto
Salto térmico (°C)	5	5
Superficie de intercambio (m²)	28.743	27.348
Caudal (m³/h)	59.530	60.408

Tabla 3.7.- Características de los condensadores de la CTLA (Endesa, 2000)

	GRUPO 1	GRUPO 2
Fabricante	Bazán/G.E.E.	Bazán/G.E.E.
Potencia máxima (MW)	577	577
Número cuerpos	4	4
Número extracciones	7	7
Presión en condensador	38,10 mm Hg	38,10 mm Hg
Velocidad de régimen (r.p.m.)	3.000	3.000

Tabla 3.8.- Características de las turbinas de la CTLA (Endesa, 2000)



	GRUPO 1	GRUPO 2
Fabricante	General Electric	General Electric
Modelo	2.900 kVA, 2 polos, 3.000 r.p.m.	2.900 kVA, 2 polos, 3.000 r.p.m.
Potencia (MVA)	636	636
Tensión en bornes (KV)	20	20
Factor de potencia	0,9	0,9
Intensidad nominal estator (A)	18.360	18.360
Refrigeración del estator	Hidrógeno	Hidrógeno
Frecuencia (Hz)	50	50
Tipo de excitación	Alternador-Alterrex	

Tabla 3.9.- Características los alternadores de la CTLA (Endesa, 2000)

	GRUPO 1	GRUPO 2
Tipo	Monofásico acorazado	Monofásico acorazado
Fabricante	Westinghouse	ABB
Potencia (MVA)	209,5	209,5
Relación de transformación	400/20 KV	6.000/380 V
Regulación de carga	Sí20/410	

Tabla 3.10.- Características de los transformadores de la CTLA (Endesa, 2000)

3.3. Circuito de refrigeración de la CTLA

El circuito de refrigeración convencional de la CTLA puede observarse en la Figura 3.3. y Figura 3.4.

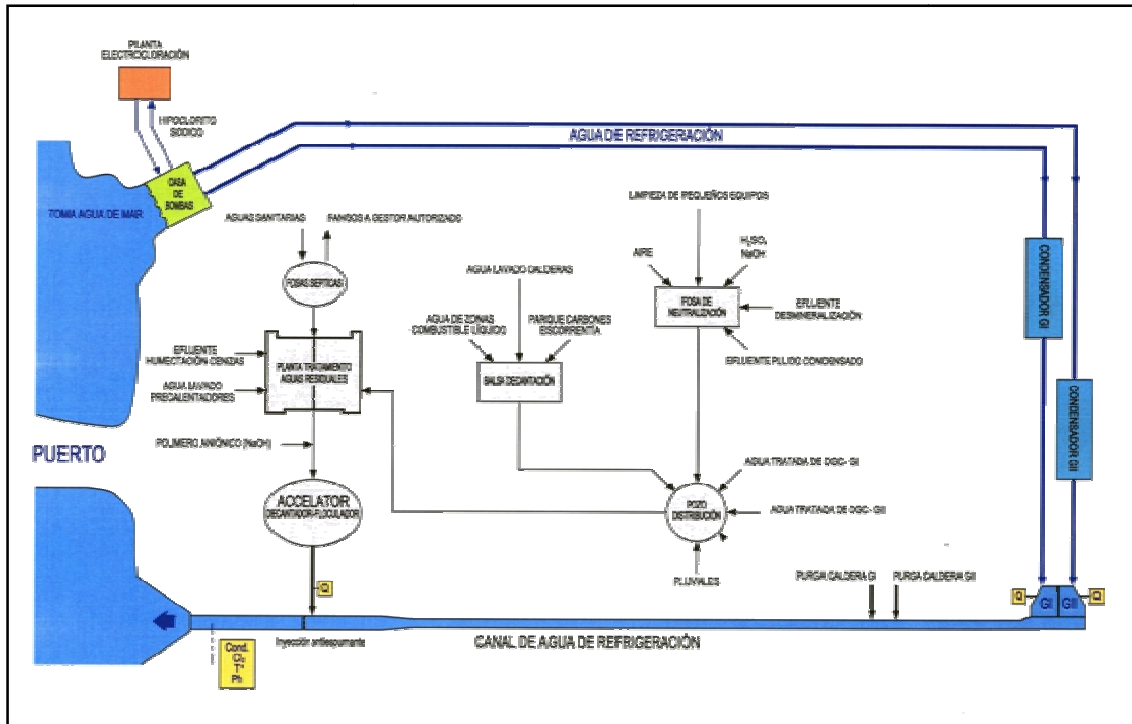


Figura 3.3.- Esquema del circuito de refrigeración de la CTLA (Endesa, 2000)

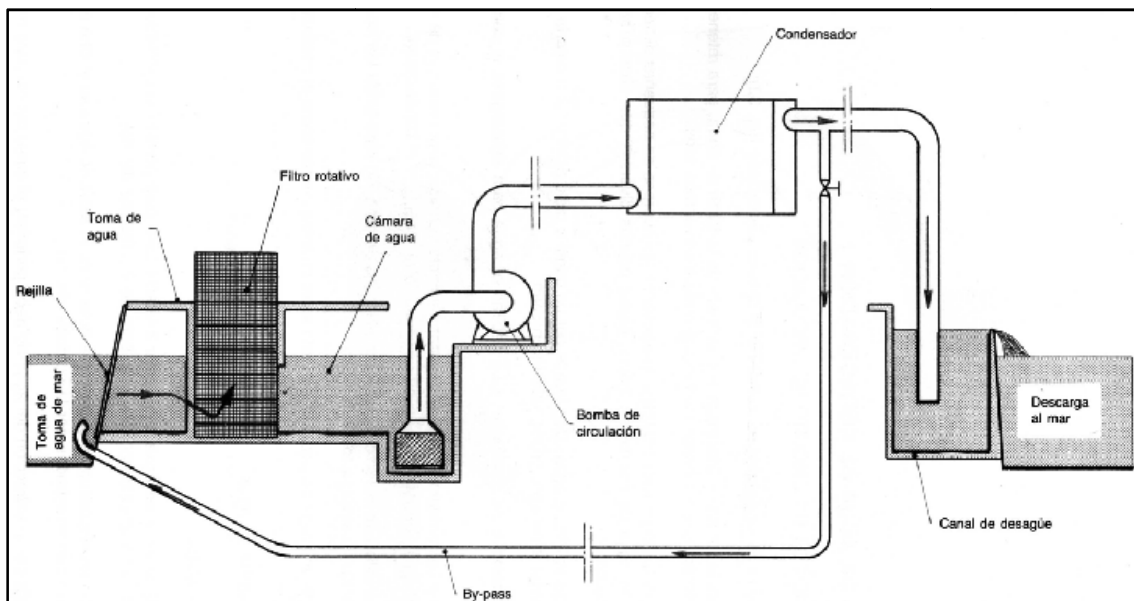


Figura 3.4.- Esquema general del circuito de agua de refrigeración de la CTLA (Endesa, 2000)



3.3.1. Partes del circuito

A continuación, se explica cada una de las partes fundamentales del circuito de refrigeración de la CTLA en particular:

- Una obra de **toma de agua**. Se toma agua de mar gracias a la aspiración de cuatro (4) bombas, dos (2) por grupo, al condensador para transformar el vapor en agua y refrigerar los equipos.
- Dispuesta a la entrada de la toma de agua, se instala una **rejilla fija** para retener los cuerpos gruesos flotantes, los organismos vivos y el plancton existente en el mar.



Figura 3.5.- Equipos de aspiración de agua de mar (Elaboración Propia)

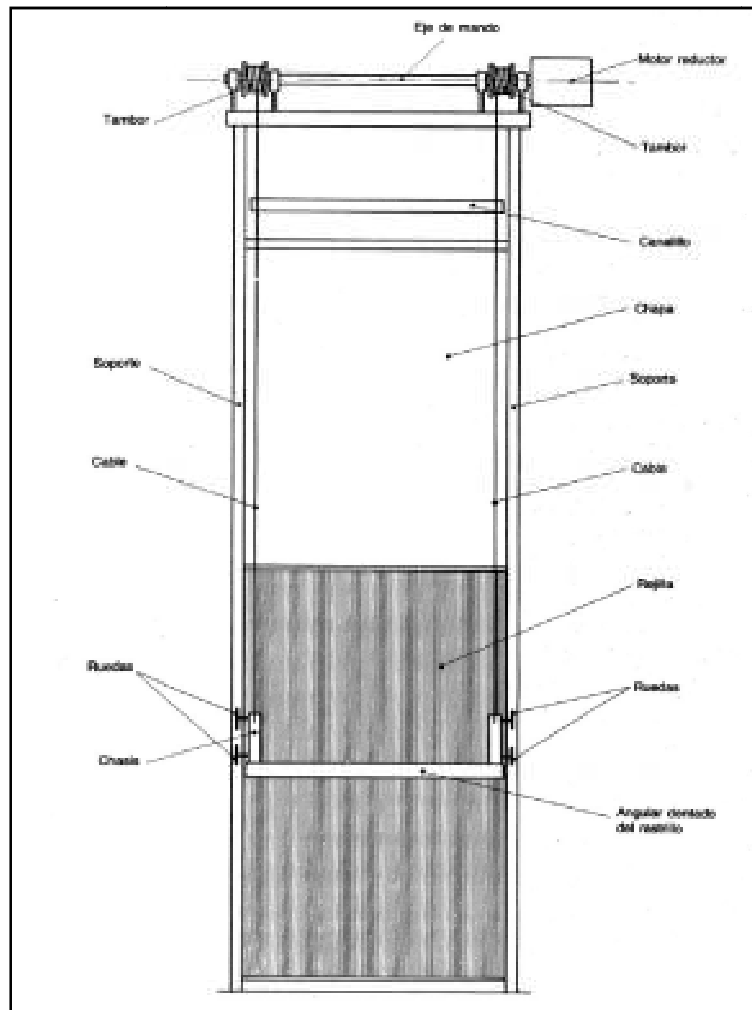


Figura 3.6.- Rejilla gruesa fija (Iberdrola, 2014)

- Antes de las rejillas existen unas **ánforas** ubicadas en el fondo del mar en las proximidades de la aspiración de agua que sirven para captar los organismos vivos de mayor tamaño atraídos por la aspiración de las bombas.

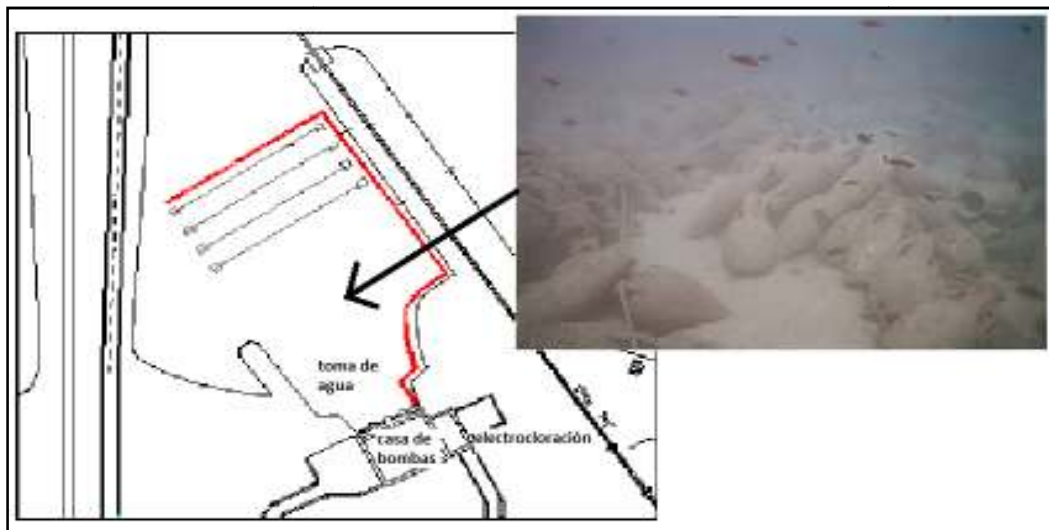


Figura 3.7.- Ánforas (Elaboración Propia).

- Una **rejilla rotativa**. De paneles filtrantes, que retienen los cuerpos de pequeñas dimensiones metidos con el agua de circulación; hojas, algas, objetos diversos que obstruirían los tubos del condensador.

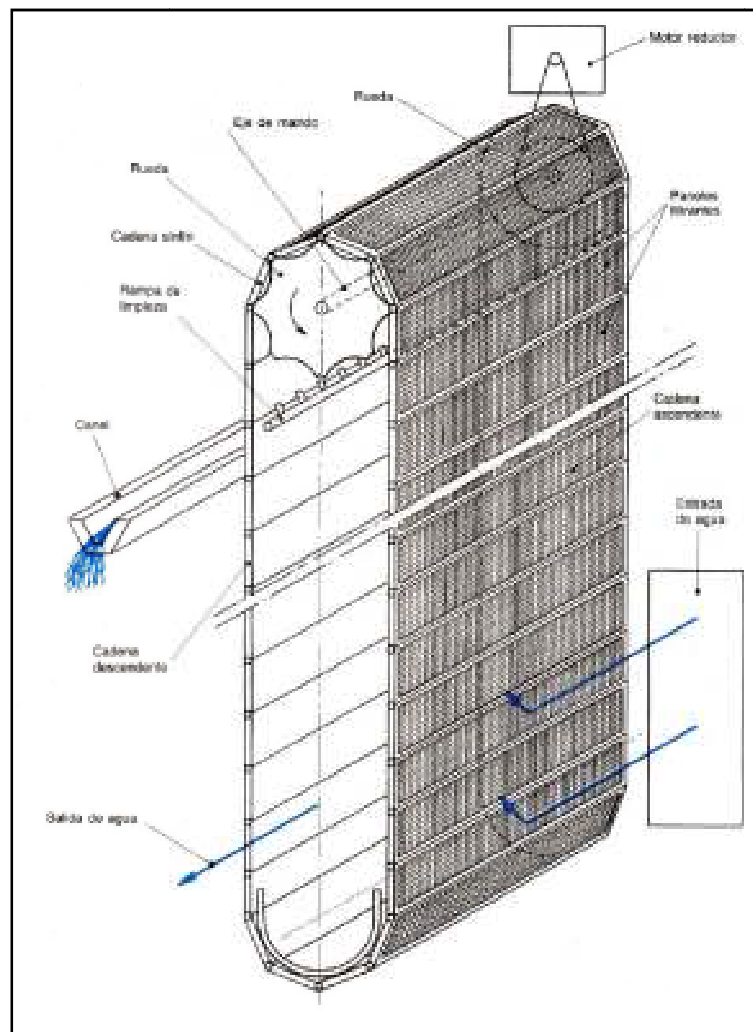


Figura 3.8.- Rejilla rotativa de paneles filtrantes (Iberdrola, 2014)

- Además, con el mismo objetivo que las rejillas fijas y rotativas, se produce un **aporte** considerable de **hipoclorito sódico** desde la planta de electrocloración. Esta sustancia va diluyéndose conforme discurre por los tubos llegando en muy pequeño porcentaje al mar. La eliminación del transporte y almacenamiento del gas de cloro y otros productos químicos de desinfección, sitúan a la electrocloración como una tecnología viable, limpia y segura para las industrias de hoy (Cumberland, 2014).
- El agua de mar en su circuito de refrigeración también pasa por una serie de **separadores magnéticos** que dividen y expulsan partículas metálicas magnéticas como clavos, alambres o tornillos que puedan obstruir el buen funcionamiento del condensador.

