

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño del proceso de tratamiento terciario de ozonización del agua de salida de una E.D.A.R. convencional para su reutilización en el riego de campos de golf

Autor: José Joaquín BRENES VARO

Fecha: Junio 2006





MEMORIA DESCRIPTIVA.

ÍNDICE

Capítulo 1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL URBANA.....	1
1.2. EL AGUA REGENERADA.....	2
1.3. CONSIDERACIONES SOBRE LA REUTILIZACIÓN.....	3
1.4. TRATAMIENTO TERCIARIO.....	4
1.5. OZONIZACIÓN.....	5
1.5.1. ANTECEDENTES.....	5
1.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL OZONO.....	7
1.5.3. EL OZONO EN LA DESINFECCIÓN DE LAS AGUAS.....	8
1.5.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.....	8
1.5.5. PRODUCCIÓN DE OZONO.....	9
1.5.6. INCORPORACIÓN DEL OZONO AL AGUA.....	9
1.5.7. DESTRUCCIÓN DEL OZONO SOBRANTE.....	10
Capítulo 2. OBJETO DEL PROYECTO.....	11
Capítulo 3. REQUISITOS DEL AGUA PARA EL RIEGO.....	12
3.1. INTRODUCCIÓN.....	12
3.2. ANÁLISIS DEL AGUA.....	12
3.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	15
3.4. ESTUDIO DE LA IDONEIDAD DEL AGUA RESIDUAL URBANA DEPURADA DE LA EDAR DE CONIL DE LA FRONTERA.....	24
Capítulo 4. VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	28
4.1. VIABILIDAD TÉCNICA.....	28
4.1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS.....	29
4.1.1.1. CLORACIÓN.....	29
4.1.1.2. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.....	31
4.1.1.3. OZONIZACIÓN.....	33
4.1.2. CONCLUSIONES.....	35
4.2. VIABILIDAD LEGAL.....	37
4.2.1. MARCO LEGAL EN ESPAÑA RESPECTO A LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	37
4.2.2. LEGISLACIÓN CONTEMPLADA.....	42
4.3. VIABILIDAD ECONÓMICA.....	42
Capítulo 5. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA DE UN CAMPO DE GOLF.....	45
5.1. INTRODUCCIÓN.....	45
5.2. SUPERFICIE OCUPADA.....	46
5.3. DATOS PARA LA OBTENCIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA.....	47
5.4. NECESIDADES NETAS (N_N).....	49
5.5. NECESIDADES TOTALES.....	50
5.6. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES TOTALES.....	51
5.7. CONSIDERACIONES SOBRE EL RIEGO DE CAMPOS DE GOLF CON AGUAS REGENERADAS.....	52

Capítulo 6. TRATAMIENTO PREVIO A LA OZONIZACIÓN : FILTRACIÓN.	53
6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FILTRACIÓN.....	53
6.2. TIPOS DE FILTROS.	56
6.2.1 FILTROS CONVENCIONALES DE FLUJO DESCENDENTE O FILTROS RÁPIDOS.	56
6.2.2. FILTROS DE LECHO PROFUNDO Y FLUJO DESCENDIENTE O FILTROS LENTOS.	57
6.2.3. FILTROS PROFUNDOS DE FLUJO ASCENDENTE Y RETROLAVADO CONTINUO.....	57
6.2.4. FILTROS DE LECHO PULSANTE.	58
6.2.5. FILTROS DE MEDIO SINTÉTICO.	58
6.2.6. FILTRO DE PUENTE MÓVIL.	59
6.2.7. FILTRO DE PRESIÓN.	60
 Capítulo 7. GENERACIÓN DE OZONO.....	 63
7.1. INTRODUCCIÓN.	63
7.2. TEORÍA DE LA GENERACIÓN DE OZONO.	63
7.3. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL EQUIPO DE GENERACIÓN DE OZONO.....	65
7.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL GENERADOR DE OZONO.	66
7.3.2. SUMINISTRO DE ENERGÍA AL GENERADOR DE OZONO.	67
7.3.3. HUMEDAD Y POLVO DEL GAS DE ALIMENTACIÓN.	70
7.3.4. REFRIGERACIÓN DEL GENERADOR DE OZONO.....	71
7.3.5. CONTENIDO EN OXÍGENO Y CAUDAL DEL GAS DE ALIMENTACIÓN.....	72
7.4. TIPOS DE GENERADORES DE OZONO.	75
7.5. GAS DE ALIMENTACIÓN.....	80
7.5.1. PREPARACIÓN DEL AIRE DE ALIMENTACIÓN.....	80
 Capítulo 8. TRANSEFERENCIA DEL OZONO AL AGUA.	 84
8.1. SOLUBILIDAD DEL OZONO.....	84
8.2. CONTACTO DEL OZONO CON EL AGUA.	84
8.3. FACTORES QUE AFECTAN AL RENDIMIENTO DE LA DESINFECCIÓN.....	89
8.4. CONTACTORES.....	90
8.5. DESTRUCCIÓN DEL OZONO NO TRANSFERIDO.	91
8.4.1 DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA.....	92
8.4.2 DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA/CATALÍTICA.	94
 Capítulo 9. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS E INSTALACIONES.....	 96
9.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRATAMIENTO Terciario.	96
9.2. ENTRADA AL TRATAMIENTO Terciario.....	96
9.3. UNIDAD DE FILTRACIÓN.....	97
9.4. TRATAMIENTO DEL AIRE DE ALIMENTACIÓN.	101
9.5. GENERADOR DE OZONO.	104
9.6. CÁMARA DE CONTACTO.....	106
9.7. UNIDAD DE DESTRUCCIÓN DE OZONO.....	108
9.8. SALIDA DE LA PLANTA.	109
9.9. TUBERÍAS, ACCESORIOS Y BOMBAS.....	109
9.10. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	111
9.11. INSTALACIONES ANEXAS.....	112

Capítulo 10. CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL TRATAMIENTO TERCARIO.	113
10.1. INTRODUCCIÓN.....	113
10.2. PARÁMETROS DE CONTROL EN LA PLANTA.	114
10.3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS.	115
10.4. CONTROL DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN.	119
10.5. CONTROL DEL PROCESO DE OZONIZACIÓN.....	120
10.6. ANÁLISIS REALIZADOS EN LABORATORIO.....	123
Capítulo 11. MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN.....	124
11.1 INTRODUCCIÓN.....	124
11.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	124
11.3 MANTENIMIENTO GENERAL.	126
11.4. MANTENIMIENTO ESPECÍFICO.	130
11.4.1. FILTRO.....	130
11.4.2. BOMBAS.....	131
11.4.3. COMPRESOR Y FILTRO DE AIRE.	131
11.4.4. SECADOR DE ADSORCIÓN.	132
11.4.5. SISTEMA DE DESINFECCIÓN MEDIANTE OZONO.	132
11.5. DISPONIBILIDAD DE REPUESTOS.....	134
11.6. CONTRATACIÓN EXTERNA DE SERVICIOS.	135
11.7. GASTOS RELACIONADOS CON EL MANTENIMIENTO.	136
Capítulo 12. SEGURIDAD E HIGIENE.....	138
12.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS LABORALES Y LAS MEDIDAS ADOPTADAS.....	138
12.1.1. RIESGOS COMUNES.	138
12.1.1.1. RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES AMBIENTALES.	138
12.1.1.2. RIESGOS RELACIONADOS CON LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD.	146
12.1.1.3. RIESGOS DERIVADOS DE LA ORGANIZACIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO.	147
12.1.2. RIESGOS ESPECÍFICOS.	149
12.1.2.1. PERSONAL DE MANTENIMIENTO.....	149
12.1.2.2. PERSONAL DE LABORATORIO.....	151
12.2. MEDIDAS COMPLEMENTARIAS DE SEGURIDAD EN LA PLANTA.....	152
12.2.1. PROTECCIONES INDIVIDUALES Y COLECTIVAS.	152
12.2.2. PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN LA PLANTA.	152
12.2.2.1 .EXTINTORES.	152
12.2.2.2. EQUIPOS AUXILIARES.....	152
Capítulo 13. BIBLIOGRAFÍA.....	154

Capítulo 1. **ANTECEDENTES.**

1.1. Reutilización del agua residual urbana.

En muchos lugares en los que el abastecimiento de agua no es capaz de satisfacer adecuadamente la demanda, es obvio que debe cambiar la visión que se tiene del agua ya utilizada por los municipios y comunidades. No se debe considerar como un residuo a eliminar, sino como un recurso.

En las últimas décadas, el interés por el aprovechamiento de las aguas residuales urbanas que han recibido tratamientos avanzados de depuración ha ido en aumento. La convicción de que estas aguas deben ser aprovechadas y no desperdiciadas, junto con la escasez creciente de aguas y los problemas de protección medioambiental, crean un entorno realista para considerar la reutilización de las aguas residuales en muchas áreas del mundo que se enfrentan a la escasez del agua. Hoy día, existen tratamientos técnicamente probados o procesos de purificación capaces de suministrar agua de casi cualquier calidad que se desee. Así, la reutilización de las aguas residuales tiene su propio lugar y desempeña un papel importante a la hora de hacer una óptima planificación, una gestión y un uso más eficientes de los recursos hídricos en muchas áreas del mundo.

Las posibilidades de reutilización de las aguas residuales tratadas son numerosas y variadas dependiendo del nivel de tratamiento a que se sometan, lo que determinará la calidad del efluente conseguido, destacando como destino mas frecuente, en la mayoría de los proyectos , el riego agrícola.

La reutilización de aguas residuales exige la adopción de medidas de protección de la salud pública. En todo proceso de recuperación y reutilización de aguas residuales, existe algún riesgo de exposición humana a los agentes infecciosos. El tratamiento de las aguas residuales para fines de reutilización tiene como enfoque principal la reducción considerable de los microorganismos patógenos, sean de origen bacteriano, viral, de protozoos o helmintos, además

de la eliminación de malos olores u otras sustancias que pudiesen tener un efecto negativo en la práctica de la reutilización como los sólidos en suspensión que obstruyen los aspersores o las boquillas para el riego por goteo. Por ello es preciso prestar una atención especial a los requisitos de calidad general de las aguas residuales y a las medidas de seguridad.

El aumento incesante de las demandas de agua en contraste con la irregularidad de los recursos naturales disponibles en áreas de clima árido o semiárido, unido a una creciente sensibilidad social e institucional en materia de protección medioambiental, son argumentos suficientes para explicar el gran interés actual por la depuración/recuperación y la reutilización de las aguas residuales urbanas.