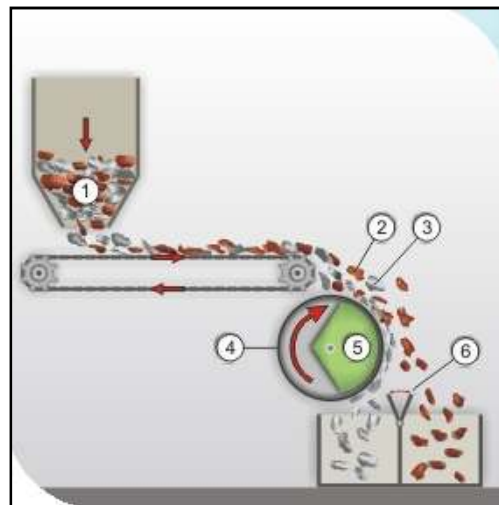


Figura 3.9.- Separador magnético de tambor: 1.-Material de carga; 2.-Componentes no magnetizables; 3.-Componentes magnetizables; 4.-Tambor rotatorio; 5.-Imán permanente; 6.-Chapa de separación regulable (Liu, 1979)

Además, para una perfecta limpieza del interior de los haces tubulares que componen el condensador se aplica el **sistema Trapogge**, desarrollado en 1953 por el científico francés Josef Trapogge, mediante el cual se pueden mantener permanentemente libre de incrustaciones los tubos de enfriamiento del intercambiador de calor (condensador de una turbina de vapor en nuestro caso) durante la operación.

Este procedimiento permite mantener constantemente el condensador en estado de limpieza.

Consiste en hacer pasar, en circuito cerrado y a intervalos regulares, un cierto número de bolas de caucho esponjado por el interior de los tubos del condensador. Éstas son empujadas por el agua de circulación en los tubos. En el curso de su paso absorben en sus poros los elementos de suciedad que se puedan haber depositado durante el tiempo que ha pasado desde que pasó otra bola por el mismo tubo.

A la salida de los tubos, las bolas se limpian en parte por el efecto de turbulencia del agua en este lugar. La limpieza es completada durante el paso por los órganos dispuestos sobre el circuito de aspiración de una bomba de recuperación, que descarga las bolas limpias al circuito de agua de circulación a la entrada al condensador. Se reparten, de nuevo, al azar, en los tubos del condensador.

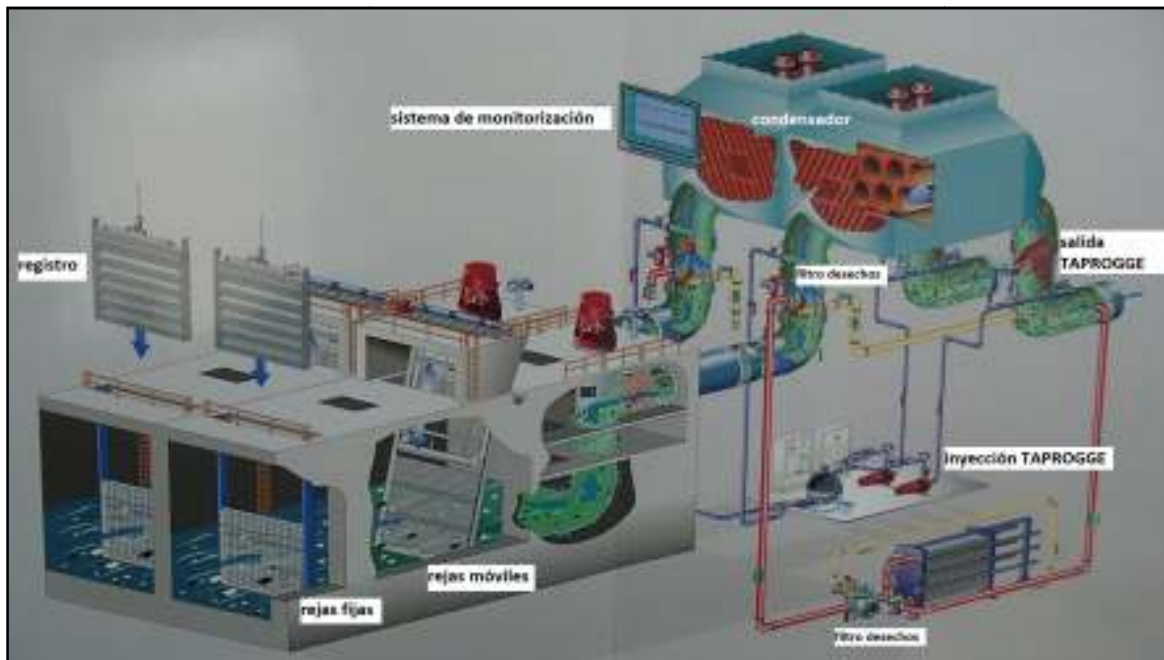


Figura 3.10.- Sistema Trapogge (Darnasus, 2014)

El dispositivo comprende los siguientes elementos:

- Bolas de caucho esponjado donde el diámetro es superior de 2 a 3 milímetros aproximadamente al diámetro interior de los tubos del condensador. La masa específica es próxima a la del agua. El número de bolas en servicio es aproximadamente igual al 10% de los tubos del condensador.
- Una moto-bomba asegura la entrada de las bolas recogidas en la tubería de salida de agua de circulación a la tubería de entrada de agua de circulación al condensador.

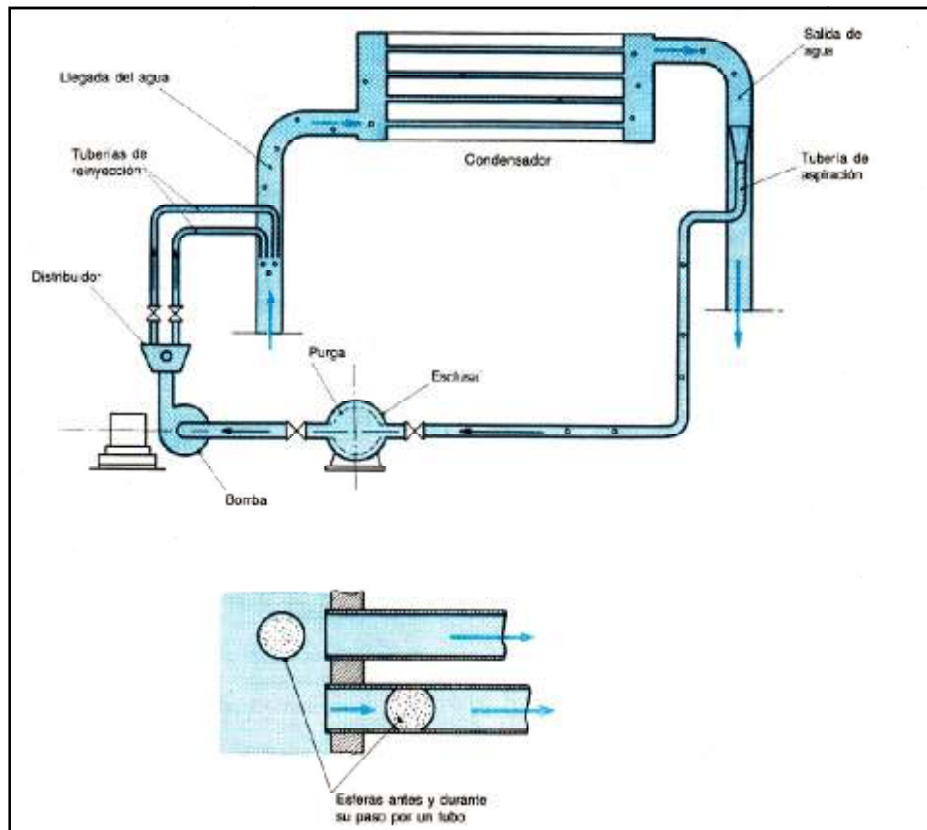


Figura 3.11.- Inyección de bolas (Iberdrola, 2014)

- Sobre el circuito de descarga de la bomba:

Una tubería de salida única, entre la moto-bomba y el repartidor. La reinyección de bolas se hace en dos puntos de la tubería de entrada de agua por dos tuberías que salen del repartidor. El repartidor está constituido esencialmente de un peine orientable mandado por un volante.
- Sobre el circuito de aspiración de la moto-bomba:
 - o Los órganos de recuperación de bolas.

Estos órganos están instalados en la tubería de salida de agua de circulación, constan esencialmente de:

 - Dos filtros superiores semielípticos constituidos por dos platos de acero inoxidable.
 - Cuatro filtros rectangulares construidos igualmente de barras de acero inoxidable, forman un colador que entra en la tubería de aspiración de la bomba. Se orientan por maniobra directa de cuatro volantes donde



dos son representados en el croquis se pueden así limpiar en marcha después de la recuperación de las bolas, en la esclusa. La inclinación en marcha es de 30° del agua de circulación.

- Una esclusa constituida por una envoltura cilíndrica donde uno de los fondos hace de tapadera y bloqueo rápido y por una mirilla de observación. La envoltura tiene instalado un panel filtrante de acero inoxidable.

La misión de la esclusa es la:

- De efectuar la limpieza de las bolas y purgar la suciedad que ellas pudieran contener.
- De retener las bolas si fuera necesario, bien para una inspección, o para una limpieza de los filtros de recuperación.

Hay unas válvulas que permiten aislar la esclusa.

A la salida de la esclusa las bolas se dirigen hacia la aspiración de la bomba de recuperación.

- Un **conducto** de agua que puede ser un canal a cielo abierto, una galería subterránea, una tubería a presión, o una tubería en sifón. En el caso de la CTLA, se trata de un canal enterrado desde la aspiración hasta la salida de los condensadores que se produce en la cámara de rotura. A partir de aquí el agua discurre a cielo abierto hasta su devolución al mar.



Figura 3.12.- Cámara de rotura de la CTLA (Elaboración propia)



Figura 3.13.- Canal de descarga visto desde la cámara de rotura (Elaboración propia)

- Una o varias **bombas de circulación**. Que aspiran el agua para descargarla al condensador (véase Figura 2.35).
- Un **conducto de descarga** de agua. Que puede tener diversas formas como el conducto de traída de agua (véase Figura 3.13).
- Una obra de **salida de agua**. Por último, justo antes de ser expulsada, el agua residual pasa por unos medidores de pH, temperatura, conductividad y cloro controlados por la Junta de Andalucía.



Figura 3.14.- Vista panorámica de la evacuación del agua de refrigeración (*Elaboración propia*)

Como podemos observar el agua de refrigeración, antes de ser expulsada al mar, pasa por una serie de sistemas de control y filtrado que hace más segura y fiable su expulsión al mar.



Capítulo 4. Análisis de alternativas

Como se ha indicado en el Capítulo 2, existen una serie de posibilidades para realizar la toma de muestras de agua residual a la salida del circuito del agua de refrigeración de una central térmica. El principal cometido de este estudio, que será desarrollado en este Capítulo, será el de determinar qué alternativa es la más adecuada dentro de todas las viables.

Recordamos que las alternativas como sistemas para tomar muestras de agua residual en el canal son las siguientes:

1. **Botellas y cubos**, de uso manual, sirven para tomar muestras de aguas superficiales y de pozos que no dispongan de sistemas de bombeo.
2. **Botellas lastradas**, se usan para obtener muestras de agua a profundidad variable.
3. **Botellas con apertura y cierre automático**, pueden ser tan complicados como se desee. En síntesis consisten en un tubo cilíndrico de 1 a 5 litros de capacidad, abierto por sus dos extremos y que mediante un sistema mecánico o eléctrico cierra sus dos bases cuando se alcanza el agua de profundidad deseada.
4. **Sistemas de bombeo**, utilizados ampliamente, permiten tomar muestras puntuales, continuas y a intervalos temporales variados, de acuerdo al programa de muestreo establecido por un sistema de programación automático o bien mediante accionamiento manual.
5. **Sistemas integradores en profundidad**, se trata de aparatos automáticos que se introducen en el fondo del río o embalse y se van llenando paulatinamente y a una velocidad definida a medida que se van izando hacia la superficie.
6. **Muestreadores automáticos pasivos**, este tipo encuentra principal utilización para toma de muestras integradas en aguas residuales, domésticas, industriales y estaciones de depuración. Suelen constar de un depósito de capacidad variable, pero en general superior a 10 litros para el almacenamiento temporal de la muestra.

Para poder elaborar un estudio de alternativas fiable podemos emplear multitud de métodos. En este caso se emplearán dos de ellos: un criterio único (económico) por un lado y un análisis multicriterio por otro.



4.1. Criterio único, basado en dos suposiciones fundamentales:

- Asume que las personas poseen racionalidad económica, útil cuando las personas tratan de maximizar logros, obtener el máximo de utilidades, producir lo máximo posible, etc.
- Asume que las personas tratan de maximizar logros de forma ordenada y lógica.

En la evaluación de un proyecto de alternativas hay muchos aspectos a evaluar (*Universidad de Buenos Aires, 2009*), como por ejemplo el tiempo que se tarda en recuperar la inversión, el riesgo que tiene el proyecto, el análisis costo-beneficios, etc. En este caso, dado que se trata del análisis de una instalación de la que no se espera la obtención de ingresos, se realizará un sencillo estudio acerca de los costes de instalación y de explotación en un periodo de tres años. Los resultados obtenidos para cada alternativa son los que se reflejan en las siguientes tablas:

Descripción	Detalle	Unidades	Precio unitario (€)
Desembolso inicial	Botella de 20 l	2	15
Formación de operarios	Charla informativa	1	300
Equipamiento de operarios	Mono de trabajo	2	100
Salario de operarios	-	-	3650
Consumo energético	-	-	0
Reparación/mantenimiento	Nuevas botellas de 20 l	3	15

Tabla 4.1.- Costes generales de explotación para botellas y cubos (Elaboración propia)

Descripción	Detalle	Unidades	Precio unitario (€)
Desembolso inicial	Botella de 15 l	2	50
Formación de operarios	Charla informativa	1	500
Equipamiento de operarios	Mono de trabajo	2	100
Salario de operarios	-	-	7300
Consumo energético	-	-	0
Reparación/mantenimiento	Nuevas botellas de 15 l	3	50

Tabla 4.2.- Costes generales de explotación para botellas lastradas (Elaboración propia)



Descripción	Detalle	Unidades	Precio unitario (€)
Desembolso inicial	Botella de 15 l	2	100
Formación de operarios	Charla informativa	1	400
Equipamiento de operarios	Mono de trabajo	2	100
Salario de operarios	-	-	5840
Consumo energético	-	-	250
Reparación/mantenimiento	Nuevas botellas de 15 l	3	300

Tabla 4.3.- Costes generales de explotación para botellas con apertura y cierre automático (Elaboración propia)

Descripción	Detalle	Unidades	Precio unitario (€)
Desembolso inicial	Bomba autoaspirante VILPIN	2	500
Formación de operarios	Charla informativa	1	250
Equipamiento de operarios	Mono de trabajo	2	100
Salario de operarios	No es necesario trabajar in situ	-	0
Consumo energético	-	-	400
Reparación/mantenimiento	Revisión periódica	-	1460

Tabla 4.4.- Costes generales de explotación para sistemas de bombeo (Elaboración propia)

Descripción	Detalle	Unidades	Precio unitario (€)
Desembolso inicial	Sistema integrador en profundidad	1	100
Formación de operarios	Charla informativa	1	400
Equipamiento de operarios	Mono de trabajo	2	100
Salario de operarios	-	-	2920
Consumo energético	-	-	200
Reparación/mantenimiento	Nuevo sistema integrador en profundidad	1	100

Tabla 4.5.- Costes generales de explotación para sistemas integradores en profundidad (Elaboración propia)



Descripción	Detalle	Unidades	Precio unitario (€)
Desembolso inicial	Muestreador automático pasivo	1	800
Formación de operarios	Charla informativa	1	1000
Equipamiento de operarios	Mono de trabajo	2	100
Salario de operarios	No es necesario el trabajo in situ	-	0
Consumo energético	-	-	550
Reparación/mantenimiento	Revisión periódica	-	1460

Tabla 4.6.- Costes generales de explotación para muestreadores automáticos pasivos (Elaboración propia)

Ahora, elaboramos una nueva tabla de costes, considerando los cálculos anteriores, para una duración de la inversión de tres (3) años, suficientes para valorar económicamente la viabilidad de las alternativas.

Alternativa	Coste inicial	Año 1	Año 2	Año 3	Coste total (€)
Botellas y cubos	30	4195	4195	4195	12615
Botellas lastradas	100	8150	8150	8150	24550
Botellas apertura auto	200	6990	6990	6990	21170
Sistema bombeo	1000	2310	2310	2310	6930
Sistemas integradores	100	3820	3820	3820	11560
Muestreadores automáticos	800	3210	3210	3210	10430

Tabla 4.7.- Coste generales de cada alternativa en euros para una inversión de 3 años (Elaboración Propia)

Después de realizar un análisis exclusivamente económico de cada alternativa basándonos en los costes iniciales y de explotación más significativos **llegamos a la conclusión de que el**



sistema de bombeo es la opción más rentable. Sin embargo, aunque válido, este criterio es limitado, ya que existe dificultad para obtener información completa sobre las alternativas disponibles y sus resultados.

4.2. Multicriterio; obliga al decisor a ser más específico y exigente acerca de lo que esperamos lograr con una decisión, a medida que se evalúa cada alternativa. Los objetivos deben cumplirse y deben ser cuantificables (*Universidad Nacional de Colombia, 2014*).

Vamos a elaborar una *Matriz rango de actuación* (Kepper y Tregoe, 1981) donde en una primera etapa realizaremos un análisis de alternativas básico (SI/NO) estableciendo unos criterios para cada alternativa y definiendo, de esta forma, qué es lo mínimo esperado para cada una de ellas. Si se estima que una alternativa cumplirá un resultado obligado se anota un SI en la celda correspondiente de la primera matriz, en caso contrario se anota un NO.

En la segunda etapa, las alternativas aceptadas son valoradas de nuevo asignando una nota del 1 al 5 para cada resultado y se multiplica por un peso específico previamente definido por consenso. Se establece, de esta forma, una jerarquía de alternativas.

ALTERNATIVAS A CONSIDERAR						
	Botella cubos	Botellas lastradas	Botellas apertura	Sistema bombeo	Sistemas Integrad.	Muestre adores
Costo Implantación	SI	SI	NO	SI	SI	NO
Comprensión operarios	SI	SI	NO	SI	SI	NO
Estética	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Comodidad para uso	NO	NO	SI	SI	NO	SI
Cumplimiento de normativa	NO	NO	NO	SI	NO	SI
Seguridad / Fiabilidad	NO	NO	SI	SI	NO	SI
Mantenimiento	NO	SI	NO	SI	SI	SI
Medio ambiente	SI	SI	SI	SI	SI	?
Materiales	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Programación automática	NO	NO	NO	SI	NO	SI

Tabla 4.8.- Matriz rango de actuación (Kepper y Tregoe, 1981)



Establecemos un criterio de filtrado con el objetivo de quedarnos con las opciones más valiosas, acordando que si hay más de cinco (5) “NO” para una alternativa, ésta quedará descartada para la siguiente matriz.

Observamos que para la alternativa 1, cubos y botellas, y 3, botellas con apertura y cierre automático, hay siete (7) y seis (6) “NO” respectivamente, así que se excluyen del proceso de selección.

Ahora, se establecen una serie de Pesos específicos (B) que serán multiplicados por la nota otorgada a las alternativas elegidas previamente. Se obtiene de esta forma una jerarquía de las alternativas aceptadas de acuerdo a las calificaciones resultantes.

Como resultado del proceso de selección de alternativas que se aprobaron en el primer análisis fueron: botellas lastradas, sistema de bombeo, sistema integrador y muestreadores automáticos.

En cuanto a los pesos específicos establecemos los siguientes valores:

Indispensable: 4

Muy importante: 3

Algo relevante: 2

Indiferente: 1

La calificación (C) va incrementándose en importancia del 1 al 5 en lo referido a características de las alternativas, es decir:

Punto fuerte: 5

Punto débil: 1

	Peso (B)	Calificación (C)			
		Bot. Lastr.	Bombeo	Sist. Int.	Muest.
Costo de Implantación	3	2	3	4	2
Compren. operarios	4	3	4	4	3
Estética	1	3	3	2	3
Comodidad para su uso	4	2	4	2	3
Cumplim. de normativa	4	1	5	3	5
Seguridad / Fiabilidad	3	2	5	3	4
Mantenimiento	3	3	3	4	3



Medio ambiente	4	2	5	3	5
Materiales	2	3	3	4	4
Program. automática	2	1	5	2	5
TOTAL B x C		64	124	95	112

Tabla 4.9.- Matriz rango de actuación (Kepper y Tregoe, 1981)

Preferencia de alternativas:

- 1°- Sistema de bombeo.
- 2°- Muestreadores automáticos pasivos.
- 3°- Sistemas integradores en profundidad.
- 4°- Botellas lastradas.

En consecuencia, y observando que también es la alternativa preferente desde el punto de vista económico, conjuntamente con la Unidad de Mantenimiento Mecánico de la CTLA se eligió el **sistema de bombeo** como equipo ideal para tomar muestras del agua residual que se evacúa por el canal de descarga.



Capítulo 5. Alternativa elegida

5.1. Sistema de bombeo

Una vez realizado el estudio de alternativas, la que ha obtenido una mejor valoración y, por lo tanto, la elegida para su instalación es el sistema de bombeo. El siguiente paso es definir y describir los equipos, destacar sus características más importantes, explicar el principio de funcionamiento, etc.

Las bombas han sido instaladas para la toma constante del agua que fluye por el canal de descarga de la CTLA con el fin de controlar la calidad del agua residual tratada previamente con cloro y con posterior adición de antiespumante. Son capaces de impulsar al arrancar el motor desde una profundidad de 5 – 8 metros según ciertos factores.

Las bombas aspiran del canal de descarga de agua de refrigeración, que lleva un caudal de agua salada. El nivel del canal es variable, siendo en la sección donde están situadas las bombas la cota más baja, situación más desfavorable para las bombas con un grupo parado y otro en funcionamiento, aproximadamente 2,53 metros con respecto al nivel del suelo y 3 metros hasta la aspiración de las bombas. La velocidad máxima del agua en esta sección es aproximadamente de 2 m/s.

Además, para evitar futuros problemas de aspiración del agua, después de diversos estudios y aprovechando el principio del *tubo de Pitot*, que explicaremos en el apartado 5.2 en profundidad, **ingeniamos una mejora en el sistema de tomamuestras implantando un tubo de aspiración justo al final del canal que aprovecha la fuerza del agua para hacerla pasar por las nuevas bombas**. Este agua es impulsada a unos medidores de cloro, pH, conductividad y temperatura determinándose una serie de valores periódicos que se envían a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía con el fin de ser debidamente controlados y registrados.



Figura 5.1 – Vista general del tomamuestras instalado y las nuevas bombas de impulsión
(Elaboración propia)

En el apartado 3.1 hemos explicado la problemática existente con las bombas y los tubos de aspiración por lo que se **lleva a cabo la instalación de dos (2) nuevas bombas de mayor calidad**. El número de bombas a colocar es de dos (2) ya que sólo se requerirá una (1) para el buen funcionamiento del sistema y la otra quedará como apoyo por si se produjesen averías o por si es necesario elevar mayor cantidad de agua en un momento determinado.

El sistema no debe fallar ya que la normativa es muy exigente en este aspecto y las consecuencias pueden ser graves; desde un vertido contaminante al mar Mediterráneo hasta sanciones ejemplares por parte de la Junta de Andalucía.

Las bombas estarán colocadas en paralelo estando sólo activa una de ellas, como decimos. La elección de la bomba será función de un estado óptimo de ésta.

La bomba en funcionamiento (A ó B) rotará en su uso cada tres semanas aproximadamente aprovechándose esta circunstancia para llevar a cabo tareas de mantenimiento preventivo.



Figura 5.2.- Disposición de las nuevas bombas (*Elaboración Propia*)

5.1.1. Características de las bombas

Tras realizar un estudio comparativo de los modelos y tipos de bomba a instalar llegamos a la conclusión de que la que más se ajusta a las necesidades del trabajo en cuanto a caudal, presión, economía, etc. es la bomba Vilpin en su modelo Marina Inox. A continuación, añadimos las características de dichas bombas (*Mecanizados Vulcania S.L, 2010.*):

Generales:

- Diseñada para trabajar en ambientes marinos.
- Trasvasa toda clase de líquidos.
- Tipo auto aspirante, es decir, la válvula de pie está incorporada en su interior.
- Para su cebado basta con llenar la bomba con el líquido a bombear.

Técnicas:

- Rosca boca entrada: exterior: 2" GAS - interior 1 ½ " GAS
- Rosca boca salida :exterior: 2" GAS - interior 1 ½ " GAS

Bomba	Modelo	Número referencia	Año fabricación	Q (l/h)	Presión (m.c.a.)	n (r.p.m.)
Vilpin	Marina Inox	9975	2012	30.000	28	3.000

Tabla 5.1 – Características de las bombas (*Mecanizados Vulcania, 2010*)



Materiales: La bomba viene fabricada con materiales adecuados y resistentes al servicio que se le solicita:

- Cuerpo anterior y posterior en acero inoxidable 316.
- Brida de cierre en acero inoxidable.
- Turbina en poliéster.
- Cuerpo interno (difusor) en poliéster.
- Juntas en buna.
- Sello mecánico (estándar) en buna-acero inoxidable 316.
- Tornillería en acero inoxidable.

5.1.2. Las **causas de avería para estas bombas** pueden ser muy diversas:

- Aporte de agua residual procedente de la desaladora, ubicada junto a la central.
- Posibles variaciones de caudal.
- Mala regulación en la impulsión.
- Falta de uso.
- Falta de agua; se produce cuando la válvula de cebado falla o el filtro de aspiración está tupidado.
- Rotura de motor; debido a la inactividad de la bomba y/o a no limpiar con frecuencia el cierre mecánico. La salinidad hace efecto en el cierre y éste queda fugando. El agua queda estanca y se forman pegotes de sal que rallan las caras del cierre pasando el agua hasta el motor derivándolo.
- La válvula de impulsión queda cerrada quemándose el motor al no tener circulación de fluido.
- Las protecciones no disparan en el momento adecuado.
- Inexistencia de un programa de mantenimiento continuo de los equipos.

En este caso, la bomba Vilpin-Marina Inox no necesita demasiado mantenimiento, sólo en el caso de paradas prolongadas es importante vaciar el líquido del interior por el tapón de vaciado. Al trabajar habitualmente las motobombas Marina con líquidos corrosivos, limpiar la bombas por dentro y fuera con agua dulce, después de cada uso, es un detalle que motor, bomba y accesorios agradecerán (*Mecanizados Vulcania S.L., 2010*).

5.1.3. En cuanto a la **puesta en marcha** de las bombas en primer lugar es necesario asegurarse de que la bomba está conectada a la red eléctrica; tras esto, hay que cebar la bomba por la boca de cebado con el fluido que se desea trasvasar.

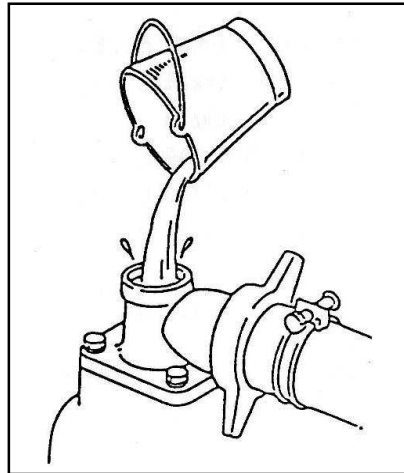


Figura 5.3.- El cebado de la bomba consiste en llenar la bomba con el mismo líquido que se desea bombear (*Mecanizados Vulcania S.L, 2010*)

Una vez hecho esto, es necesario abrir las válvulas de entrada y salida de la bomba. Por último, realizamos la puesta en servicio pulsando el botón de marcha.

Mediante las siguientes imágenes explicamos gráficamente la conexión de la manguera amarilla procedente de la esquina del almacén de gases para el desplazamiento de las bombas y el cebado de las mismas en caso de ser necesario el arranque. La manguera de entrada debe mantener siempre una inclinación constante de la bomba hasta el nivel del agua. Además, es necesario emplear racores en plásticos o acero inoxidable ya que el fluido a bombear es agua salada. También es muy importante fijar las mangueras correctamente y asegurarse de que la estanqueidad sea total o de lo contrario provocaría fallos de cebado.

Debemos colocar un filtro en la manguera de aspiración a fin de evitar la entrada de sólidos de excesivo tamaño que podrían estropear las partes internas de la bomba.

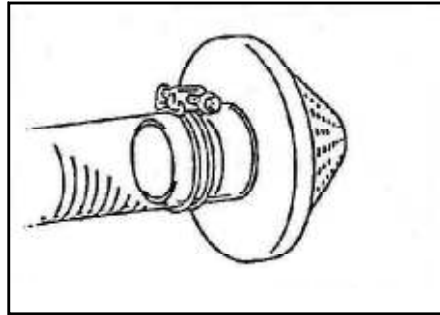


Figura 5.4. Filtro a colocar en la manguera (*Mecanizados Vulcania S.L, 2010*)



Figura 5.5.- Toma de agua (*Elab. Propia*)



Figura 5.6.- Colocación de la manguera (*Elab. Propia*)



Figura 5.7.- Detalle de conexión de manguera-tubería (Elaboración Propia)

5.1.4. Para realizar una **parada de la bomba** el primer paso es realizar un aviso a la Unidad de mantenimiento mecánico. Después, procederemos a la parada de la bomba. Tras esto se cerrarán la válvula y la electroválvula de impulsión.

Con la válvula de aspiración abierta se procederá a la limpieza de la bomba y el filtro mediante el sistema de cebado para eliminar todos aquellos agentes que puedan dañar a la misma, ya que el fluido a impulsar contiene sal y otros elementos corrosivos u obturadores.

Por último se cerrarán las válvulas de aspiración.

Una vez estudiada la problemática de la elección de la bomba, su dimensionado, etc. nos damos cuenta de que la elección e instalación de las bombas es sencilla y se realiza de forma estandarizada. Lo verdaderamente importante y complejo es el buen diseño de un sistema que se encargue de recoger muestras de agua residual de forma constante y teniendo en cuenta diversos aspectos:

- Profundidad variable del canal: en el Anexo 7 podemos apreciar las distintas profundidades del canal y la profundidad que existe en el punto exacto donde instalamos el tomamuestras. Es de mucho interés conocer esta distancia ya que la boca de aspiración del tomamuestras deberá quedar a cierta distancia del suelo del canal.