1.2. El agua regenerada.

Con el término agua regenerada nos referimos al agua residual municipal depurada –básicamente un efluente secundario- que ha pasado por un tratamiento o conjuntos de tratamientos, llamados de regeneración o terciarios, que la han hecho apta para un uso posterior. Así dichos tratamientos varían en función del uso posterior del agua: por ejemplo, si se trata de recargar acuíferos que se utilizan para el abastecimiento humano –como se hace en el sur de California-, el conjunto de tratamientos necesario para aportar al agua la calidad necesaria tendrá una mayor intensidad que si tan solo queremos el agua regenerada para el riego de jardines o, entrando ya en el tema que nos ocupa, de campos de golf. Es absolutamente imprescindible distinguir entre el agua regenerada o el agua residual regenerada y el agua residual sin tratar o agua residual bruta, ya que mientras la primera presenta las debidas garantías sanitarias que permiten su reutilización con un elevado margen de seguridad, la segunda resulta muy peligrosa desde el punto de vista sanitario por la elevada carga de microorganismos patógenos que conlleva y que, al no haber pasado por los correspondientes procesos de tratamiento, no han podido ser eliminados. En casos como los de reutilización para el riego de campos de

golf, resulta conveniente, a falta todavía de una legislación específica en España al respecto, no utilizar el agua residual sin tratar o insuficientemente tratada para dicho fin, dada la importante afluencia de público a la zona y la elevada supervivencia en el suelo y en el césped de algunos de los microorganismos patógenos.

1.3. Consideraciones sobre la reutilización.

Cuando se habla de reutilización se entiende que se pretende utilizar las aguas de consumo urbano, como aguas de calidad superior, después de su uso para otros fines.

En la tabla 1.1 se definen las distintas formas de reutilización y los principales problemas que pueden acarrear.

En el presente proyecto la reutilización va dirigida al riego de campos de golf. Para ello se diseña un sistema de tratamiento terciario para obtener un agua que cumpla los requisitos necesarios para el riego y su uso no acarree ningún tipo de problema, con especial atención a los posibles problemas sanitarios por patógenos.

Tabla 1.1. Formas de Reutilización. (Hernández Muñoz, A., 2001.)

USOS	PROBLEMAS
Agrícola	Efectos de la calidad del agua particularmente sobre los cultivos y suelos(Sales, características químicas, SS)
Riego parques (Parques, jardines, viales, campos de golf y otros deportes)	Problemas sanitarios por patógenos. Posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas por mal manejo.
Industria (Refrigeración, calderas, proceso, etc.).	Depósitos, corrosión, acción microbiana. Problemas sanitarios.
Recarga artificial.	Colmatación, incorporación de productos químicos, sólidos disueltos, metales, patógenos.
Láminas de agua (Lagos, estanques, rios).	Problemas sanitarios. Eutrofización.
Usos domésticos no potables (Incendios, W.C.).	Problemas sanitarios. Corrosión, Sedimentación. Acción microbiana.
Abastecimiento.	Productos químicos y tóxicos. Problemas sanitarios.

1.4. Tratamiento terciario.

El tratamiento terciario, también conocido como tratamiento avanzado, no es solo necesario para adecuar la calidad del agua residual a la nueva normativa más estricta, sino que también posibilita la reutilización de las aguas residuales, para lo que es preciso conseguir efluentes de alta calidad.

Así como las diversas variantes del tratamiento secundario van todas destinadas a conseguir un mismo fin –la reducción hasta unos determinados niveles de la carga contaminante de tipo orgánico-. Los diversos tipos de tratamientos terciarios se aplican en función de la calidad final que se desee

conseguir. Así, un agua destinada a ser recargada en un acuífero que abastezca a una población no recibirá el mismo tratamiento que un agua destinada a ser utilizada para riego de un campo de golf o que un agua cuya finalidad sea la acuicultura; en cada uno de éstos casos, el tratamiento terciario estará centrado en eliminar selectivamente aquellos contaminantes mas preocupantes desde el punto de vista del uso final del agua.

Los métodos de tratamiento terciario de las aguas residuales se pueden clasificar en función del tipo de operación o proceso unitario, o por objetivo principal de eliminación que se quiere conseguir.

El objetivo principal para la reutilización del agua residual en el riego de campos de golf es disminuir el contenido microbiológico hasta los niveles requeridos para evitar posibles problemas sanitarios. Para este propósito la desinfección es el tratamiento terciario indicado.

De los distintos sistemas de desinfección que actualmente existen, la desinfección por ozono es el sistema elegido en este proyecto. Las razones para su elección vienen especificadas en el capítulo 4 que recoge la viabilidad técnica del proyecto.

1.5. Ozonización.

1.5.1. ANTECEDENTES.

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno elemental, que en lugar de dos moléculas tiene tres (O_3). Es un gas de olor característico, que se puede sentir después de las tormentas. Es un gas de color azul, muy inestable, detectable y fácilmente reconocible por su olor picante con concentraciones entre 0.08 y 0.1 p.p.m.

Descubierto en 1783 por el científico holandés Van Marum, fue Schonbein quien, en 1840, le llamó “ozono” (tomado de la palabra griega que significa olor); Schonbein experimentó el tratamiento de agua con ozono en la ciudad entonces alemana, de Metz.

Según Hann, las investigaciones más antiguas sobre la aplicación del ozono al tratamiento de aguas municipales se emprendieron a finales del siglo XIX en Alemania, Holanda y Francia. Ohmuller observó que el ozono destruía eficazmente las bacterias del tifus y del cólera en la instalación semindustrial instalada por Frolich en Martinikenfeld, en 1891, hecho que se tradujo en la construcción de las instalaciones de Wiesbaden y Paderborn en 1896. Por entonces, Van Ermengen, Calmette y Roux publicaron sendos trabajos sobre los resultados del tratamiento efectuado en Oudshoorn (Holanda), que ponían en evidencia la eficacia del ozono en la destrucción no solo de todas las esporas, sino también de todas las bacterias patógenas y saprofitas presentes. Estas investigaciones resultaron en la adopción del tratamiento con ozono en las plantas de Paris, Lille y Niza, en Francia, entre 1898 y 1904. En 1933, las instalaciones de Paris estaban tratando alrededor de 14000 m³/h de agua con ozono. En una disertación publicada por Hartman en 1924, sobre las aplicaciones industriales del ozono, se señalaba que los abastecimientos industriales de Madrid, Viena y numerosas ciudades y pueblos de Francia y Alemania se purificaban con ozono.

En Madrid, en los años treinta del siglo XX, los “Viajes de Agua”, para el abastecimiento de Madrid, se trataban para su desinfección con ozono.

Parece ser que en Rusia se instalaron equipos de tratamiento con ozono en 1905-1906, en Tzarskoe Selo, mientras que en Petrogrado (San Petersburgo), entre 1911 y 1919, funcionaba una instalación de desinfección con ozono en un abastecimiento de 2000 m³/h. En Inglaterra, en una parte del abastecimiento de Londres, en 1933, se instalaron ozonificadores en una planta que trataba de 1600 a 2400 m³/h de agua.

A pesar de que, históricamente, su uso estaba limitado a la desinfección de aguas de abastecimiento, los recientes avances en materia de generación de ozono y de la tecnología de disolución han permitido que el ozono se haya convertido en una posibilidad económicamente competitiva para la desinfección de las aguas residuales.

Actualmente en Estados Unidos hay más sistemas de desinfección mediante ozono en plantas de tratamiento de agua residual que en plantas de tratamiento de agua potable.

1.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL OZONO.

El ozono se forma de manera natural en los niveles altos de la atmósfera por la acción de las radiaciones UV procedentes del Sol, que produce la disociación iónica de la molécula de oxígeno y la reacción posterior de los iones formados con nuevas moléculas de oxígeno. A niveles más bajos de la atmósfera, se forma ozono gracias a la energía desarrollada por las descargas eléctricas en las tormentas, transformando el oxígeno en ozono. También puede generarse ozono en el arco producido en el proceso de soldadura y cuando algunos componentes de los gases de escape de los automóviles e industrias, reaccionan con la luz del Sol. El ozono es 12,5 veces más soluble en agua que el oxígeno. La solubilidad del ozono en agua depende de la presión parcial y de la concentración de ozono en la fase gaseosa.

El ozono (O_3) es un gas alótropo del oxígeno. A la temperatura y presión del ambiente es un gas inestable que se descompone rápidamente para volver a la molécula de oxígeno (O_2). Debido a esta característica, no se puede almacenar o envasar, sino que debe generarse *in situ* y usarse inmediatamente. Por lo general, la ozonización se utiliza cuando se requiere su propiedad más importante: su elevado potencial oxidante, que permite eliminar los compuestos orgánicos que dan color, sabor u olor desagradables al agua y, al mismo tiempo, cuando se desea inactivar los microorganismos patógenos del agua.

1.5.3. EI OZONO EN LA DESINFECCIÓN DE LAS AGUAS.

El ozono destruye la proteína celular, principalmente por inactivación de los sistemas enzimáticos críticos, enzimas esenciales para la vida microbológica.

El mecanismo de desinfección implica dos procesos:

1. Penetración del desinfectante a través de la pared celular.
2. Reacciona con las enzimas dentro de la célula.

Las moléculas neutras son bactericidas más eficaces que los iones, aparentemente porque pueden pasar con mayor rapidez las paredes celulares, cargadas negativamente.

El ozono actúa como desinfectante:

- En la degradación química de la materia celular.
- En la inactivación específica.
- En la oxidación degradativa del material celular.

1.5.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.

El proceso de ozonización es un proceso de oxidación avanzada. Los componentes del proceso de ozonización son: el tratamiento del gas de origen, el generador del ozono, el contacto del agua con el ozono y la destrucción del ozono no usado.

El proceso de ozonización sigue dos etapas, la primera es suministrar el ozono en una mezcla con aire u oxígeno al agua a tratar, dispersados de tal manera que el área de contacto con el agua donde se inyecte sea lo máximo posible. La segunda etapa del proceso se lleva a cabo en el contacto del ozono con los compuestos orgánicos e inorgánicos del agua para su oxidación. El ozono remanente en el agua, permanece como ozono residual y el ozono no

utilizado se libera del reactor. La desinfección ocurre en el momento en que daña y destruye componentes críticos de los microorganismos aún los recalcitrantes como la Giardia, virus y ciertas formas de algas.