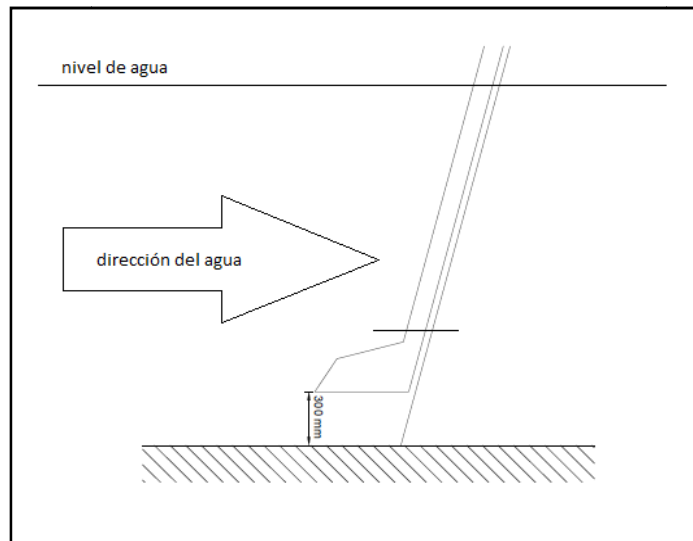


Figura 5.8.- Vista de perfil del tomamuestras (*Elaboración Propia*)

- El sentido de la corriente del agua y la velocidad en su circulación son suficientes para que se produzca la recogida de muestras de agua.

Teniendo en cuenta estas circunstancias singulares, ingeniamos un sistema innovador y eficaz para recoger muestras de agua residual de la forma más cómoda, económica y limpia posible.

5.2. Tomamuestras

La aspiración del agua se realiza por un conducto situado al final del canal de tal forma que se aprovecha la inercia del agua.



Figura 5.9.- Toma del agua residual al final del canal de descarga (Elaboración Propia)

El tomamuestras instalado aprovecha el principio del *tubo de Pitot*, utilizado originalmente para medir la velocidad del viento en aparatos aéreos y cuantificar las velocidades de aire y gases en aplicaciones industriales. Fue inventado por el ingeniero hidráulico Henri Pitot en 1732 y modificado por Henry Darcy en 1858 (Giles, 1995).

Antes de explicar el principio práctico es necesario aclarar algunas definiciones:

- Presión estática, P_e : es la presión en el sentido común del concepto, la presión atmosférica.
- Presión dinámica, P_d : es, por ejemplo, la presión del viento sobre tu mano situada perpendicular a la velocidad; esto es debido a que el aire en movimiento « contiene » energía cinética y toda parada por un obstáculo aumenta la presión de las partículas del aire que son detenidas o simplemente ralentizadas.

Un rápido desarrollo de la ecuación muestra que la presión dinámica, P_d , resulta directamente de la variación de la energía cinética: $P_d = \rho V^2 / 2$

La suma de la presión estática + presión dinámica se denomina presión total que, además, es constante.

$$P_e + P_d = P_t = \text{constante} \quad (1)$$

El tubo de Pitot, a diferencia del efecto venturi, capta las partículas haciendo el término de P_d cero, ya que, como se aprecia en la Figura 5.10, en el punto 1 (la embocadura del tubo) se forma un punto de estancamiento donde la velocidad es nula y la presión, según la ecuación de Bernoulli (White, 2010), aumenta hasta:

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_t}{\rho} = \frac{P_0}{\rho} + \frac{v_0^2}{2} : P_t = P_0 + \rho \cdot \frac{v_0^2}{2} \quad (2)$$

Siendo:

- P_0 y V_0 la presión y velocidad de la corriente imperturbada.
- P_t la presión total o de estancamiento.
- ρ la densidad del fluido circulante, en este caso agua.

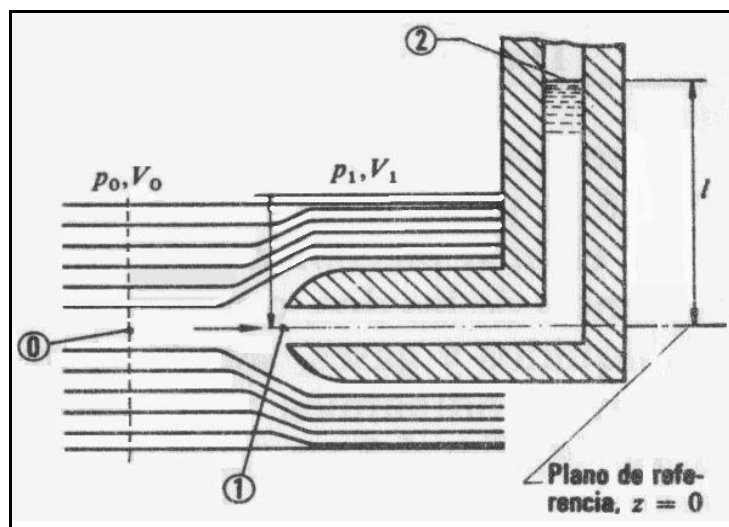


Figura 5.10. - Funcionamiento del tubo de Pitot (Giles, 1995)

La P_t queda constante alrededor del tubo de Pitot quedando la ecuación de Bernoulli de la siguiente forma: $P_e + 0 = P_t$; es decir, el tubo de Pitot « ve » una presión estática local igual a la presión total del flujo.

Aplicando la ecuación (2) en las secciones 1 y 2, considerando que $V_1=V_2=0$, tenemos:

$$y_1 + \frac{P_1}{\rho g} = y_2 + \frac{P_2}{\rho g} \quad (3)$$

Siendo:

- $y_2 - y_1 = L$, la lectura en el tubo piezométrico.

Entonces obtenemos la denominada **expresión de Pitot**.

$$P_t = \rho \cdot g \cdot L \quad (4)$$

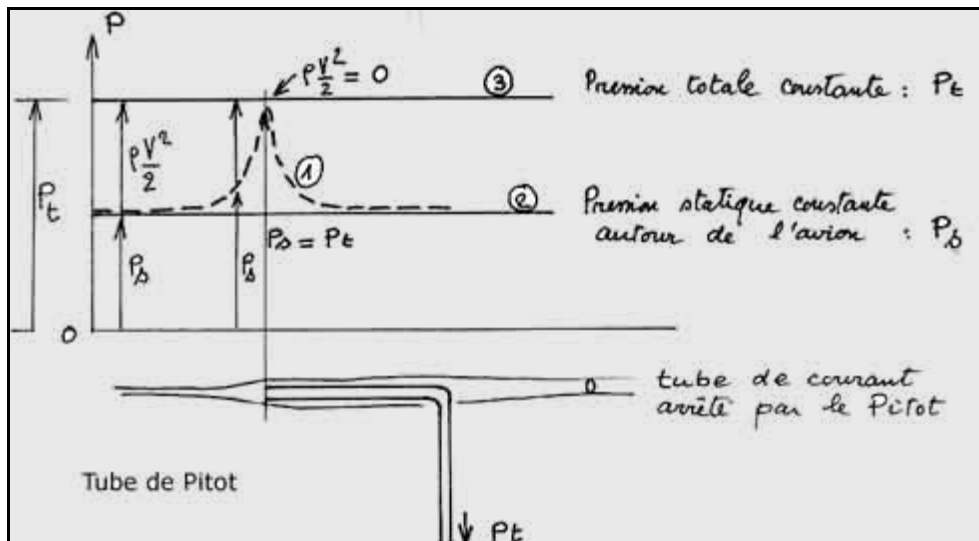


Figura 5.11- Diagrama de presiones en torno al tubo de Pitot (Barry, 2013)

De la Figura 5.11 podemos destacar las siguientes conclusiones:

- La presión total, P_t , en 3 es constante.
- La presión estática, P_e , en el tubo de flujo (tube de courant), aumenta gradualmente a medida que la velocidad, V , y la presión dinámica, $P_d = \rho V^2 / 2$, disminuye.
- La velocidad es nula justo en el punto previo a la entrada en el tubo de Pitot. En este punto, la presión total, P_t , es igual a la presión estática, P_e .

El fundamento hidráulico del tubo de Pitot aplicado a nuestro caso quizás puede apreciarse de forma más clara por el lector mediante la Figura 5.12.

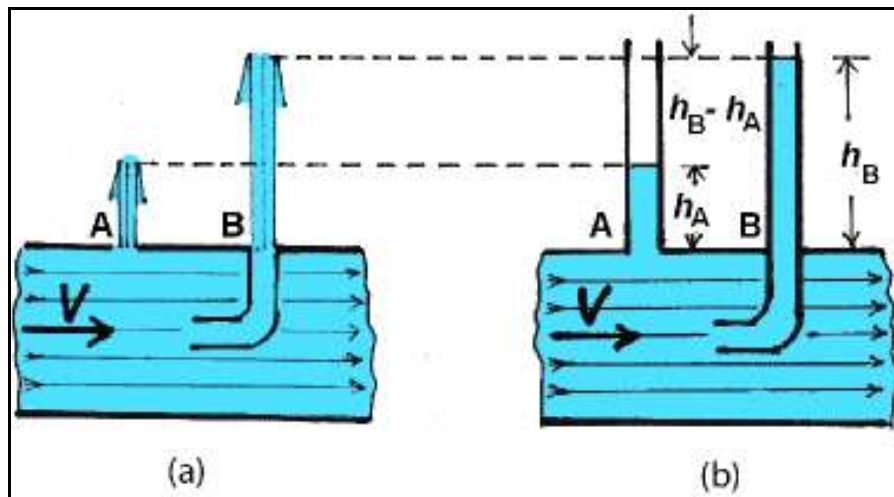


Figura 5.12.- Líquido en movimiento (Piro, 2012)

El agua en el conducto se mueve de izquierda a derecha con una velocidad, V . La altura en el conducto A, que indica la presión estática (h_A), es superada por la altura en el conducto B donde el impulso del agua en movimiento, entrando en el tubo curvado contra la corriente, agrega una contribución dinámica a la presión de salida del agua.

A continuación, vamos a **calcular el caudal de agua medio que circula por el tubo de pitot** pero antes de llevar a cabo cualquier cálculo es necesario enunciar y comentar brevemente algunos principios y definiciones básicas de hidráulica (Mulley, 2004).

La *ecuación de la conservación de la energía* (teorema de Bernoulli) en el caso de movimiento de agua en régimen permanente con un fluido ideal o perfecto (viscosidad nula), y considerando al fluido incompresible, establece que:

La energía mecánica total por unidad de peso se conserva a lo largo de un filamento de corriente.

$$H = \frac{P}{\rho} + z + \frac{u^2}{2g} = cte \quad (5)$$

La energía mecánica total del agua consta de 3 sumandos:

$\frac{P}{\rho}$: altura o energía de presión.

z : altura de posición o cota.

$\frac{u^2}{2g}$: altura o energía cinética.

$h = \frac{P}{\rho} + z$: altura piezométrica.

H : energía específica o energía por unidad de peso; equivale a carga o altura refiriéndose a carga como energía mecánica disponible en m.c.a.

H representa la altura que resulta de tomar sobre la posición de la partícula, cota z , una longitud equivalente a la altura de presión, $\frac{P}{\rho}$, y añadir otra longitud equivalente a la altura de velocidad $\frac{u^2}{2g}$.

No obstante, esto no se cumple en la realidad ya que cuando tratamos el fluido real, la carga total no permanece constante debido a la viscosidad que produce un rozamiento tanto del fluido con el contorno como de las partículas del fluido entre sí. Esto se traduce en un intercambio de energía con los demás filamentos que se disipa en forma de energía de calor. La energía de corriente descende debido a las pérdidas de carga en el sentido de la corriente.

Por tanto, la **ecuación de la conservación de la energía** real a lo largo de un filamento de corriente puede expresarse de la siguiente forma:

$H + h_f = cte$, siendo h_f la pérdida por rozamiento, término que obviaremos en los siguientes cálculos para mayor comodidad y simplicidad.

En nuestro caso, conocemos la geometría de la tubería: una longitud, L , de 4 metros y un diámetro exterior, D , de 160 milímetros. La diferencia de cotas entre el nivel de agua del tubo piezométrico y el tubo de pitot es de 500 milímetros. Desconocemos el parámetro “ a ” por su imposibilidad de medirlo directamente es en el canal.

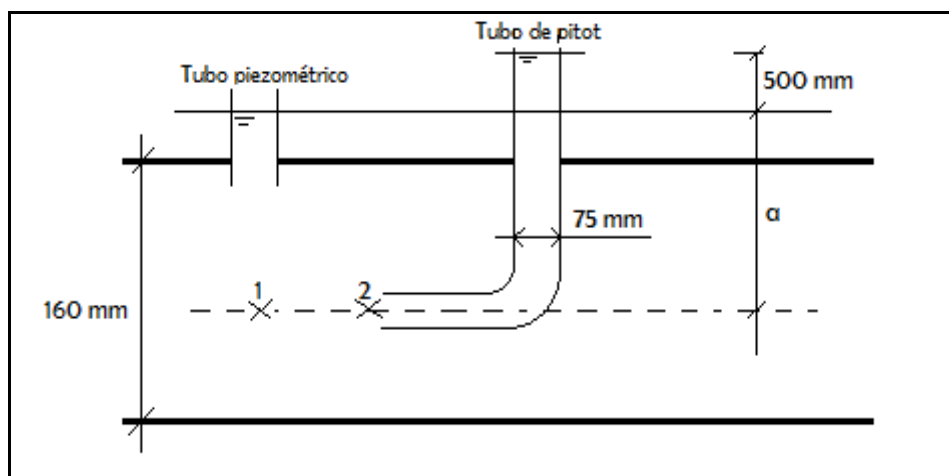


Figura 5.13.- Croquis con las dimensiones y situación del sistema (Elaboración propia)



Sabemos que el punto 2 es el punto de remanso o punto de estancamiento donde la velocidad del líquido, V_2 , es 0.

Aplicando los conceptos teóricos anteriormente explicados a nuestro caso práctico obtenemos las siguientes expresiones.

Tubo piezométrico (1), donde el nivel de agua se eleva hasta una altura equivalente a la presión del fluido en el punto.

$$h_1 = \frac{P}{\rho_1} + z_1 = a$$

Tubo de pitot (2):

$$H_2 = \frac{P}{\rho_2} + z_2 + \frac{u^2}{2g} 2 = h_1 + \frac{u^2}{2g} 2 = a + 0,5 \text{ (m)}$$

Ahora, aplicamos la *ecuación de Bernoulli* en los puntos 1 y 2;

$$\begin{aligned} H_1 &= H_2 \\ \frac{P}{\rho_1} + z_1 + \frac{u^2}{2g} 1 &= \frac{P}{\rho_2} + z_2 + \frac{u^2}{2g} 2 \\ a + \frac{u^2}{2g} 1 &= a + 0,5 \end{aligned}$$

De donde despejamos la velocidad en el punto 1;

$$u_1 = 3,13 \text{ metros/segundo}$$

Por último, para calcular el caudal (Q) que circula por el tubo, aplicamos la ecuación de la continuidad;

$$Q = u_1 \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,062 \text{ metros cúbicos/segundo}$$

5.3. Instalaciones complementarias

Tras haber superado el primer tramo descrito anteriormente, el agua será impulsada por la bomba A ó B, según se quiera hacer pasar por una u otra, mediante el sistema de válvulas que se muestra a continuación.



Figura 5.14.- Sistema de válvulas (*Elaboración Propia*)

El agua procedente del canal transporta partículas que pueden obstruir los filtros de aspiración de las bombas con el paso del tiempo, por ello se ha instalado un sencillo sistema de filtrado.



Figura 5.15.- Filtro tipo malla (*Elaboración Propia*)

Una vez se impulsa el agua se hace pasar por un caudalímetro colocado en paralelo a la tubería de impulsión de las bombas como vemos en la Figura 5.15. También se ha instalado un filtro previo al caudalímetro.

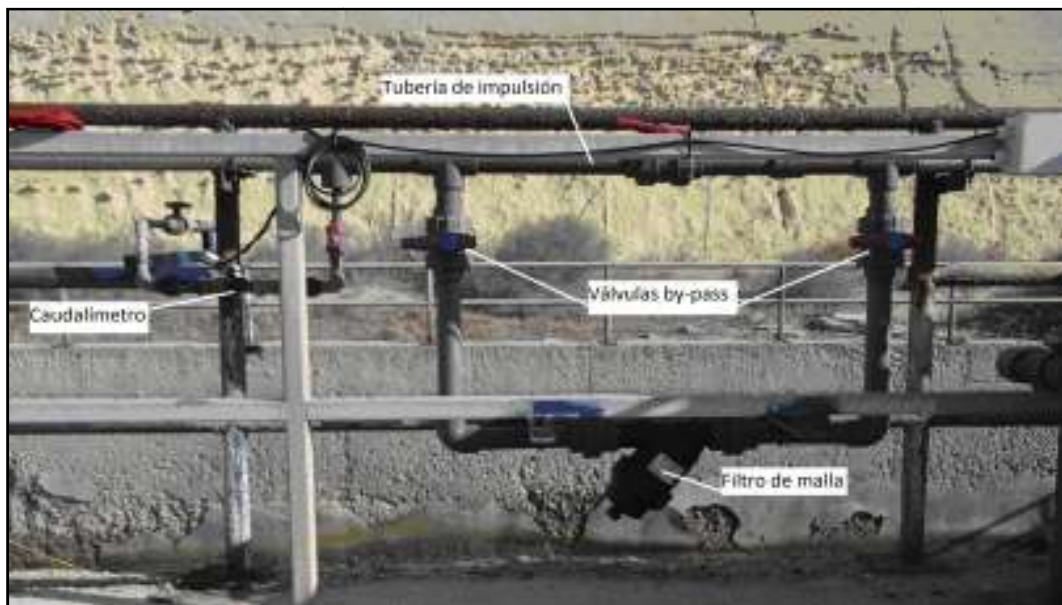


Figura 5.16.- Disposición del caudalímetro y by-pass (*Elaboración propia*)



Se requiere **limpiar el caudalímetro** periódicamente. A continuación, describimos brevemente el proceso a seguir:

- 1) Aislar el circuito.
- 2) Quitar tensión al caudalímetro.
- 3) Desmontaje.
- 4) Limpieza.
- 5) Comprobación de su correcto funcionamiento.
- 6) Montaje.
- 7) Dar tensión.
- 8) Abrir circuito.

También debemos **limpiar el filtro de malla**; cuando la presión diferencial de la bomba sea lo suficientemente alta se procederá a la revisión y limpieza del filtro. Primero se abre la válvula de vaciado y cuando el filtro quede totalmente vacío de agua se abrirá desenroscando la parte inferior, tras esto se saca la malla y se limpia o se sustituye atendiendo al estado del mismo. Una vez hecho esto, se introduce la malla en el interior del filtro, se rosca la parte inferior y se cierra la válvula de vaciado.

En cuanto a los **equipos analizadores on-line** existentes en la CTLA y que permiten medir parámetros físicos y químicos en muestras acuosas del canal de descarga existen cuatro (4):

- Un conductímetro; es un aparato que representa la mayor o menor facilidad con la que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección de flujo. Unos valores estándar de conductividad en el agua se sitúan en un rango de 40 a 60 miligramos/centímetro.



Figura 5.17.- Conductímetro (Elaboración propia)

- Un pH-metro; es un sensor empleado para medir el pH de una disolución. El agua que circula por el canal debe rondar un pH no superior a 8,5 - 9.



Figura 5.18.- pH-metro (Elaboración propia)

- Un medidor de la temperatura existente en el punto del canal estudiado en °C.



Figura 5.19.- Medidor de temperatura (*Elaboración propia*)

- Un clorímetro; es el medidor del cloro residual. Nos centraremos en el INSTRAN; el sistema de análisis on-line, instalado en la CTLA, de elevada precisión que permite la exactitud en la operación con mínimo consumo y reducido impacto ambiental.

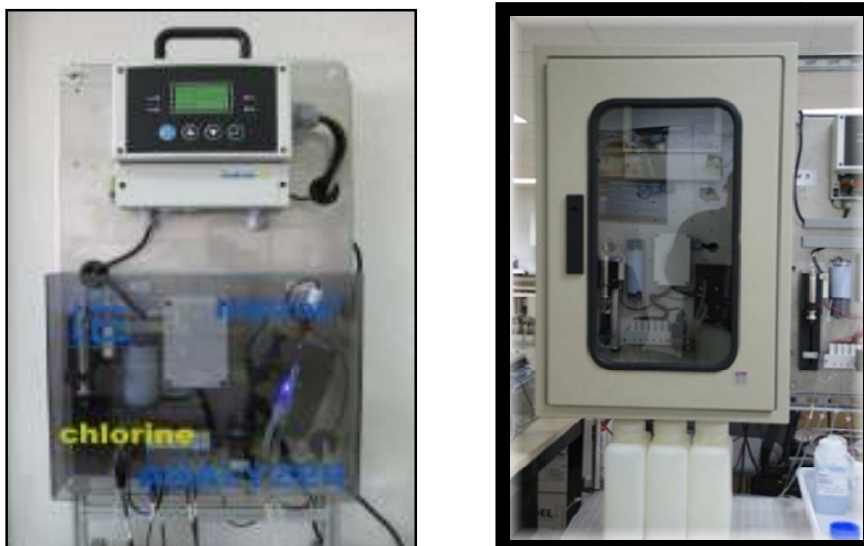


Figura 5.20.- Visión general del medidor INSTRAN de cloro residual de la CTLA
(*Instrumentación Analítica S.A., 2014*)

Este equipo está especialmente indicado para nuestro objeto de estudio:

- Aguas marinas de refrigeración.
- Aguas residuales.



- Cloro elemental e hipoclorito.

El principio de medida es potenciométrico con un electrodo selectivo basado en iodometría en medio ácido que proporciona gran sensibilidad y especificidad a la medida. La jeringa carga agua desmineralizada para evitar posibles contaminaciones con la muestra. Esta jeringa carga la muestra con cloro residual a través de una válvula de entrada y descarga en la cámara de medida.



Figura 5.21.- Módulo de jeringas (Instrumentación Analítica S.A., 2014)

La segunda muestra añade además los reactivos correspondientes y descarga sobre la cámara de medida donde se encuentra con el electrodo y la sonda de compensación automática de temperatura. Un agitador asegura la mezcla y que se produzca la reacción. Una vez medida, la muestra fluye a través de las electroválvulas hacia el drenaje atmosférico.

El electrodo de cloro responde logarítmicamente a los cambios de concentración del Ion. La *ecuación de Nerst* describe esta respuesta:

$$E = E_0 + 2,3 RT/nF \lg(C/C_{iso})$$

donde:

E = Potencial generado por el electrodo en milivoltios.

E_0 = Potencial cuando $C=C_{iso}$

R = Constante de los gases ideales

T = Temperatura °K

N = Valencia de la especie iónica

F = Constante de Faraday.



C = Concentración efectiva de las especies iónicas (actividad).

C_{iso} = Concentración (actividad) del ión calcio en la que el potencial es independiente de la temperatura.

La cámara de medida tiene un volumen aproximado de 12 ml, con lo cual utiliza poca muestra y por ello muy poco gasto de reactivos y una respuesta rápida.



Figura 5.22.- Cámara de medida (Instrumentación Analítica S.A., 2014)

Este medidor realiza los análisis en continuo enviando cada 15 minutos los valores de cloro a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía siguiendo el siguiente **procedimiento**:

1. Comprobar que el aparato está bien instalado, conectado a tierra y con la alimentación al voltaje adecuado.
2. Abrir la llave de entrada de caudal y dejar fluir por lo menos durante una hora.
3. Encender el equipo.
4. Realizar un análisis previo a la jeringa.
5. Cargar todos los circuitos de reactivos, agua desmineralizada, muestra y estándar de calibración.
6. Calibración del sistema.
7. Análisis continuo con una frecuencia de 15 minutos con hora y fecha de final de medida indefinidos.

En la Figura 5.19 tenemos la caja de mando frontal donde se muestra toda la información que puede proporcionar el medidor al análisis de cloro:

- a. Línea 1: último análisis.



- b. Línea 2: fecha y hora del último análisis.
- c. Línea 3-4: muestra de la cantidad, unidad y clase de elemento encontrado en el análisis.
- d. Línea 5: “_____”
- e. Línea 6: estado del proceso en el que se encuentra el equipo.
- f. Línea 7: posible error del equipo.
- g. Línea 8: estado de alarma del equipo.



Figura 5.23.- Display del medidor con información de un análisis de ejemplo (*Instrumentación analítica S.A., 2014*)

Otras opciones relevantes que se pueden llevar a cabo con el medidor INSTRAN pueden ser:

- Programación de limpieza con reactivo: hacer circular un reactivo por el circuito para eliminar los posibles residuos de análisis anteriores.
- Cebado del sistema: eliminar el posible aire residual del circuito llenando todos los elementos de éste del líquido pertinente.
- Calibración del lector de ISE (electrodo de ion selectivo).
- Parámetros STD: establecimiento de valores límite de cloro.



6. Resultados y discusión

El primer resultado que se obtiene de la investigación realizada es el derivado de la propia revisión bibliográfica realizada. De este estudio se deduce que son varias las formas que existen para tomar una muestra de agua de un canal con objeto de efectuar diversos análisis o mediciones (en este caso de cloro) sobre ella.

Se ha determinado que existen hasta seis formas para obtener la muestra:

- **Botellas y cubos**, de uso manual, sirven para tomar muestras de aguas superficiales y de pozos que no dispongan de sistemas de bombeo.
- **Botellas lastradas**, se usan para obtener muestras de agua a profundidad variable.
- **Botellas con apertura y cierre automático**, pueden ser tan complicados como se desee. En síntesis consisten en un tubo cilíndrico de 1 a 5 litros de capacidad, abierto por sus dos extremos y que mediante un sistema mecánico o eléctrico cierra sus dos bases cuando se alcanza el agua de profundidad deseada.
- **Sistemas de bombeo**, utilizados ampliamente, permiten tomar muestras puntuales, continuas y a intervalos temporales variados, de acuerdo al programa de muestreo establecido por un sistema de programación automático o bien mediante accionamiento manual.
- **Sistemas integradores en profundidad**, se trata de aparatos automáticos que se introducen en el fondo del río o embalse y se van llenando paulatinamente y a una velocidad definida a medida que se van izando hacia la superficie.
- **Muestreadores automáticos pasivos**, este tipo encuentra principal utilización para toma de muestras integradas en aguas residuales, domésticas, industriales y estaciones de depuración. Suelen constar de un depósito de capacidad variable, pero en general superior a 10 litros para el almacenamiento temporal de la muestra.

El principal objetivo de este estudio era el de determinar cuál es la forma más adecuada para hacer la captación de agua en el caso concreto del canal de descarga de una central térmica. Para ello se ha diseñado un proceso de toma de decisión que se ha estimado más conveniente realizar en dos etapas.

En la primera de ellas se realizaría un análisis preliminar tomando como único criterio el económico. Como no se trata de una inversión propiamente dicha (no habrá retornos



económicos directos), solamente se ha tenido en cuenta el importe de la inversión de la implantación de la instalación y sus costes de explotación durante los tres primeros años de funcionamiento. Como resultado de esta primera fase se obtuvo que la alternativa más ventajosa desde el punto de vista económico es la del bombeo, aunque ninguna de ellas manifestó un coste excesivo y por lo tanto no se trata de un criterio determinante.

En la segunda etapa se ha realizado un análisis multicriterio a través de la Matriz de Rango de Actuación (Kepper y Tregoe, 1981). Este método de análisis se fundamenta en la realización de un cribado previo por el que se descartan las alternativas peor valoradas a través de un criterio binario SI/NO, basado en el cumplimiento o incumplimiento de unos estándares mínimos. Las alternativas que superan esta primera fase se valorarán con una matriz típica donde a cada criterio de valoración se le asigna un peso y un valor para cada alternativa.

La alternativa mejor valorada en este segundo análisis vuelve a ser la del bombeo, seguida por los muestreadores automáticos pasivos, los sistemas integradores en profundidad y las botellas lastradas.

El estudio fue concebido durante un periodo de prácticas en la Central Térmica Litoral de Almería, donde el sistema de toma de muestras existente, otro grupo de bombeo, había mostrado grandes problemas de funcionamiento. Por ello, tras el análisis de alternativas, se propone al Servicio de Mantenimiento de la central la implantación de otra instalación de bombeo, pero eliminando los problemas de la instalación preexistente.

El grupo de bombeo instalado es de tipo convencional, formado por dos bombas marca Vilpin modelo Inox con funcionamiento alternativo. El resultado tras su implantación es el que se recoge en la siguiente figura:



Figura 6.1.- Sistema de bombeo elegido (Elaboración propia)

Una vez estudiada la problemática en la elección de la bomba, su dimensionado, etc. nos damos cuenta de que la elección e instalación de las bombas es sencilla y se realiza de forma estandarizada. Lo verdaderamente importante y complejo es el buen diseño de un sistema que se encargue de recoger muestras de agua residual de forma continua.

Dada la velocidad del agua en el canal, se ha optado por el cambio de ubicación del punto histórico de toma, situado en el lateral del canal, por otro nuevo que se ha emplazado en el tajamar de un paso existente sobre éste. El resultado de la instalación es el siguiente:



Figura 6.2.- Sistema de tomamuestras (Elaboración propia)

El tomamuestras instalado aprovecha el principio del tubo de Pitot para aspirar el agua que llega al canal. El agua en movimiento entra en el tubo curvado contra la corriente agregándose una contribución dinámica a la presión de salida del agua que favorece el cebado del tubo de aspiración.

Cabe indicar que el sistema diseñado fue implantado en el período de prácticas del alumno y sigue funcionando a plena satisfacción habiéndose superado los problemas que desde la puesta en marcha de la central había dado esta instalación en concreto.



Capítulo 7. Conclusiones

La realización de este estudio ha permitido plasmar en la realidad el resultado de un trabajo de investigación teórico. El estudio se ha realizado partiendo del rigor científico exigido por la compañía Endesa S.A como primera compañía eléctrica española, asentada en un continuo desarrollo de investigación e innovación.

Por ello, la superación de cualquier problema de orden práctico como el que se había presentado en la toma de muestras de agua para medición de cloro residual en el canal de descarga del agua de refrigeración, ha de ser resuelto partiendo del estado del conocimiento en la materia. Es por ello que cualquier proyecto, por pequeño que sea, es desarrollado por un equipo multidisciplinar formado por diferentes profesionales bajo la dirección de un responsable.