1.5.5. PRODUCCIÓN DE OZONO.

El ozono puede generarse a partir de las siguientes energías: eléctrica, fotoquímica, radioquímica, electroquímica y térmica.

El método que en la actualidad se utiliza para producir ozono es el de descargas eléctricas. El ozono se produce en un generador de ozono. El gas de insumo puede ser aire u oxígeno puro. Se aplica un voltaje alto (6,000-20,000 V) a dos electrodos y este voltaje produce un arco. En el arco, parte del O_2 se transforma en O_3 . El ozono es muy inestable y se revierte en O_2 en minutos. Por ello, al no poder ser trasladado a la planta de tratamiento de agua, el ozono debe generarse en el lugar. Cerca de 1 a 10 por ciento del oxígeno que fluye por los electrodos se transforma en ozono. Cuando se utiliza aire como gas de insumo, la concentración de ozono varía entre 1 y 4 por ciento. Cuando se usa oxígeno puro, la concentración se encuentra entre 4 y 12 por ciento por peso. Cerca de 80 a 95 por ciento de la energía se convierte en calor y se debe retirar con el electrodo conectado a tierra, generalmente mediante enfriamiento del agua. Las variables operativas son la energía aplicada, la eficiencia y el diseño del generador, el flujo del gas de insumo y la temperatura.

Los sistemas que proveen aire tienen que extraer el polvo y la humedad del aire. Esto se puede hacer mediante el uso de filtros, secadores y compresores. Se necesita mucha maquinaria y supervisión. El sistema de oxígeno puro usa oxígeno líquido y es más sencillo. Sólo se necesita un vaporizador.

1.5.6. INCORPORACIÓN DEL OZONO AL AGUA.

Para que el ozono haga su trabajo de desinfección y oxidación, debe ser traído al agua y dispersado de la manera más sutil posible. Generalmente, esto

se realiza a través de difusores de burbujas menudas ubicados en cámaras de deflectores, en un contactor tipo turbina o mediante inyectores. Los difusores de cámara de deflectores parecen ser los más comunes y el número de cámaras, su geometría, el sistema del difusor y su operación varían de planta en planta y están sujetos a la experiencia de los ingenieros de diseño.

1.5.7. DESTRUCCIÓN DEL OZONO SOBRANTE.

Los gases provenientes de la cámara de ozonización, contienen cantidades de ozono que no ha reaccionado. Antes de expulsar estos gases al exterior es necesario descomponer el ozono por razones de seguridad, dado que el ozono es un gas tóxico, el límite establecido por la Occupational Safety and Health Administration (Administración de la Seguridad y Salud Ocupacional, OSHA) es de 0,1 ppm por volumen, el gas liberado de los contactores de ozono generalmente excede el límite y consiguientemente el ozono restante se tiene que reciclar o destruir.

Los métodos mas usados para la destrucción del ozono residual son los siguientes:

- Descomposición catalítica.
- Descomposición térmica.
- Dilución.

Capítulo 2. **OBJETO DEL PROYECTO.**

El presente proyecto tiene como objeto el diseño de un tratamiento terciario de ozonización para la reutilización del efluente secundario de la EDAR de Conil de la Frontera en el riego de un campo de golf.

Mediante el tratamiento de ozonización se obtendrá un agua depurada que se utilizará en el riego de un campo de golf. El objetivo principal del proceso de ozonización es la desinfección del efluente secundario para cumplir los requisitos microbiológicos, definidos por ley, para la reutilización de agua residual urbana en el riego de campos de golf.

El tratamiento de ozonización se aplicará a un caudal del efluente secundario de la EDAR que cubra todas las necesidades hídricas del campo de golf. El diseño se realiza para cubrir las necesidades de riego de un campo de golf hipotético de 18 hoyos con un par 72 y con una superficie regable de 34,6 hectáreas y una superficie total de 55 hectáreas.

Previamente al proceso de desinfección mediante ozonización, se somete al efluente de la EDAR a un tratamiento de filtración con el objeto de disminuir la cantidad de sólidos en suspensión y DBO y aumentar la eficacia y el rendimiento de la desinfección posterior.

Por tanto, el fin último de este proyecto es la reutilización de aguas residuales urbanas para conseguir un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos en una zona donde la escasez de agua es un problema muy importante, al mismo tiempo se pretende minimizar el impacto ambiental que un campo de golf genera respecto al consumo de recursos.

Capítulo 3. REQUISITOS DEL AGUA PARA EL RIEGO.

3.1. Introducción.

La calidad del agua residual municipal tratada depende en gran parte de la calidad del agua de abastecimiento público, del tipo de residuos que a ésta se le añaden durante su uso y del grado de tratamiento que recibe el agua residual. En general, si el agua de abastecimiento utilizada por un municipio es de calidad aceptable para el riego, el agua residual municipal tratada también lo será, aunque su calidad se habrá deteriorado ligeramente.

Las impurezas presentes en un agua residual hacen que la calidad del agua deba examinarse cuidadosamente, a fin de evaluar los efectos que puedan producirse a largo plazo, tanto sobre el suelo como sobre las plantas, debido a las sales, los elementos nutritivos y los microelementos presentes de forma natural o añadidos al agua durante su uso y su tratamiento. Estos efectos son generalmente controlables si se conocen adecuadamente los problemas asociados con dichas impurezas y se adoptan las medidas preventivas necesarias.

3.2. Análisis del agua.

La evaluación de la calidad del agua de riego no requiere el grado de precisión analítica propia de un estudio de investigación. El objetivo principal de un análisis de agua para usos agrícolas es obtener una indicación de los posibles problemas a tener en cuenta durante el proceso de toma de decisiones.

La tabla 3.1 contiene una lista de las determinaciones analíticas necesarias para evaluar la calidad de un agua de riego, así como los símbolos y las unidades utilizadas. Estos datos son suficientes para evaluar la idoneidad de

un agua de riego, así como para estimar la posibilidad de que el agua pueda causar algún problema general , anto al suelo como a las plantas.

TABLA 3.1.Determinaciones analíticas necesarias para evaluar los problemas más frecuentes que puede producir el agua de riego (Mujeriego,R., 1990)

Parámetro de calidad		Símbolo	Unidad	
1.SALINIDAD	CONTENIDO DE SALES	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	CEa	dS/m
		MATERIA DISUELTA TOTAL	MDT	mg/l
	CATIONES Y ANIONES	CALCIO	Ca ²⁺	mg/l
		MAGNESIO	Mg ²⁺	mg/l
		SODIO	Na ⁺	mg/l
		CARBONATOS	CO ²⁻	mg/l
		BICARBONATOS	HCO ₃ ⁻	mg/l
		CLORUROS	Cl ⁻	mg/l
		SULFATOS	SO ₄ ²⁻	mg/l
Parámetro de calidad		Símbolo	Unidad	
2.DIVERSOS	BORO	B	mg/l	
	PH	PH	-----	
	TASA DE ADSORCIÓN DE SODIO *	TAS	-----	

$$* TAS= Na (meq / l) / [(Ca(meq/l) +Mg(meq/l))/2] ^2$$

Tabla 3.2. Análisis adicionales necesarios para evaluar la idoneidad de un agua residual municipal regenerada para regar. (Mujeriego,R., 1990)

COMPONENTE		SÍMBOLO	UNIDAD	
1.Elementos nutritivos	Nitratos	NO ₃ -N	mg/l	
	Amoniaco	NH ₃ -N	mg/l	
	Nitrógeno orgánico	N-org	mg/l	
	Potasio	K	mg/l	
	Nitrógeno total	N-total	mg/l	
	Fósforo ortofosfato	PO ₄ -P	mg/l	
	Fósforo total	P-total	mg/l	
2.Cloro residual		Cl ₂	mg/l	
3.Microelementos	Grupo1	Aluminio	Al	mg/l
		Arsénico	As	mg/l
		Bario	Ba	mg/l
		Cadmio	Cd	mg/l
		Cromo	Cr	mg/l
		Cobre	Cu	mg/l
		Fluoruros	F	mg/l
		Hierro	Fe	mg/l
		Plomo	Pb	mg/l
		Litio	Li	mg/l
		Manganeso	Mn	mg/l
		Mercurio	Hg	mg/l
		Níquel	Ni	mg/l
		Selenio	Se	mg/l
		Plata	Ag	mg/l
	Vanadio	V	mg/l	
	Zinc	Zn	mg/l	
	Grupo 2	Antimonio	Sb	mg/l
		Berilio	Be	mg/l
		Cobalto	Co	mg/l
		Molibdeno	Mo	mg/l
		Talio	Tl	mg/l
		Estaño	Sn	mg/l
		Titanio	Ti	mg/l
		Tungsteno	W	mg/l

La tabla 3.2 indica las determinaciones adicionales que normalmente se necesitan para evaluar la idoneidad de un agua residual municipal regenerada para regar.

Se recomienda analizar todos los microelementos incluidos en el grupo 1 de la tabla 3.2 con una muestra de agua, al menos una vez antes del inicio de las operaciones de riego y, posteriormente, realizar un seguimiento periódico de aquellos elementos presentes en cantidades importantes y significativas.

3.3. Evaluación de la calidad del agua.

El principal factor a tener en cuenta en la evaluación de la calidad del agua de riego es la cantidad y el tipo de sales presentes en las aguas de abastecimiento.

A medida que aumenta la salinidad del agua residual regenerada utilizada para regar, también lo hace la probabilidad de que surjan problemas en el suelo, en el agua o en el cultivo agrícola. Estos problemas guardan relación con el contenido total de sales, con el contenido de uno o varios tipos de sales, o con las concentraciones excesivas de uno o varios microelementos.

Cuando se trata de regar con agua residual regenerada, la idoneidad de un agua se establece en función del nivel de gestión necesario para resolver satisfactoriamente los problemas que cabe esperar que se produzcan durante su uso.

Las directrices propuestas para evaluar la calidad del agua de riego aparecen en la tabla 3.3. Las “Posibles Restricciones de Uso” indicadas en la tabla 3.3 se han dividido en tres categorías, en función de la capacidad de gestión necesaria. Estas directrices han sido elaboradas a partir de numerosos estudios de campo, ensayos y observaciones prácticas; no obstante, las dotes

de gestión del usuario del agua pueden alterar considerablemente estos resultados.