Como se ha desarrollado a lo largo del trabajo, planteado el problema de estabilidad en el sistema de bombeo existente, se ha realizado un análisis bibliográfico completo que ha permitido poner de relieve todas las alternativas existentes. Una vez puesto de manifiesto que la alternativa más adecuada vuelve a ser la ejecución de un bombeo, los esfuerzos se han centrado en el análisis de los problemas que habían provocado los problemas en la instalación antigua (bombas de escasa calidad, problemas de arranque-parada, filtros y el arranque de los tubos de aspiración por la fuerza del agua del canal).

Cada uno de los problemas anteriores se ha ido solucionando mediante la aplicación práctica de los conceptos teóricos intervinientes, fundamentalmente con el cambio de ubicación de la zona de toma y la mejora que supone la implantación de un tubo de Pitot para mejorar la recepción del fluido. Con ello se ha conseguido la implementación de una instalación segura, fiable y que, dado el estudio realizado, puede afirmarse que es la más conveniente a la vez que la más económica.

Finalmente, como el trabajo no termina en el momento de la implantación de la instalación, sino al final de su vida útil, se ha elaborado la documentación necesaria para su correcto mantenimiento, asegurando de esta forma su durabilidad durante los plazos previstos. De esta forma queda cerrado el ciclo de vida del producto, iniciado en el momento en que se empezó a investigar la solución al problema y que finalizará cuando se realice el reciclaje de los diferentes elementos una vez hayan finalizado su cometido dentro de muchos años.



Capítulo 8. Referencias

Referencias bibliográficas

- AKAYLEH; AL SOUD; ABDALLAH; ADDALLAH. 2009. Water Pumping System with PLC and Frequency Control. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. Volumen 3 (3): 216 - 221.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE. 2008. Acreditación Ambiental Integrada de la Central Térmica de Carboneras.
- DIRECCIÓN CORPORATIVA DE COMUNICACIÓN DE ENDESA GENERACIÓN S.A. 2000. Centrales Térmicas en España. Publicado en Madrid, España. 125 páginas.
- IBERDROLA GENERACIÓN S.A. 2003. Curso preliminar de centrales térmicas: condensador y vacío. Madrid. 36 páginas.
- INSTRUMENTACIÓN ANALÍTICA S.A. 2014. Manual de instrucciones del analizador INSTRAN on-line de cloro. Madrid. 40 páginas.
- KELVIN T. ERICKSON, JOHN L. HEDRICK. 1999. Plantwide Process Control. Hardcover. 560 páginas.
- KEMMER, FRANK; McCALLION, JOHN. 1989. Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. México. McGraw-Hill. Tomo II; 156 páginas.
- LASHERAS. 2012. Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU. Ingeniería de los Materiales. Leganés, Madrid. Universidad Carlos III de Madrid. Páginas: 38 – 50.
- LEVER J. H. & WEAVER D. S. 1986. On the stability of heat exchanger tube bundles, part I: Modified theoretical model. Journal of fluids and structures. Volumen 2: 375-392.



- LIU, Y.A. 1979. Industrial applications of magnetic separation. Conference on industrial application of magnetic separation. 30 Jul 1979. Rindge, NH, Estados Unidos.
- MECANIZADOS VULCANIA S.L. 2010. Manual de instrucciones de las motobombas para trasvase de líquidos Modelo MARINA INOX. Versión 05-10.
- MÜLLER-STEINHAGEN H. 2000. Heat exchanger fouling; mitigation and cleaning technologies. Essen, Alemania. PUBLICO Publications. 381 páginas.
- RENALD V. GILES. 1995. Mecánica de los fluidos e hidráulica. Tercera edición. McGraw-Hill Interamericana. 281 páginas.
- SÁNCHEZ LÓPEZ. 1976. Factores biológicos de los mitilidos determinantes de una correcta cloración en los circuitos de refrigeración de centrales térmicas y nucleares. Revista de Obras Públicas: 31-38.
- WHITE, FRANK. 2010. Fluid Mechanics with Student DVD. Sexta edición. McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering.



Referencias web

- AGACE. 2004. Muestreo de aguas. Acreditación y Gestión Ambiental en América Central. Disponible en http://www.cegesti.org/agace/presentaciones/08_manual_aguas_muestreo_de_aguas.pdf. Consultada el 1 de diciembre de 2013.
- AGBAR MEDIO AMBIENTE. 2011. Prevención de la contaminación y control de vertidos. Disponible en http://www.cma.gva.es/comunes_asp/documentos/agenda/Cas/70922-presentacion%20LABAQUA%20CTL%20enero2011.pdf. Consultada el 21 de diciembre de 2013.
- ARANCIBIA S. 2011. Evaluación multicriterio, aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva. Disponible en <http://www.dii.uchile.cl/~ceges/publicaciones/ceges48.pdf>. Consultada el 7 de enero de 2014.
- Asociación Española de Industria Eléctrica, UNESA. Centrales Térmicas Convencionales. Disponible en <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas>. Consultada el 29 Noviembre 2013.
- BARRY, MICHAEL. 2004. La chronique de Michel Barry: Tube de Pitot ou Venturi? Disponible en http://www.air-souris-set.fr/Michel_Barry/chronique_2.html. Consultado el 20 de enero de 2014.
- CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS. 2013. Aforo de sólidos, equipos utilizados. Disponible en http://hercules.cedex.es/LabH/Aforos_s%C3%B3lidos.htm. Consultada el 7 de enero de 2014.
- CRINA M. 2008. Chimenea industrial. Disponible en <http://es.dreamstime.com/fotografia-de-archivo-chimenea-industrial-del-extractor-del-humo-image13545552>. Consultada el 10 de Diciembre de 2013.



- COMPONENTES INDUSTRIALES. 2008. Disponible en http://componentes.com.gt/Sistema_Taprogge-show_new_sub_cat-24-2. Consultada el 16 de Diciembre de 2013.
- CUMBERLAND. 2014. La necesidad de desinfección en aguas. Disponible en <http://www.cumberlandec.com/spanish/products.asp>. Consultada el 27 de enero de 2014.
- DARNASUS ENGINEERING LTD. 2014. Taprogge system. Disponible en <http://darnasus.com/application/views/default/images/Taprogge%20presentation.pdf>. Consultada el 27 de enero de 2014.
- DEPÓSITO DE DOCUMENTOS DE LA FAO. Disponible en <http://www.fao.org/espana/en/>. Consultada el 12 de Diciembre de 2013.
- EL BLOG SALMÓN, ECONOMÍA Y FINANZAS. 2009. ¿Qué son el VAN y el TIR? Disponible en <http://www.elblogsalmon.com/conceptos-de-economia/que-son-el-van-y-el-tir>. Consultada el 9 de enero de 2014
- FAWLEY BIOFOULING SERVICES (FBS). 2014. Solutions to the biofouling problems of industry manufacturing's. Disponible en <http://www.biofouling.co.uk/>. Consultada el 22 de enero de 2014.
- FEDERREAL ENERGY MANAGEMENT PROGRAM. 2011. Cooling towers: understanding key components of cooling towers and how to improve wáter efficiency. Disponible en http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/waterfs_coolingtowers.pdf. Consultada el 18 de enero de 2014.
- E. PIRO. 2014. Fundamentos hidráulicos del tubo de Pitot. Disponible en http://descubriendo.fisica.unlp.edu.ar/descubriendo/index.php/%C2%BFQu%C3%A9_es_el_tubo_de_Monsieur_Pitot%3F#Fundamentos_hidr.C3.A1ulicos_del_tubo_de_Pitot. Consultada el 9 de enero de 2014.



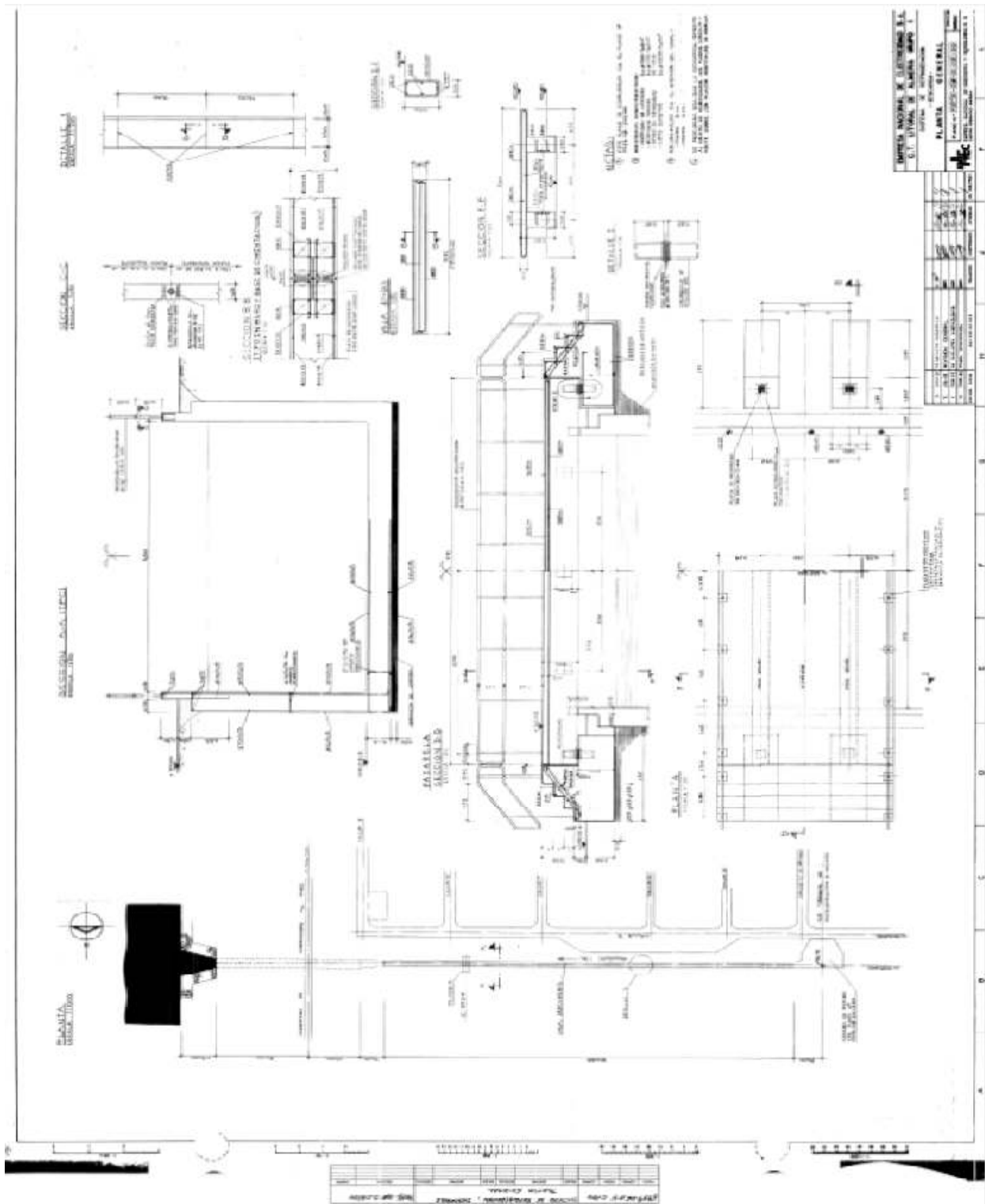
- INDALO TÉCNICAS LOGÍSTICAS. 2013. Botellas tomamuestras. Disponible en http://www.indalo.com.es/pdfs/educacion/1077_1054do_0026.pdf. Consultada el 21 de diciembre de 2014.
- INDUSTRIAL TECH. 2007. Trapogge, tecnologia per soluzioni ai problema di micro e macro ostruzioni (en línea). Milano, Italia. Disponible en <http://www.indtech.it/?arg=30>. Consultada el 18 de enero de 2014.
- INGENIERÍA DICTUC. Muestreo puntual y continuo de aguas residuales, crudas, de beber y diálisis. 2013. Disponible en http://www.dictuc.cl/muestreo_puntual_continuo_aguas. Consultada el 14 de Diciembre de 2013.
- INSTITUYO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. 2013. Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Disponible en <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.1f1a3bc79ab34c578c2e8884060961ca/?vgnextoid=44997169d928d310VgnVCM1000008130110aRCRD&vgnnextchannel=75164a7f8a651110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>. Consultada el 16 de Diciembre de 2013.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. 2013. Disponible en www.ine.es. Consultada el 16 de Diciembre de 2013.
- LABAQUA, S.A. CFIS: El muestreador automático de bolsillo. Disponible en http://www.ielab.es/sites/default/files/CFIS-_El_muestreador_automatico_de_bolsillo.pdf. Consultada el 7 de enero de 2014.
- LENNTECH. 2014. Water treatment solutions. Disponible en <http://www.lenntech.com/processes/disinfection/chemical/disinfectants-chlorine.htm>. Consultada el 18 de enero de 2014.
- L. HERNÁNDEZ. 2010. Frasco de Agua. Disponible en <http://ocio.uncomo.com/articulo/>. Consultada el 12 de Diciembre de 2013.



- MINISTERIO DE SANIDAD, SERVICIOS SOCIALES E IGUALDAD. Torres de refrigeración y condensadores evaporativos. Salud Ámbito Laboral. Disponible en http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/4_leg.pdf . Consultada el 2 de Diciembre de 2013.
- OROZCO ET AL. 2003. Disponible en http://iq.ua.es/MedioAmbiente/Agua,_tecnologias_de_tratamiento_y_medio_ambiente/Parametros_de_caracterizacion_files/5parametros.swf. Consultada el 21 de diciembre de 2013.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 2014. Toma de decisiones. Disponible en <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4010014/Contenidos/Capitulos%20PDF/CAPITULO%202.pdf>. Consultada el 9 de enero de 2014.
- UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. Calidad en la toma de muestras, equipos de muestreo. Disponible en http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni_07/u7c3s3.htm. Consultada el 12 de Diciembre de 2013.
- UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA. 2002. Recursos naturales. Disponible en http://www.usergioarboleda.edu.co/POSTGRADOS/material_recursosnaturales/guiaparatomademuestrasdeaguasIDEAM.pdf. Consultada el 7 de enero de 2014.
- UNITED STATES MARITIME SERVICE TRAINING MANUAL, ENGINEERING BRANCH TRAINING,2010. Disponible en <http://hnsa.org/doc/merchant/engineering/#pg10>. Consultada el 24 de enero de 2014.

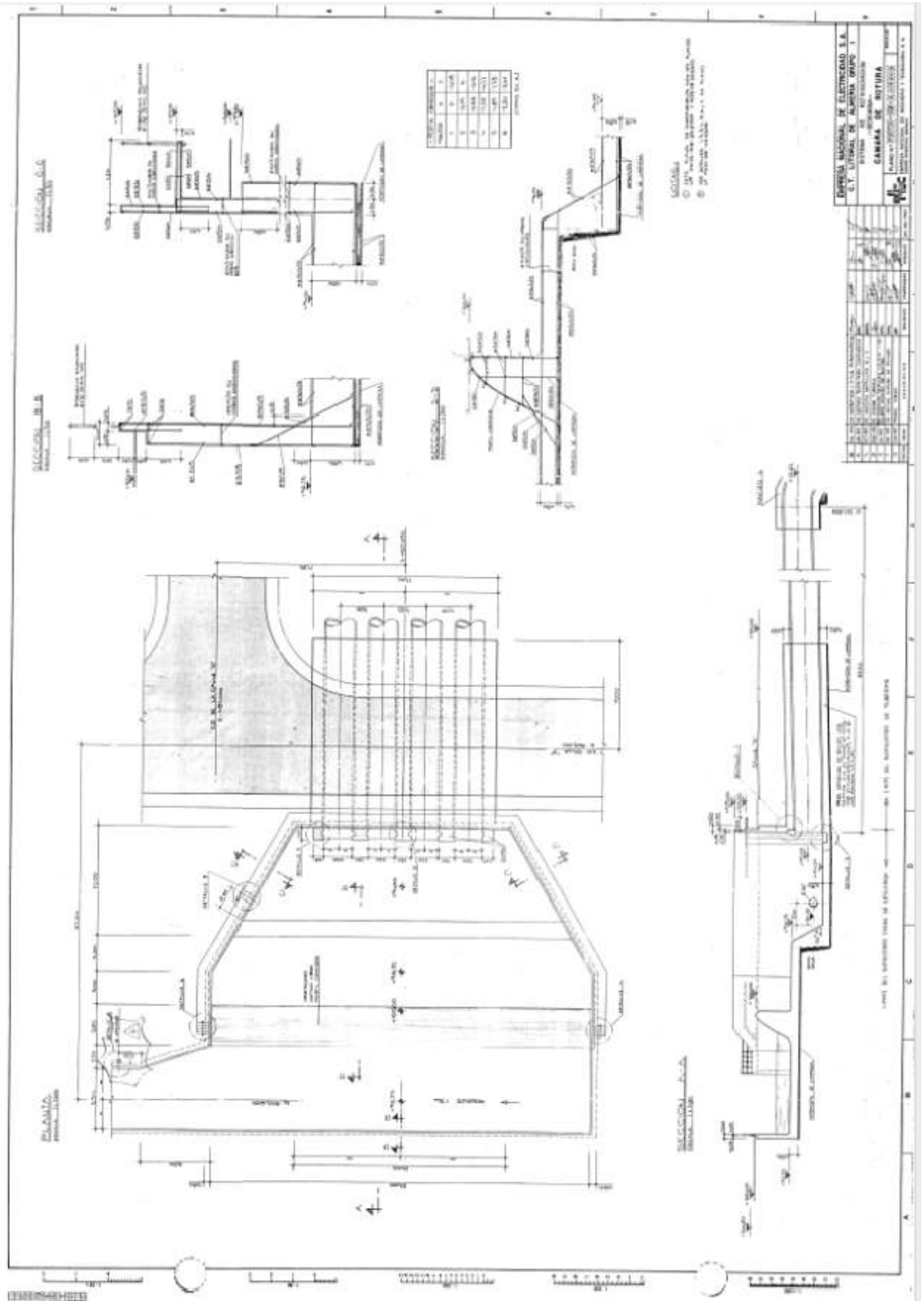
ANEXOS

- ANEXO 1. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, DESCARGA. PLANTA GENERAL.

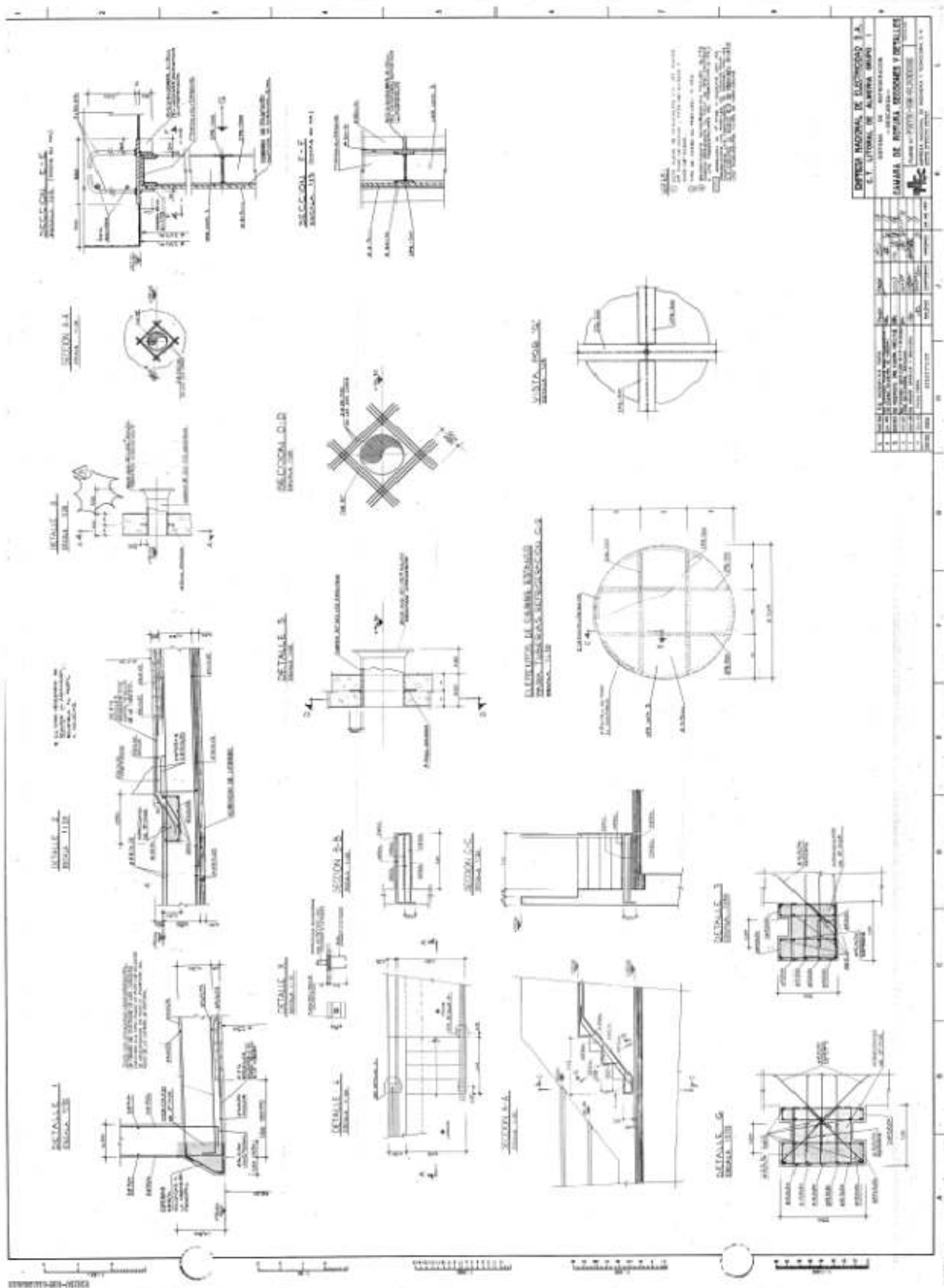




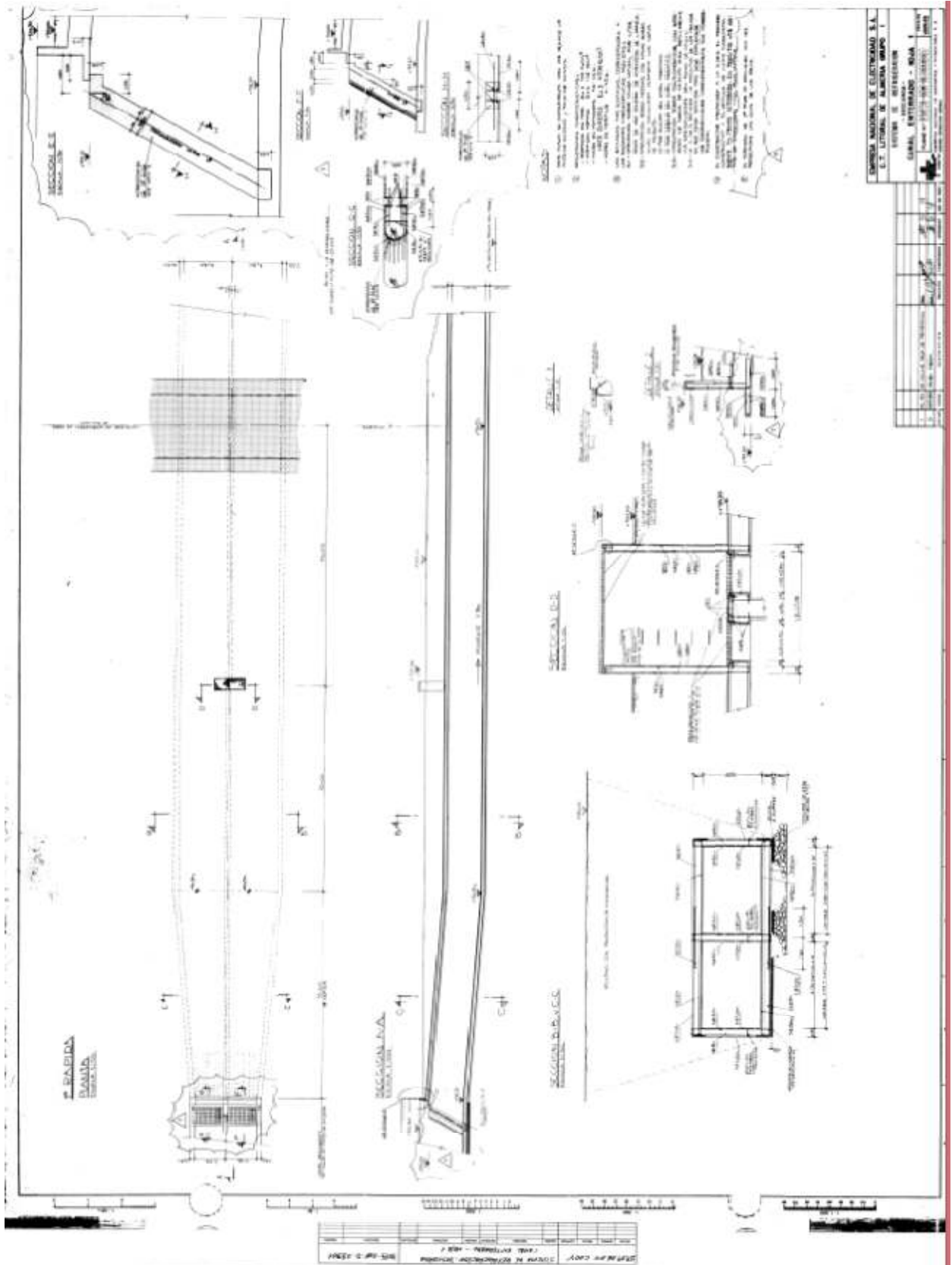
- ANEXO 2. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, DESCARGA. CÁMARA DE ROTURA.



- ANEXO 3. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, DESCARGA. CÁMARA DE ROTURA. SECCIONES Y DETALLES.

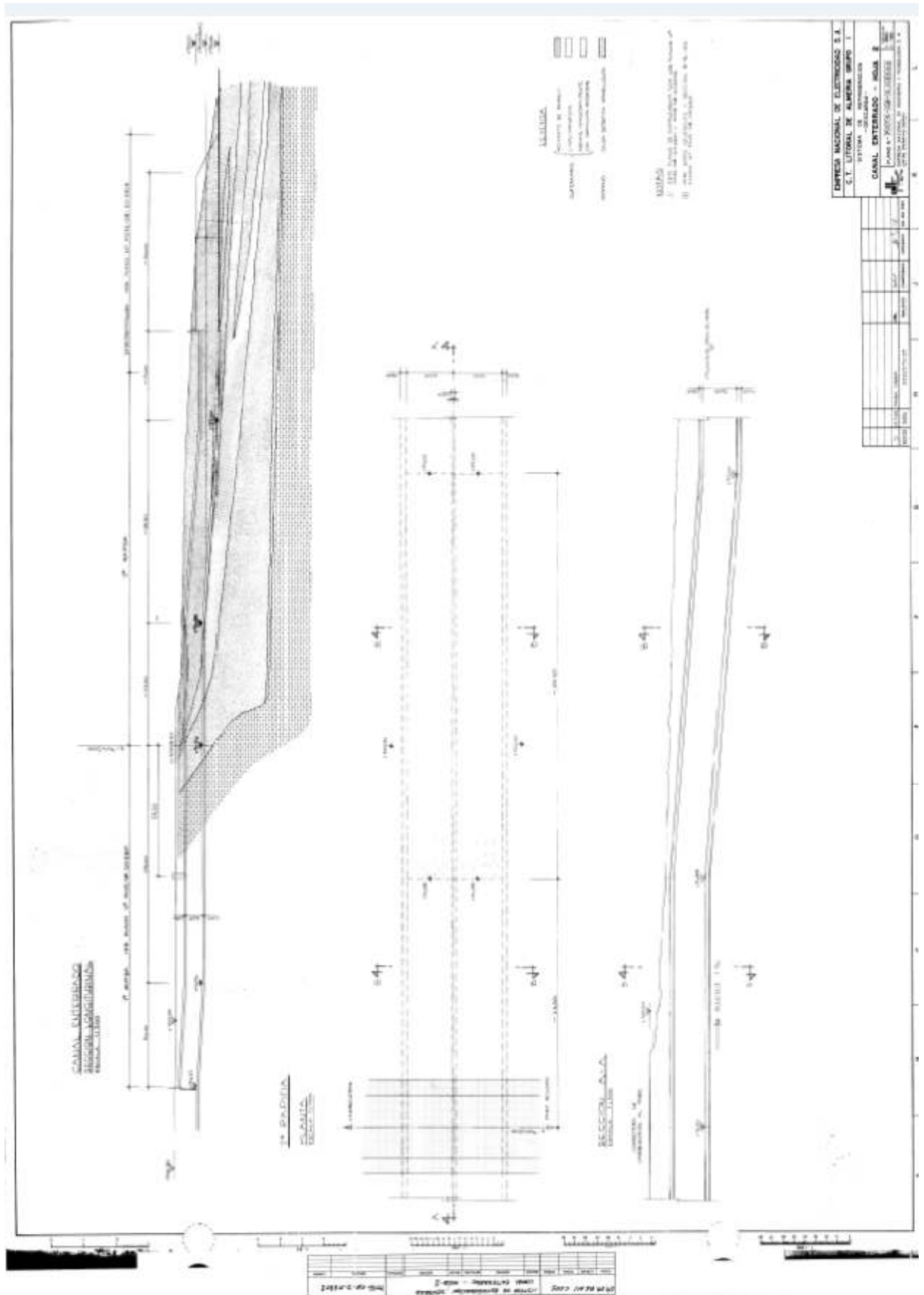


- ANEXO 4. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, DESCARGA. CANAL ENTERRADO.
HOJA 1.