Cuando las directrices no indican ninguna restricción sobre el uso del agua, se supone que todos los cultivos alcanzan su máxima capacidad productiva. Por otra parte, cuando el agua que se utiliza alcanza o excede los valores indicados bajo el epígrafe de “restricciones severas”, es muy posible que el usuario del agua experimente problemas con el suelo y los cultivos, o consiga una menor producción por hectárea debido a la deficiente calidad del agua. La existencia de restricciones severas implica la necesidad de adoptar técnicas especiales de gestión que permitan alcanzar una producción satisfactoria con un agua de la calidad indicada. Cuando la calidad del agua se sitúa a un nivel intermedio, las restricciones sobre la selección del cultivo aumentan gradualmente; por otra parte, las alternativas de gestión disminuyen a medida que la calidad del agua se deteriora.

En la elaboración de estas directrices se han tenido en cuenta determinadas hipótesis sobre la forma en que se utiliza el agua, aunque en general estas hipótesis reflejan prácticas de riego comunes y, en particular, las utilizadas en proyectos de regeneración y reutilización del agua residual municipal. Estas hipótesis se describen en la tabla 3.4. (Mujeriego, R., 1990).

Además de los efectos que la salinidad total produce en el crecimiento de las plantas y en los suelos, cada uno de los iones concretos puede producir una determinada disminución del crecimiento de las plantas. El agua de riego puede contener iones tanto de los elementos principales como de los microelementos. Se consideran microelementos todos aquellos elementos químicos presentes normalmente en el agua de riego o en el agua del suelo en concentraciones inferiores a unos pocos mg/l y normalmente, en concentraciones inferiores a 100 mg/l. Algunos de estos elementos pueden ser esenciales para el crecimiento de las plantas cuando están presentes en muy bajas concentraciones, pero pueden convertirse en elementos tóxicos a medida que su concentración aumente. Por otra parte, algunos microelementos no son imprescindibles para el desarrollo de las plantas.

Las concentraciones máximas de microelementos sugeridas para el agua de riego aparecen en la tabla 3.5.

Tabla 3.3. Directrices para evaluar la calidad del agua de riego (Mujeriego .R., 1990).

Posible problema de riego		Unidades	Grado de restricción en el uso			
			Ninguno	Débil a moderado	Elevado	
Salinidad: afecta la disponibilidad de agua para el cultivo	CEa	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	>3,0	
	Materia disuelta total	mg/L	<450	450- 2000	>2000	
Permeabilidad: afecta la velocidad de infiltración del agua en le suelo. Valorada por medio de la CEa y el TAS conjuntamente.	TAS	0 - 3	Y CEa	≥ 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
		3 – 6		≥ 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
		6 – 12		≥ 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
		12 - 20		≥ 2,9	2,9 – 1.3	< 1,3
		20 - 40		≥ 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
Toxicidad de iones específicos: afecta a cultivos sensibles	Sodio	Riego superficial	TAS	< 3	3 - 9	> 9
		Riego por aspersión	mg/L	< 70	> 70	
	Cloruros	Riego superficial	mg/L	< 140	140 - 350	> 350
		Riego por aspersión	mg/L	< 100	>100	
	Boro		mg/L	< 0,7	0,7 – 0,3	> 0,3
	Microelementos		Véase tabla 3.2			
Efectos diversos afectan a cultivos susceptibles	Nitrógeno total		mg/L	< 5	5 - 30	> 30
	Bicarbonatos(sólo para aspersión elevada)		mg/L	< 90	90 - 500	> 500
	PH		El intervalo normal es 6.5-8.4			
	Cloro residual (sólo para aspersión elevada)		mg/L	< 1,0	1,0 -5,0	> 5,0

Tabla 3.4. Hipótesis consideradas en la elaboración de las Directrices (Mujeriego,R., 1990)

<p>Las directrices de calidad del agua contenidas en la Tabla 3.3 tratan de cubrir la amplia gama de condiciones existentes en la agricultura. Se han utilizado varias hipótesis básicas para definir el ámbito de aplicación de estas directrices.</p> <p>Una discrepancia importante con las hipótesis de partida puede dar lugar a juicios erróneos sobre la idoneidad de una determinada fuente de abastecimiento, especialmente si sus características se sitúan en los valores límites de una de las categorías. Cuando se dispone de suficiente experiencia, de ensayos de campo, de investigaciones o de observaciones, las directrices pueden modificarse a fin de ajustarlas mejor a las condiciones locales.</p> <p>Las Hipótesis básicas tenidas en cuenta son las siguientes:</p>
<p>Productividad potencial. Se ha supuesto que los cultivos pueden alcanzar su total capacidad productiva, sin necesidad de prácticas especiales, siempre que las directrices no indiquen ninguna restricción sobre el uso del agua. Una restricción sobre el uso del agua indica que puede haber limitaciones en la elección del cultivo o que será necesario adoptar técnicas de gestión especiales a fin de mantener la total capacidad productiva del cultivo. No obstante, la existencia de una restricción sobre el uso del agua no significa que el agua sea inadecuada para regar.</p>
<p>Condiciones del lugar. La textura del suelo varía entre franco-arenosa y arcillosa con buen drenaje interior. La lluvia es escasa y no tiene una importancia significativa para satisfacer las necesidades de agua del cultivo o para el lavado del suelo.</p>
<p>Métodos y horarios de riego. Se consideran tanto métodos de riego superficial como de riego por aspersión. El agua se añade periódicamente, a medida que es necesaria, y el cultivo utiliza una considerablemente porción del agua intersticial del suelo, igual o superior al 50%, antes de proceder al siguiente riego. Al menos un 15% del agua añadida percola por debajo de la zona de radicular, es decir, la fracción de lavado es igual o superior al 15%. Las directrices son excesivamente restrictivas para métodos especializados de riego, tales como el riego localizado, en los que el riego tiene lugar casi diariamente o a intervalos muy frecuentes. Estas directrices no son aplicables a riegos bajo la superficie del suelo.</p>
<p>Consumo de agua por los cultivos. Cada cultivo tiene un ritmo de utilización de agua, pero todos absorben agua de la zona próxima a las raíces en que esta sea más fácilmente accesible. Cada riego lava la parte superior de la zona radicular y la mantiene a un nivel relativamente bajo de salinidad. La salinidad aumenta con la profundidad y alcanza su máximo valor en la parte inferior de la zona radicular. La salinidad media del agua intersticial es aproximadamente tres veces superior a la del agua de riego.</p> <p>Las sales arrastradas desde la parte superior de la zona radicular se acumula en cierta manera en la parte baja de las mismas, aunque en último término es arrastrada por los sucesivos lavados por debajo de la zona radicular. Los cultivos responden a la salinidad media de la zona radicular. El elevado grado de salinidad en la parte inferior de la zona radicular no tiene gran importancia si la parte alta de dicha zona, que es la parte más activa, se mantiene en condiciones adecuadas de humedad.</p>

Tabla 3.5. Concentraciones máximas de microelementos recomendadas en aguas de riego (Mujeriego, R., 1990)

Microelemento	Concentración máxima recomendada (mg/L)	Observaciones
Al (Aluminio)	5,0	Puede provocar una falta de productividad en suelos ácidos $\text{pH} < 5.5$, aunque suelos más alcalinos precipitarán el ion y eliminarán cualquier toxicidad.
As (Arsénico)	0,10	Su fitotoxicidad varía ampliamente, entre 12 mg/l para la hierba del Sudán hasta menos de 0.5 mg/l para el arroz.
Be (Berilio)	0,10	Su fototoxicidad varía ampliamente, entre 5 mg/l para col rizada hasta 0.5 mg/l para las judías verdes.
Cd (Cadmio)	0,01	Es tóxico para las judías, la remolacha y los nabos a concentraciones tan bajas como 0.1 mg/l en disolución. Los límites recomendados son conservadores debido a su capacidad para acumularse en el suelo y en las plantas hasta concentraciones que pueden ser perjudiciales para las personas.
Co (Cobalto)	0,05	Es tóxico para la planta del tomate a una concentración de 0.1mg/l en disolución. Suele ser inactivado por suelos neutros o alcalinos.
Cr (Cromo)	0,1	No está considerado como un elemento esencial para el crecimiento. Los límites recomendados son conservadores debido a los escasos conocimientos sobre su fototoxicidad.
Cu (cobre)	0,2	Es tóxico para diversas plantas a concentraciones entre 0.1 y 1.0 mg/l en disolución.
F (Fluoruros)	1,0	Es inactivado por suelos neutros o alcalinos.
Fe(Hierro)	5,0	No es tóxico para las plantas en suelos aireados, pero puede contribuir a la acidificación del suelo y la disminución del Fósforo y molibdeno, elementos esenciales para las plantas. El riego por aspersión elevado puede dar lugar a depósitos desagradables en las plantas, los equipos y los edificios.

Tabla 3.5. Concentraciones máximas de microelementos recomendadas en aguas de riego (continuación) (Mujeriego, R., 1990)

Microelemento	Concentración máxima recomendada (mg/L)	Observaciones
Li (Litio)	2,5	Es tolerado por la mayoría de los cultivos hasta 5 mg/l ; es un elemento móvil en el suelo .Es tóxico para los cítricos a concentraciones superiores a 0.075 mg/l. Actúa de forma similar al Boro.
Mn (Manganeso)	0,2	Es tóxico para diversas plantas a concentraciones entre unas décimas y unos miligramos por litro, aunque principalmente en suelos ácidos.
Mo (Molibdeno)	0,01	No es tóxico para la mayoría de las plantas a las concentraciones normalmente presentes en el suelo y en el agua. Puede ser tóxico para el ganado cuando el forraje se cultiva en suelos con elevadas concentraciones de molibdeno disponible.
Ni (Niquel)	0,2	Es tóxico para diversas plantas a concentraciones entre 0.5 y 1.0 mg/l; su toxicidad disminuye a pH neutro o alcalino.
Pb (Plomo)	5,0	Puede inhibir el crecimiento de las células vegetales a concentraciones muy elevadas.
Se(Selenio)	0,02	Es tóxico para las plantas a concentraciones tan pequeñas como 0.025 mg/l, y para el ganado cuando el forraje se cultiva en suelos con niveles relativamente altos de Selenio añadido. Es un elemento esencial para el crecimiento de los animales, pero en concentraciones muy pequeñas.
Sn (Estaño)	-----	Las plantas lo rechazan de forma eficaz; su tolerancia específica es desconocida.
Ti(Titanio)	-----	Comportamiento similar al estaño.
W(Tungsteno)	-----	Comportamiento similar al estaño.
V(Vanadio)	0,1	Es tóxico para muchas plantas a concentraciones relativamente bajas.
Zn(Zinc)	2,0	Es tóxico para muchas plantas a concentraciones muy variables; su toxicidad disminuye a pH 6.0 y en suelos con textura fina o de carácter orgánico.

Las directrices contenidas en las tablas 3.3 y 3.5 son prácticas y utilizables para el riego agrícola y de jardinería en California. Han sido elaboradas sobre las hipótesis de mantener rentables a largo plazo las condiciones del suelo y de los cultivos.

La reutilización de agua tiene una notable importancia en California debido al considerable número de instalaciones de reutilización existentes, a la diversidad de utilidades que de esta se hace y al excelente historial de seguridad establecido a lo largo de muchos años. Por esta razón, y en ausencia de estudios similares en España, las directrices expuestas anteriormente serán aplicadas como valor orientativo en el desarrollo de este proyecto de reutilización.

Las directrices expuestas en las tablas 3.3 y 3.5 son adecuadas para evaluar la calidad de un agua de riego. Pero en el caso concreto de la reutilización de un agua residual urbana regenerada, para evaluar la calidad de esta agua para el riego es necesario considerar dos aspectos más fundamentales: los parámetros de calidad básicos del agua residual (DQO, DBO₅ y MES) y el contenido microbiológico del agua residual.

Las directrices contenidas en las tablas 3.3 y 3.5 proceden de un amplio estudio realizado en California, pero no consideran los parámetros de calidad DQO, DBO₅ y MES. La normativa de California tampoco contiene límites cuantitativos para estos parámetros de calidad.

Las actividades de regeneración de agua de los Estados Unidos se han limitado generalmente a las zonas con escasez de agua, en particular en el Oeste y el Suroeste. Además de California, otros estados han desarrollado normas de calidad o directrices para la reutilización de agua, como es el caso de los estados de Texas, Florida y Arizona. El estado de Texas posee una directriz que contempla la práctica del riego de un campo de un golf con agua regenerada, donde se expone que “el riego de campos de golf requiere un efluente secundario con una DBO máxima de 20 mg/l, y una concentración máxima de MES de 20mg/l”. En ausencia de este tipo de información en

California, se utilizará esta directriz como orientación en la evaluación de los parámetros de calidad: DQO, DBO y MES.

El principal objetivo del presente proyecto es la reducción del contenido microbiológico del efluente de la EDAR de Conil de la Frontera hasta los niveles exigidos por la normativa legal vigente para poder reutilizar el agua residual urbana depurada en el riego de un campo de golf. En España no existe una normativa que regule este aspecto, en su defecto, se utiliza en este proyecto una directriz publicada por la Junta de Andalucía que si lo contempla.

El contenido microbiológico es un parámetro básico a la hora de la reutilización de aguas residuales depuradas. Las aguas residuales contienen microorganismos patógenos, a los que serán expuestos tanto el público como los trabajadores, al ser utilizada para el riego. La depuración debe reducir al mínimo este riesgo biológico disminuyendo la exposición ante estos agentes a niveles donde no existan peligros sanitarios.

En este proyecto, como se menciona anteriormente, se consideraran las directrices publicadas por la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía con el título “Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas”, recogidas en la tabla 3.6 (Consejería de Salud, 1994), que contiene los estándares de calidad microbiológica recomendados para el riego en con agua residual depurada en Andalucía.

Tabla 3.6. Tipos de reutilización, estándares de calidad y tratamientos recomendados para Andalucía. (Consejería de Salud, 1994.)

Tipos de reutilización		Estándares de calidad (consideraciones)	Tratamiento indicado
Riego agrícola (a)	Verduras que se pueden consumir crudas (a1).	Nematodos/l <1 Coli fec./100ml < 1000	Lagunaje o tratamiento equivalente
	Cultivos industriales cereales, piensos, bosques y verduras cocidas o en conservas (a2).	Nematodos/l <1	Lagunaje o tratamiento equivalente
Urbano (b)	Riego de campos de deporte y parques con acceso público (b1)	Nematodos/L <1 Coli fec./100ml < 200	Lagunaje o tratamiento equivalente
	Riego de áreas verdes donde el acceso público esta prohibido.	-----	Primario
Industrial (c)	Refrigeración (c1)	Coli fec./100ml < 1000 (circuitos semicerrados) Coli fec./100ml < 10000 (circuitos abiertos)	Secundario
Agricultura (d)	Producción de biomasa destinada a consumo humano (d1)	Coli fec./100ml < 1000	Lagunaje
	Producción de biomasa no destinada a consumo humano (d2)	-----	Pretratamiento
Recreativo (e)	Como b1 (e1)	Como b1	Como b1
	Como b2 (e2)	Como b2	Como b2
	Lagos recreativos (e3)	Nematodos/L < 1	Lagunaje
	Acceso prohibido (e4)	-----	Pretratamiento

3.4. Estudio de la idoneidad del agua residual urbana depurada de la EDAR de Conil de la Frontera.

En el presente proyecto se diseña un tratamiento terciario de ozonización para reutilizar el efluente secundario de la EDAR de Conil en el riego de campos de golf. Previamente a la realización del diseño es imprescindible conocer las características del agua residual depurada que forma dicho efluente. El estudio de estas características permite decidir sobre la viabilidad del proyecto.

Los resultados de la caracterización del efluente de la EDAR se recogen en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Caracterización.

PARAMETRO DE CALIDAD		VALOR
SALINIDAD (CONDUCTIVIDAD)		1,3 (dS/m) (1,08 – 1,52 dS/m)
PH		7,6
ELEMENTOS NUTRITIVOS	NITRÓGENO TOTAL	21,3 mg/l
	FÓSFORO TOTAL	9 mg/l
PARÁMETROS BÁSICOS	DBO ₅	21 mg/l
	DQO	55 mg/l
	MES	16 mg/l
CONTENIDO MICROBIOLÓGICO	Coliformes fecales	902333 UFC/100ml
	Nematodos/l	0 Nematodos/l

La caracterización del efluente se recoge en el *anexo nº1*. Esta caracterización se ha realizado con datos facilitados por la EDAR.

Una vez que se ha caracterizado el efluente se comprueba si cumple los requisitos para el riego definidos en los anteriores apartados de este capítulo y que a modo de resumen son:

PARAMETROS BÁSICOS: DBO< 20mg/l ; MES<20mg/l

CONTENIDO MICROBIOLÓGICO: NEMATODOS/L<1; COLI.FECAL. /100ml<200

SALINIDAD (dS/m)	NITROGENO TOTAL(mg/l)	Grado de restricción en el uso
< 0.7	< 5	Ninguno
0,7—3,0	5-- 30	Débil a moderado
>3,0	>30	Elevado

El tratamiento terciario de ozonización debe adecuar la calidad del efluente secundario a las exigencias de las directrices sobre reutilización. Al comparar los distintos parámetros de calidad del efluente secundario de la EDAR con las directrices tenemos que no se cumplen en el contenido microbiológico ni en la DBO.

No obstante, se va a someter el efluente de la EDAR a una filtración previa a la ozonización con lo que se consigue reducir la DBO y la MES hasta por debajo de los límites para reutilización y por otro lado, se aumenta la eficiencia del tratamiento de desinfección posterior, además debemos considerar que con el tratamiento de ozonización, a parte de la desinfección, también se conseguirá una disminución de la DBO dado el poder oxidante del ozono que actuará tanto con la materia orgánica como inorgánica

En lo que respecta al contenido microbiológico, el tratamiento de ozonización que se proyecta es básicamente un tratamiento de desinfección por lo que mediante este tratamiento se reduce el contenido microbiológico hasta valores mínimos cumpliendo las directrices para la reutilización en el riego de campos de golf.

El valor de la conductividad, mediante el cual se mide la salinidad, se encuentra en el rango que va desde 0,7 a 3,0 dS/m donde el grado de restricción en el uso es de débil a moderado. Dado que el valor de la conductividad del efluente es próximo a 0,7 no tendremos problemas en este aspecto a la hora del riego. No obstante los posibles problemas de salinidad se puede solucionar con las siguientes medidas: una selección apropiada de las variedades de césped, de acuerdo a su resistencia a la salinidad; un riego adecuado, tanto para promover el correcto crecimiento del césped como para facilitar el lavado del suelo; y un drenaje suficiente para permitir la evacuación del agua de lavado del suelo.

La cantidad de nitrógeno total en el efluente esta dentro del rango donde el grado de restricción en el uso es de débil a moderado (5---30 mg/l) concretamente la cantidad de nitrógeno total es 21.3mg/l por lo que suponemos un grado de restricción moderado. El efluente procede de un tratamiento biológico de fangos activados por lo que el nitrógeno nos lo encontraremos principalmente como nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico.

Es importante destacar que mientras que en las formas de nitrito y nitrato el nitrógeno se encuentra disponible para las plantas con relativa rapidez, el nitrógeno amoniacal y, sobre todo el orgánico necesitan un tiempo previo de transformación en el suelo antes de poder ser absorbido por los vegetales. Así, hay que tener en cuenta que el aporte de nitrógeno al suelo en forma amoniacal y orgánica mediante el riego representa una aportación esencialmente idéntica a la que realizan los abonos químicos de acción lenta, desde el punto de vista de la especie química nitrogenada que es liberada al suelo. Estas circunstancias hacen que los planes tradicionales de abonado sean poco útiles en estos casos, siendo la estrategia a seguir la de realizar

aportaciones de abonos minerales tan solo en las épocas en las que la aportación del agua sea insuficiente para cubrir la demanda del césped. En caso contrario, además de resultar una practica antieconómica, la suma del nitrógeno contenido en el fertilizante mineral mas el nitrógeno contenido en el agua de riego puede llegar a causar quemaduras importantes en el césped.

La reutilización de aguas residuales depuradas con concentraciones de nitrógeno de moderadas a elevadas para el riego de mezclas de céspedes provoca una selección de aquellas especies con mayores requerimientos nutritivos de este elemento, lo que al cabo de un tiempo puede hacer variar enormemente las proporciones de siembra respecto a las originales. Así, las especies con menores necesidades de nitrógeno irán desapareciendo progresivamente, siendo sustituidas por aquellas capaces de metabolizar mayores cantidades de los nutrientes que les llegan. Por este motivo, aquellos campos de golf que se deban proyectar conociendo que van a tener que utilizar aguas regeneradas para el riego, es de vital importancia la correcta selección de céspedes , tanto desde el punto de vista de la tolerancia a la salinidad, comentado en apartados anteriores, como de las necesidades de nutrientes.