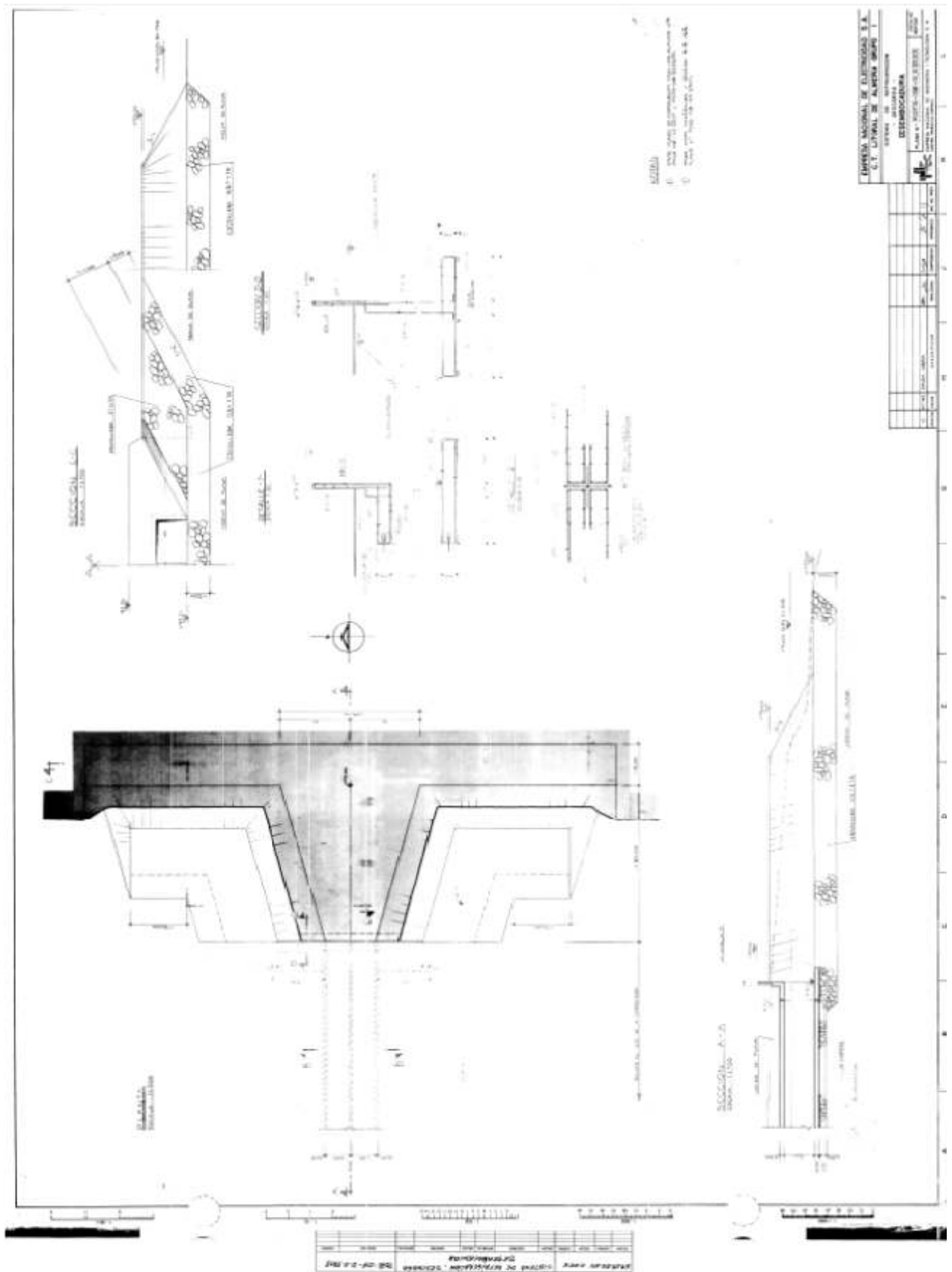




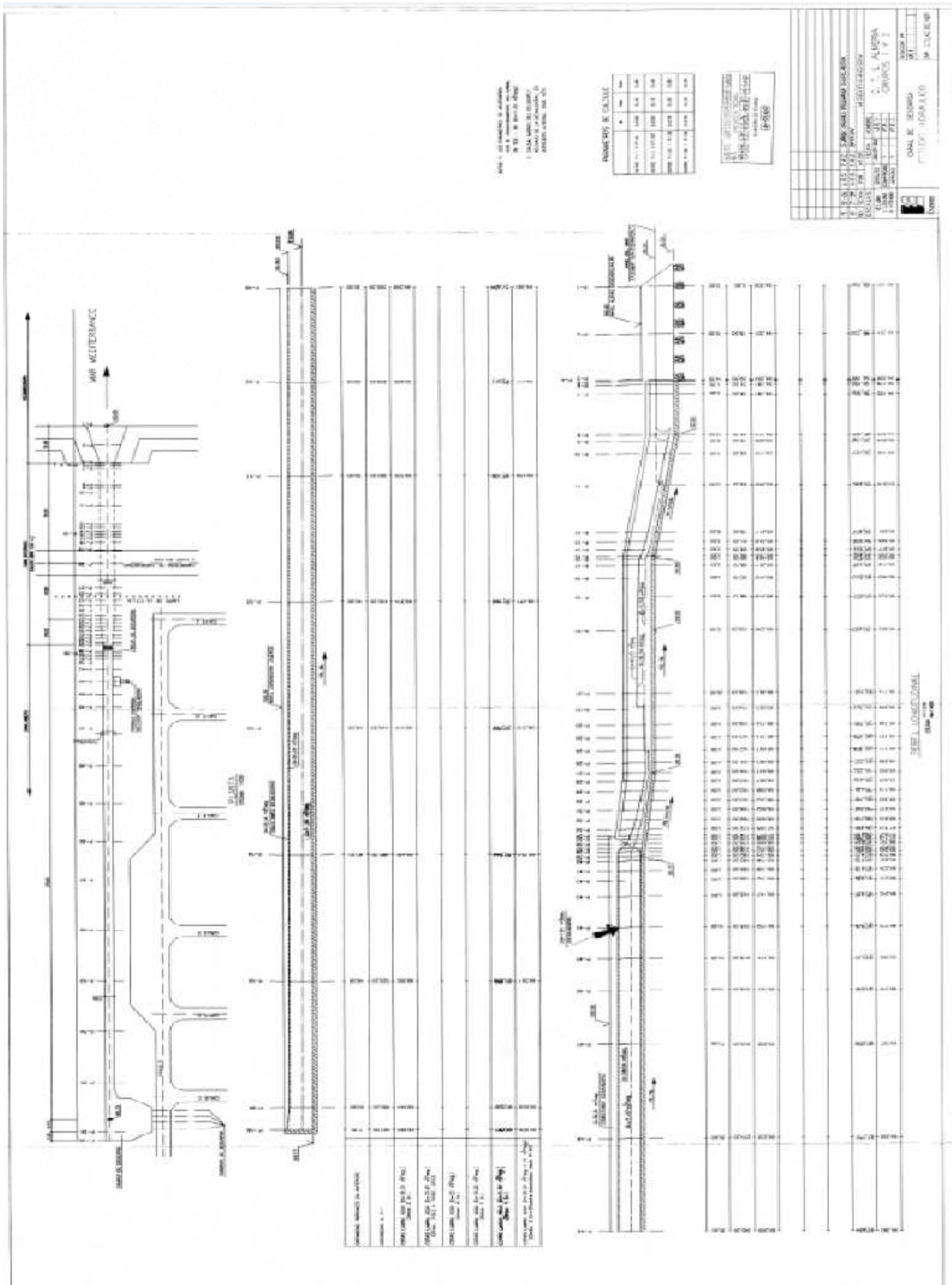
- ANEXO 5. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, DESCARGA. CANAL ENTERRADO.
HOJA 2.



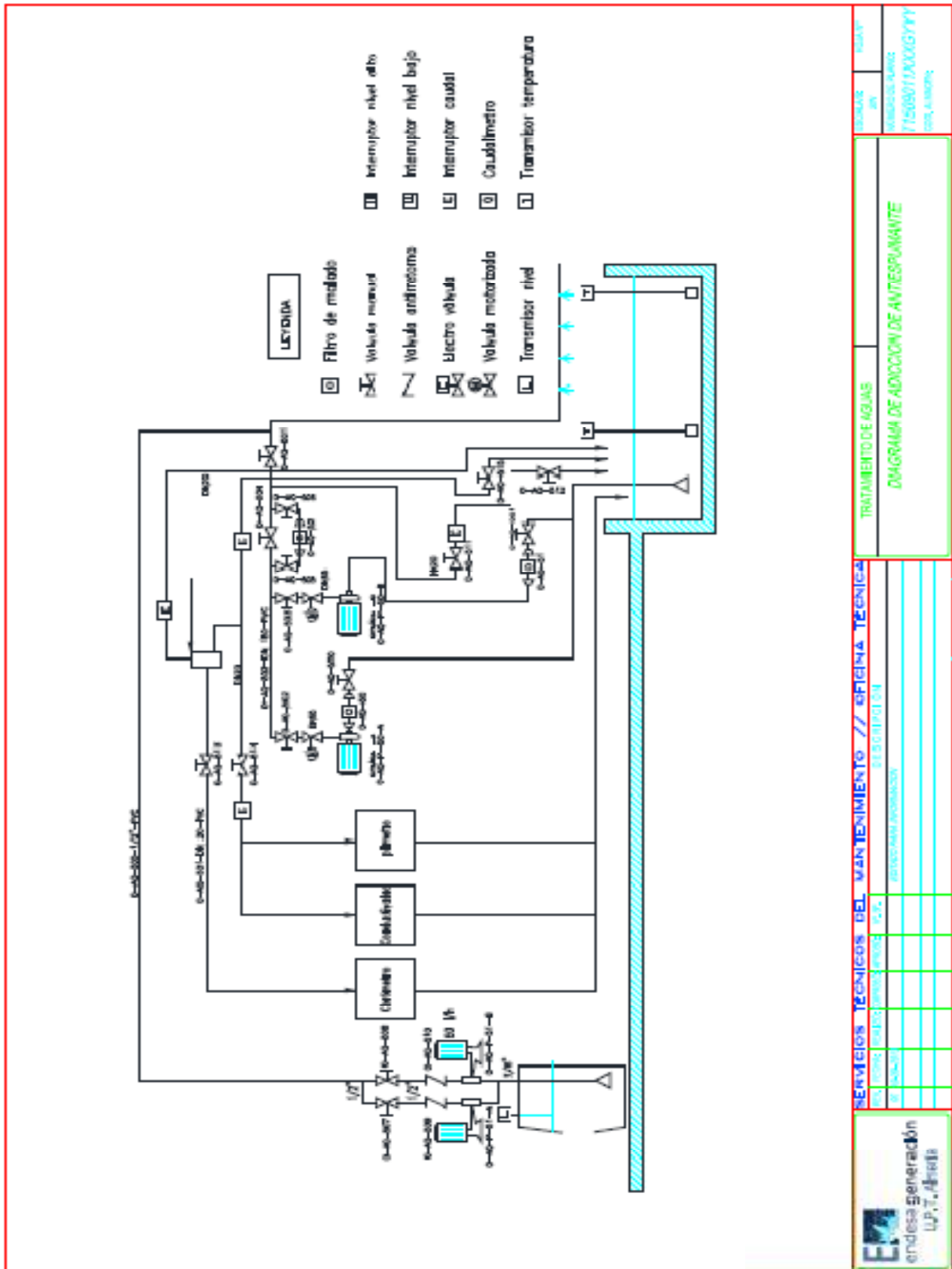
- ANEXO 6. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, DESCARGA. DESEMBOCADURA.



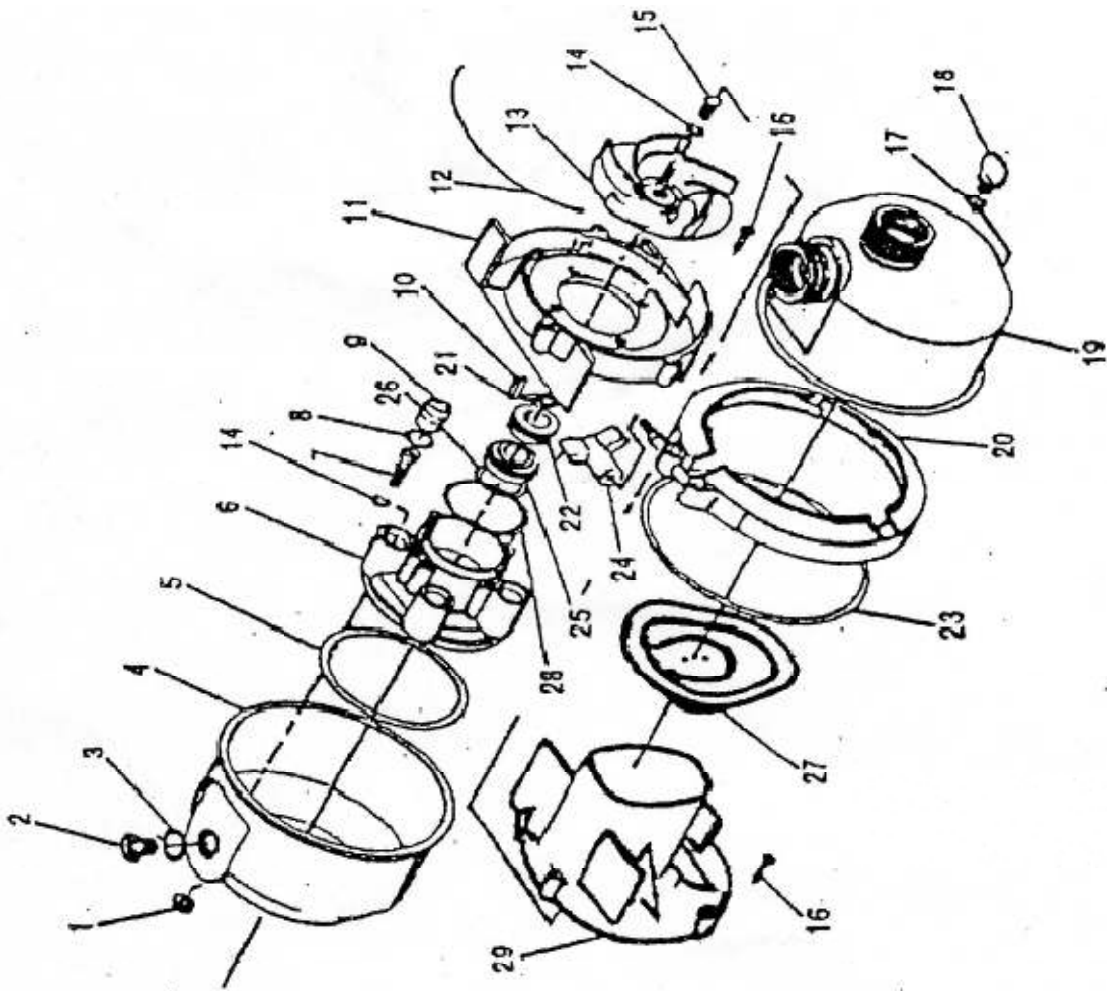
- ANEXO 7. PLANO ESTUDIO HIDROLÓGICO.



- ANEXO 8. DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS BOMBAS.



- ANEXO 9. DESPIECE DE LA BOMBA VILPIN, MARINA INOX.



DESPIECE: MARINA

1. Casquillo nylon
2. Tapón cebado
3. Junta tapón cebado
4. Cuerpo bomba
5. Junta trasera difusor
6. Difusor (parte trasera)
7. Tornillo fijación cuerpo bomba
8. Junta
9. Tapón de plástico
10. Chaveta
11. Tapa difusor
12. Junta tapa difusor
13. Turbina
14. Junta fijación turbina
15. Tornillo fijación turbina
16. Tornillo fijación tapa difusor
17. Junta tapón vaciado
18. Tapón vaciado
19. Tapa bomba
20. Abrazadera
21. Junta
22. Sello mecánico parte fija
23. Junta cuerpo bomba
24. Palomilla
25. Sello mecánico parte móvil
26. Junta sello mecánico
27. Válvula aspiración
28. Junta boca difusor
29. Cuerpo válvula de aspiración



Análisis de alternativas para mejoras en la medición de cloro residual de la CTLA