Por ultimo se debe hablar de los microelementos, los valores de la tabla 3.5 representan las concentraciones máximas de microelementos recomendadas para que un agua pueda ser utilizada para regar durante un periodo de tiempo prolongado. En la caracterización del efluente de la EDAR no se han obtenido las concentraciones de estos elementos al no disponer de datos debido a que en la depuradora no se ha realizado ningún estudio al respecto. Por lo que realmente no podremos determinar si el efluente cumple con los requisitos sobre microelementos, no obstante basándonos en datos bibliográficos de efluentes de otras depuradoras de similar tratamiento y con características análogas a nuestro caso, es decir, municipio turístico de zona costera con escasa industria, podemos afirmar que el efluente no plantea ningún problema para su reutilización en cuanto a microelementos.

Capítulo 4. **VIABILIDAD DEL PROYECTO.**

El estudio de la viabilidad del proyecto debe ser un compromiso entre la viabilidad técnica, legal y económica.

4.1. Viabilidad técnica.

En el presente proyecto se diseña un tratamiento terciario para poder reutilizar el efluente secundario de una EDAR convencional en el riego de un campo de golf. Cuando se estudia la idoneidad del efluente secundario para su reutilización, el principal inconveniente que se encuentra es la presencia de un gran número de microorganismos. El tratamiento terciario debe reducir el contenido microbiológico del efluente a los niveles exigidos por la normativa sobre la reutilización del agua residual en el riego de campos de golf. Por tanto, el tratamiento terciario para hacer viable la reutilización del efluente secundario en el riego de un campo de golf es, fundamentalmente, un tratamiento de desinfección.

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. No todos los microorganismos se destruyen durante el proceso, punto en el que radica la principal diferencia entre la desinfección y la esterilización. En términos prácticos, desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes capaces de producir enfermedades.

En la actualidad existen diversos métodos de desinfección, la elección de uno u otro se debe, entre otros, a varios factores:

- Características físico-químicas y biológicas del agua a tratar.
- Naturaleza y concentración de los microorganismos patógenos o no patógenos que se desee eliminar.
- Características generales (naturaleza, concentración requerida, etc...) de la sustancia desinfectante.

- Productos resultantes de la desinfección que pueden permanecer en el agua y la posible acción nociva de los mismos.
- Tiempo de contacto necesario para que la acción del desinfectante sea satisfactoria.

Los tres alternativas más utilizadas para la desinfección de aguas residuales son: la cloración, la ozonización y la radiación ultravioleta. En la desinfección mediante la ozonización y la cloración se utilizan agentes químicos mientras que la radiación ultravioleta utiliza un agente físico. En el presente proyecto se opta por el proceso de ozonización como tratamiento terciario de desinfección. A continuación se describen cada uno de los métodos.

4.1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS.

4.1.1.1 CLORACIÓN.

En la actualidad, para la destrucción de gérmenes patógenos en el agua, se utiliza preponderantemente, el cloro y sus compuestos. No obstante y, debido a sus inconvenientes organolépticos, así como a la posible complejidad de empleo y a las interferencias que produce con otras sustancias, va perdiendo posiciones en favor de la ozonización del agua.

Los compuestos del cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gas (Cl_2), el hipoclorito sódico (NaOCl), el hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$], y el dióxido de cloro (ClO_2). Los hipocloritos sódicos y cálcicos se suelen emplear en las plantas pequeñas, especialmente en las prefabricadas, en las que la simplicidad y seguridad son criterios de mayor peso que el costo. El hipoclorito de sodio se emplea en las plantas de gran tamaño, principalmente por cuestiones de seguridad relacionadas con las condiciones locales. El dióxido de cloro también se emplean en las instalaciones de tratamiento, debido a que tiene algunas propiedades poco frecuentes (no reacciona con el amoníaco), pero a

continuación se analizará el empleo del cloro gas y el hipoclorito porque son las formas más extensamente adoptadas.

El cloro gas se almacena habitualmente en forma licuada en botellones de 15 a 100 Kgs, siendo su grado de llenado normal de 1 Kg de liquido por cada 0.8 litros de capacidad.

El cloro a presión proveniente de los recipientes contenedores, se conduce mediante tubo hasta el equipo de desinfección propiamente dicho, este equipo asegura la expansión del cloro a presión constante (que se regula entre 0.8 y 1 Kg/cm²) y permite regular el caudal del gas una vez expandido.

El gas se disuelve posteriormente en un pequeño caudal de agua y es esta solución clorada la que se introduce en el agua a tratar. El caudal de agua para preparar la disolución debe ser tal que la concentración de la disolución no pase de 2 gr/l. Este valor si bien es aconsejable, no tiene gran importancia toda vez que se efectúa sobre el caudal de gas.

En los casos en que no se disponga de un caudal con suficiente presión para efectuar la disolución, se puede inyectar directamente el cloro gas. Este procedimiento, si bien muy simple, presenta problemas de corrosión en el punto de inyección, es por ello por lo que se recomienda efectuar una disolución previa.

La utilización del hipoclorito se efectúa en forma de disolución. Para su dosificación en el agua a desinfectar se utiliza el equipamiento clásico constituido, básicamente, por:

- Uno o varios depósitos de almacenamiento y disolución.
- Una bomba dosificadora.
- Un inyector de líquido de dosificación.

Evidentemente, en función de los niveles de cloración que se precisen y de la bomba dosificadora que se utilice, las distintas formas de ajuste de la regulación serán diferentes de uno a otro modelo.

En caso de utilizar bombas volumétricas, la regulación del caudal de dosificación se consigue actuando sobre el volumen de la embolada. Cuando se trata de bombas de caudal fijo y frecuencia variable, la dosificación se consigue aumentando o disminuyendo la frecuencia de la embolada. Cuando las condiciones económicas así lo permitan, se aconseja utilizar bombas dosificadoras de volumen y frecuencia variable, con las que se consiguen niveles de dosificación muy ajustados.

En caso de aplicar un sistema de dosificación por gravedad, el aparato dosificador está constituido por un orificio calibrado, o aforo. La regulación se efectúa actuando sobre el diámetro del orificio (sobre el aforo) o sobre el valor de la carga.

El clorito sódico se conserva perfectamente en estado seco sin una pérdida apreciable de concentración. Las soluciones tienen una buena estabilidad al frío. Los recipientes contenedores del clorito deben ser materiales inertes al mismo, tales como cloruro de polivinilo o polietileno, los contenedores de acero o de cobre no son recomendables por la posibilidad de reacción de estos metales.

4.1.1.2. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.

La desinfección de aguas de abastecimiento basada en la radiación emitida por fuentes de rayos ultravioletas (UV) se ha empleado en contadas ocasiones desde principios del siglo XX. Aunque su primer uso se centraba en la desinfección de aguas de suministro de alta calidad, recientemente se ha experimentado un renovado interés en la aplicación de esta técnica de cara a la desinfección de aguas residuales. Se ha podido comprobar que una correcta dosificación de rayos ultravioletas es un eficaz bactericida y virucida, además de no contribuir a la formación de compuestos tóxicos.

Actualmente, el principal método de generación de radiación ultravioleta para la desinfección de aguas residuales es la lámpara de arco de mercurio a baja

presión. La lámpara de mercurio presenta la ventaja de que el 85% de la luz emitida es monocromática, con una longitud de onda de 253,7 nm, valor que se halla dentro del intervalo óptimo para la obtención de efectos germicidas (250—270 nm). La longitud típica de las lámparas oscila entre 0,75 y 1,5 m, con un diámetro entre 15 y 20 mm. Para producir energía UV, la lámpara, que contiene vapor de mercurio, se carga por contacto con un arco eléctrico. La energía generada por la excitación del vapor de mercurio contenido en la lámpara produce la emisión de rayos ultravioletas. En la aplicación práctica de estos elementos, las lámparas pueden estar suspendidas fuera del líquido o sumergidas en él. En el caso de tratarse de lámparas sumergidas, se recubren con tubos de cuarzo para evitar el efecto refrigerante del líquido que se halla a su alrededor.

La radiación ultravioleta es un agente desinfectante físico. La radiación con longitud de onda de alrededor de 254nm penetra la pared celular de los organismos y es absorbida por los materiales celulares, incluidos el ADN y el ARN, lo cual puede impedir la reproducción o producir directamente la muerte de la célula. Debido a que solo son efectivos los rayos ultravioletas que alcanzan a las bacterias, es conveniente que el agua este libre de turbiedad, que podría absorber la radiación ultravioleta y actuar como escudo de las bacterias. Se ha comprobado que la radiación ultravioleta no constituye un desinfectante efectivo para aguas residuales que presentan altas concentraciones de sólidos. A efectos prácticos, la inactivación bacteriana producida por la radiación ultravioleta se puede describir empleando una formulación cinética de primer orden.

Debido a que la distancia a la cual la radiación ultravioleta es efectiva es muy pequeña, la máxima efectividad en la desinfección se obtiene empleando el principio de lámina fina. Para limitar la profundidad de líquido que deben penetrar los rayos ultravioletas, la mayoría de las unidades de tratamiento con rayos UV se construyen con una matriz de lámparas a través de las cuales se hace circular el agua residual. Normalmente las lámparas se instalan en el canal del efluente, lo cual elimina la necesidad de disponer de un tanque o de un canal de contacto. Es conveniente que el conjunto esté contenido en una

estructura cerrada que proteja los equipos eléctricos que se emplean para dar corriente a las lámparas de ultravioletas.

Puesto que no se trata de un agente químico, la radiación ultravioleta no produce residuos tóxicos. No obstante, puede provocar alteración de determinados compuestos químicos. Existe el convencimiento general de que tales compuestos se degradan a formas más inocuas, pero es preciso ahondar más en el conocimiento de este tema. Por lo tanto, actualmente, es preciso considerar que desinfección mediante radiación ultravioleta no tiene efectos positivos ni negativos sobre el medio ambiente.

4.1.1.3. OZONIZACIÓN.

El ozono fue empleado por primera vez para la desinfección de aguas de abastecimiento en Francia, a principios de siglo. Su uso aumentó y posteriormente se expandió a diversos países europeos occidentales. A pesar de que, históricamente, su uso estaba limitado a la desinfección de aguas de abastecimiento, los avances en materia de generación de ozono y la tecnología de disolución han permitido que el ozono se haya convertido en una posibilidad económicamente competitiva para la desinfección de las aguas residuales. En el tratamiento de las aguas residuales, el ozono también se puede emplear para el control de olores y para la eliminación de materia orgánica soluble refractaria, sustituyendo el proceso de absorción con carbón activado.

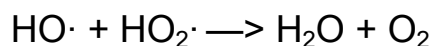
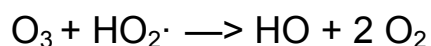
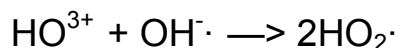
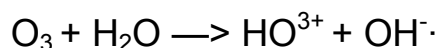
Debido a que el ozono es químicamente inestable se descompone a oxígeno muy rápidamente después de su generación, lo cual obliga a un proceso de generación in situ. El método de generación de ozono más eficaz del que se dispone en la actualidad es la generación por descarga eléctrica. El ozono se genera a partir del aire, o de oxígeno puro, al hacer circular una corriente de alto voltaje entre dos electrodos separados por un espacio muy pequeño. La corona de alta energía que se produce con este sistema permite disociar una molécula de oxígeno para, al juntarse con otras dos, producir dos moléculas de ozono. La corriente de gas que se produce en el proceso puede contener entre

0.5 y 3 por ciento de ozono si se trabaja con aire, y aproximadamente el doble si se trabaja con oxígeno puro.

El método de desinfección por ozonización consiste en agregar cantidades suficientes de ozono lo más rápidamente que sea posible, de manera que satisfaga la demanda y mantenga un residuo de ozono durante un tiempo suficiente para asegurar la inactivación o destrucción de los microorganismos.

El ozono es un oxidante extremadamente reactivo, y esta ampliamente aceptado que la destrucción de las bacterias por ozonización se produce directamente debido a la desintegración de la pared celular (lisis celular). El ozono también es un virucida muy efectivo, y asimismo, se entiende que su efectividad es superior a la del cloro. La ozonización no produce sólidos disueltos ni se ve afectada por la presencia del ion amonio ni por el pH del agua que entra en el proceso de desinfección.

Algunas de las propiedades químicas del ozono se pueden ilustrar basándose en sus reacciones de descomposición, que se entiende que tiene lugar de acuerdo con las siguientes expresiones:



Los radicales libres que se generan, el HO_2^{\cdot} y el HO^{\cdot} , tienen gran poder oxidante, y son los probables responsables de la acción desinfectante del proceso. Estos radicales libres también tienen suficiente capacidad oxidante como para hacer reacción con otras impurezas presentes en las soluciones acuosas.

Los sistemas de ozonización constan de cuatro componentes básicos: la unidad de preparación de gas (que puede ser tanto aire u oxígeno puro); el

generador de ozono, el contactor y la unidad para la eliminación del gas sobrante.

Para las soluciones de ozono, que al ser función de la temperatura y de la presión siguen la ley de Henry, resulta útil definir un coeficiente de reparto como la relación que existe entre la concentración de ozono en el agua, a una presión y a una temperatura determinadas, y la concentración de ozono en el aire con el que esta en contacto, en equilibrio.

Los tratamientos de ozonización consisten en introducir aire ozonizado en el agua y garantizar la transferencia del ozono, desde la fase gaseosa a la fase líquida. El fenómeno de transferencia se produce por difusión a través de la interfase aire líquido.

4.1.2 CONCLUSIONES.

Cuando se trata de reutilizar el agua residual después de su tratamiento, el principal inconveniente es la presencia de un gran número de microorganismos. Aquí va a cobrar el ozono una ventaja decisiva con respecto a otros tratamientos, debido a su gran poder microbicida que, a fin de cuentas reside en su gran potencial de oxidación y en su capacidad de actuar catalíticamente con el oxígeno.

Es de sobra conocido el amplio espectro microbicida del ozono y, de hecho, se utiliza mucho con estos fines en el tratamiento de agua potable. Su espectro pasa por bacterias, virus, esporas, algas, protozoos y hasta algunos pequeños organismos pluricelulares.

Paralelamente a la desinfección se obtienen una mejora en la calidad del agua final debido a la mejora de los siguientes parámetros:

Reducción del color.

Reducción de turbidez.

Reducción de olor.

Reducción de MES (sólidos en suspensión).

Reducción de DQO.

La búsqueda de tecnologías adecuadas nos lleva a que éstas deben ser denominadas como “limpias”, así se piensa en el tratamiento con ozono.

Las características que aconsejan el uso de ozono, de manera muy escueta son:

- Acción oxidante y desinfectante muy elevada.
- Mejora de los parámetros organolépticos, color y olor.
- Reduce la turbiedad, el contenido en sólidos en suspensión y las demandas químicas (DQO) y biológicas (DBO) de oxígeno.
- Ausencia de subproductos tóxicos. El ozono se transforma en oxígeno.
- Máxima eficacia contra los más diversos microcontaminantes, siendo a veces el único oxidante capaz de destruirlos.
- Simplicidad en el montaje y automatización del sistema.
- Bajos costos de explotación.
- Reoxigenación del medio acuoso.

Frente a las otras alternativas tenemos que la radiación ultravioleta presenta las siguientes desventajas:

- La penetración de los rayos en el agua está limitada por el color y la turbiedad, por lo que el agua debe ser completamente clara.
- Con el transcurso del tiempo, las lámparas pueden ensuciarse, lo que reducirá la capacidad de penetración de los rayos.
- La vida útil de las lámparas es muy limitada.

En cuanto a la otra alternativa, la cloración, hay que considerar una serie de factores en contra:

- El ozono es más eficaz que la utilización del cloro para la desinfección o destrucción de virus y bacterias.
- El proceso de cloración se ve afectado por los niveles de pH, la ozonización no.
- El cloro es una sustancia peligrosa y de manejo delicado; se deben aplicar medidas de seguridad muy estrictas.
- El tiempo de contacto requerido es mayor que el de otros desinfectantes, como el ozono.
- La cloración genera varios subproductos tóxicos.
- Si la toxicidad residual del efluente es alta, debe reducirse a través de la dechloración.

Por todo lo expuesto anteriormente el tratamiento de ozonización es el método elegido para hacer viable la reutilización del efluente de la EDAR en el riego de un campo de golf.

4.2. Viabilidad legal.

En resumen, las opciones técnicas antes mencionadas podrían llevarse a cabo legalmente, siempre que cumplan con las normativas sobre la reutilización de aguas residuales urbanas.

A continuación se analiza la legislación sobre la reutilización de aguas residuales en España.

4.2.1. MARCO LEGAL EN ESPAÑA RESPECTO A LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.

La legislación en España aplicable a la reutilización de aguas residuales se

caracteriza por una ausencia de normativas que trate todos los aspectos relacionados con ella, aunque existen unos antecedentes legales de tan alto rango como la *Ley de Aguas*, cuyos preceptos condicionarán el contenido de la futura normativa. De hecho, existe una comisión interministerial que trabaja en la redacción de nuevas normas aplicables a la reutilización de las aguas residuales, basándose principalmente en las reglamentaciones de la USEPA (United States Environmental Protection Agency) y la OMS (Organización Mundial de la Salud), con las que se pueden establecer dos direcciones de trabajo diferentes:

- La adopción para los programas de reutilización *existentes* de una normativa similar a la propuesta por la OMS.
- La adopción para los programas *futuros* de reutilización de normas similares a las propuestas por la USEPA.

El marco de la reutilización de aguas residuales es, como ya se ha indicado, un aspecto aún por desarrollar en la *Ley de Aguas de 1985* (Ley 29/1985, de 2 de Agosto, de Aguas, *B.O.E.*, nº 189/1985). De hecho, se optó por remitir al desarrollo reglamentario, el establecimiento de las condiciones básicas para la reutilización directa de las aguas residuales depuradas, en función de los procesos de depuración, su calidad y los usos previstos. Debe ser pues el Gobierno, mediante Real Decreto, quien fije las condiciones básicas.

Se han padecido importantes sequías pero aún no se ha dictado, ni por el Gobierno del Estado ni por los Gobiernos de las Comunidades Autónomas con competencias en la materia, el necesario desarrollo de esta importantísima cuestión. Pero si se tienen en cuenta los datos anteriormente presentados respecto al consumo de aguas por parte de la agricultura, aún se entiende menos, dado que el riego agrícola es uno de los principales destinos de las aguas regeneradas (*López-Vivié, 1997*).

La Ley de Aguas dedica a la reutilización el artículo 101 únicamente. De este precepto se pueden extraer las siguientes consecuencias:

- Las condiciones básicas para la reutilización son competencias del Gobierno del Estado.
- El Gobierno debe regular: a) los procesos de depuración a que deben someterse las aguas destinadas a reutilización, (b) la calidad resultante de su efluente, y (c) los usos a los que se destine el nuevo recurso. Sin embargo, no responde a las necesidades planteadas, en muchas ocasiones, por los denominados caudales ecológicos.
- La reutilización de aguas residuales depuradas está necesariamente sujeta a una concesión administrativa.

El *Reglamento del Dominio Público Hidráulico* (RD 849/86) desarrolla el precepto legal y dedica a ello dos artículos, el 272 y 273.

El *artículo 272* posee cinco párrafos, el primero de los cuales reproduce el *artículo 101*. En el párrafo segundo se define la reutilización directa como la reutilización de aquellas aguas, que habiéndose reutilizado por quien las derivó, y antes de su devolución a los cauces públicos, son aplicadas a otros usos. El párrafo tercero insiste en la obligatoriedad de la concesión administrativa. El párrafo cuarto contiene la primera de las condiciones básicas dictadas por el Gobierno, consistente en que todos los supuestos, sin excepción, de reutilización directa estarán sujetos a informe vinculante de la autoridad sanitaria. El párrafo quinto prohíbe la reutilización directa de aguas residuales regeneradas para el abastecimiento, excepto en casos de emergencia, y sólo con el beneplácito de la autoridad sanitaria (*López-Vivié, 1997*).

En cuanto a la recarga de las aguas subterráneas, existe una cierta complejidad, dado que incurren diferentes aspectos como son el tratamiento, el vertido y la reutilización. En España, la recarga de acuíferos con aguas residuales se considera como un vertido al Dominio Público Hidráulico, y no como una práctica de reutilización, según se recoge en la *Ley de Aguas*

29/1985 y en posteriores desarrollos recogidos en el *Real Decreto 849/1986*, y como tal vertido debe ser autorizado. Todas las aguas son públicas, y la gestión estatal de los recursos hidráulicos está organizada por cuencas hidrográficas; los respectivos Planes Hidrológicos están aún pendientes de desarrollo legislativo, y serán los encargados de establecer las directrices básicas para llevar a cabo la recarga con aguas residuales.

El modelo legal parece tender hacia la existencia de una calidad mínima de las aguas de recarga, progresivamente mejorada según los objetivos de calidad previstos para los diferentes medios hídricos receptores. Mientras tanto, la recarga con aguas residuales urbanas necesita de un informe hidrogeológico favorable, y en los casos de posible afectación a la salud o a ecosistemas naturales, de los pertinentes informes sanitarios y medio-ambientales. Sin embargo, la recarga de acuíferos con agua residual regenerada está aún pendiente de algunos avances (*Castillo, 1997*).

El proyecto del *Plan Hidrológico Nacional* desarrollado durante la década de los ochenta preveía la reutilización de aguas residuales, sin embargo, no respondía a las expectativas creadas en las zonas más necesitadas. Actualmente, el tema parece tomar más interés en cuanto que se ha creado un Ministerio de Medio Ambiente que está dispuesto a aumentar la cantidad de agua regenerada y reutilizada mediante la anunciada aprobación del tan traído Plan Hidrológico Nacional (*Angelakis et al., 1997*).

Sin embargo, son empresas privadas las que en la actualidad están desarrollando programas de investigación y desarrollo en colaboración con Departamentos y grupos de investigación de distintas Universidades españolas. Estos investigan principalmente en el tratamiento terciario avanzado, en tratamientos naturales y en reglamentación

La estructura administrativa de España en Comunidades Autónomas con competencias sanitarias transferidas en muchos casos, puede introducir situaciones diferenciales, en la que se establecen normativas sanitarias específicas, como es el caso de Andalucía.

En esta Comunidad un grupo de expertos bajo el amparo de la *Consejería de Salud de la Junta de Andalucía* (*Consejería de Salud, 1994*) ha adoptado un modelo similar al de la legislación francesa y las directrices de la OMS de 1989. Las aplicaciones de reutilización consideradas por este grupo de expertos se clasificaron en las siguientes cinco categorías: a) agrícola y forestal, b) municipal, c) industrial, d) acuicultura, y e) turístico-recreativa. En cada una de ellas se hizo la correspondiente subdivisión por usos, hasta once en total. Para cada tipo de uso en concreto se establece un estándar de calidad mínimo, basado en contenido de nematodos intestinales y de coliformes fecales. En total se proponen siete tipos de estándares de calidad diferentes. Como complemento de la regulación, se contemplan una serie de consideraciones generales, y otras particulares de aplicación a reutilizaciones específicas.

Estas directrices han sido publicadas con el título: “*Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas*” (*Consejería de Salud, 1994*). En la *Tabla 3.6 (Capítulo 3)* quedan recogidos los usos, estándares de calidad y tratamientos indicados para las aguas residuales según los criterios adoptados en Andalucía (*Castillo et al., 1994*).

- Aplicaciones para las cuales la reutilización está prohibida o excepcionalmente permitida por motivos de salud pública: abastecimiento potables o no potables; limpieza; calefacción o refrigeración urbanas; limpieza de edificios urbanos; limpieza de materiales de transporte.
- Otras aplicaciones de reutilización que no están consideradas, en el contexto de impacto sobre la salud pública: aplicación sobre el terreno, recarga de acuíferos y lavado de suelos salinos.
- En el número de nematodos intestinales (número de huevos viables) el 95% de las muestras no debe superar el valor límite. Para los

coliformes fecales no se debe superar el valor límite en el 90% de las muestras.

4.2.2. LEGISLACIÓN CONTEMPLADA.

Para la realización de este proyecto se contemplan las siguientes directrices que se detallan en el capítulo 3 del presente proyecto:

- Directrices para evaluar la calidad del agua de riego prácticas y utilizables para el riego agrícola y de jardinería en California (Mujeriego .R.,1990).
- Directriz del estado de Texas que contempla la practica del riego de un campo de golf con agua regenerada.
- Directrices publicadas por la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía con el título “Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas” (Consejería de Salud, 1994),

En definitiva, mediante el tratamiento terciario de ozonización se va a obtener un efluente que cumple las directrices anteriores, garantizando la viabilidad legal del proyecto.

4.3. Viabilidad económica.

La viabilidad económica de este proyecto se fundamenta en dos aspectos fundamentales. En primer lugar se debe considerar el beneficio económico que supone la reutilización de aguas residuales y por otro lado el beneficio económico que genera un campo de golf a través del turismo, en una zona como es el litoral andaluz donde el turismo es el motor de la economía.

Desde el punto de vista económico la reutilización de aguas residuales tiene los siguientes beneficios:

- El aplazamiento, la reducción o incluso la supresión de instalaciones adicionales de tratamiento de agua de abastecimiento, con la consiguiente reducción que ello representa tanto de los efectos desfavorables sobre los cursos naturales de agua como de los costes de abastecimiento de agua. El creciente consumo de agua asociado al desarrollo urbano plantea la necesidad de desarrollar nuevas fuentes de abastecimiento para atender la demanda. El considerable nivel de regulación de caudales, la necesidad de recurrir a fuentes de abastecimiento cada vez más alejadas del punto de utilización, los enormes costes económicos y sociales que la construcción de nuevos embalses lleva consigo, y la imposibilidad política o ambiental de construir tales embalses han llevado a plantear la reutilización de agua residual como una fuente alternativa de recursos hidráulicos adicionales.
- Un ahorro energético, al evitar la necesidad de aportes adicionales de agua desde zonas más alejadas a la que se encuentra la planta de regeneración de agua. Los costes de aducción del agua regenerada desde la planta de tratamiento hasta el punto de reutilización constituyen uno de los componentes esenciales del análisis económico de cualquier proyecto de reutilización. No obstante, este condicionante es también aplicable a cualquier fuente de abastecimiento y constituye con frecuencia uno de los elementos determinantes de las inversiones exigidas por los nuevos proyectos de abastecimiento.
- Un aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en el agua, especialmente cuando el agua regenerada se utiliza para riego agrícola y de jardinería. El nitrógeno, tanto orgánico como amoniacal, y el fósforo, tanto orgánico como ortofosfato, confieren un poder fertilizante real al agua regenerada cuando ésta se utiliza para regar. La forma continuada

en que estos elementos son aportados por el agua de riego y su capacidad de asimilación directa por las plantas hace que un agua residual regenerada pueda tener un valor económico adicional para el usuario.

- Una mayor fiabilidad y regularidad del caudal de agua disponible. Los caudales de agua residual siguen una evolución diaria y estacional similar a la de los caudales de agua de consumo público. Teniendo en cuenta el carácter permanente del abastecimiento público, incluso en las situaciones de emergencia que suelen acompañar a períodos de intensas sequías, el flujo de agua residual es generalmente mucho más fiable que el de la mayoría de los cauces naturales de agua.

Capítulo 5. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA DE UN CAMPO DE GOLF.

En el proyecto la reutilización va dirigida al riego de un campo de golf hipotético de nueva construcción, por lo que es necesario conocer las necesidades de agua de dicho campo para saber el caudal de agua residual que necesitamos tratar para el riego.

5.1. Introducción.

En los países desarrollados, el Golf se ha convertido en un deporte que arrastra cada día a más aficionados, ocupando gran parte de sus horas de ocio. En la actualidad, el número de españoles que juegan al golf es tres veces mayor que el de hace diez años, y seguirá creciendo. En cuanto a los extranjeros, cada vez son más los que buscan en nuestra región una segunda residencia ligada a un campo de golf. La mayor parte son del Reino Unido, Holanda y países escandinavos.

En España, Andalucía y Cataluña son las Comunidades Autónomas con más campos de golf, en total tienen alrededor de 115. En Andalucía una gran cantidad de municipios (los del interior disponen de mayor cantidad de suelo), tienen peticiones para construir urbanizaciones con campos de golf, que posiblemente se resolverán en los próximos años. Destaca el fuerte crecimiento del deporte del golf en Andalucía y en especial en su litoral, y su papel en la potenciación del turismo para transformar su carácter estacional en turismo estable durante los meses de invierno.

En general, cuando hablamos de campos de golf de una manera informal, aparecen una serie de tópicos que no siempre se corresponden con la realidad. Uno de ellos es la cantidad y calidad del agua que consumen. La normativa impide crear nuevos suministros de agua para los campos de golf y regarlos con aguas que no sean residuales.

Los actuales campos ya están diseñados con la mirada puesta en el ahorro de la mayor cantidad de agua posible, y ello se sustenta fundamentalmente en la mejora de las infraestructuras del propio campo (sustratos, drenajes, diseño del riego etc.), y en el uso de variedades de céspedes con bajo consumo de agua.

Este capítulo tiene como finalidad calcular, con criterios técnicos, las necesidades de agua para un buen desarrollo de un campo de golf, sin entrar a valorar el agua que dicho campo utilice para otros menesteres.

En los nuevos campos de golf ya se utilizan especies y variedades de gramíneas de bajo consumo de agua y cuyas raíces tienen una gran capacidad exploradora y reptante. Estas especies ocupan la mayor parte de la zona regada del campo, es decir, las calles y sus alrededores. Solamente se emplean especies de alto consumo en áreas reducidas, que por sus peculiaridades necesitan de una alfombra tupida y suave, es decir, en los hoyos y en las salidas. Por último, el resto del campo no se riega, y está cubierto por la flora espontánea autóctona, que se mantiene con una precipitación media de 300 mm al año.

5.2. Superficie ocupada.

Existen distintos diseños de campos de golf, no obstante el más tradicional, y el que se ha considerado, es un campo de 18 hoyos, con un par 72. Este tipo de campo es el más popular y el que tiene mejor balance de hoyos, permitiendo que se den toda clase de situaciones. Ocupa aproximadamente unas 55 hectáreas, que se distribuyen de la siguiente manera:

NOMBRE	ZONA	ALTURA DEL CESPED (mm)	%SUPERFICIE QUE OCUPA	TOTAL DE SUPERFICIE (Has)
Greens	Hoyos	3 a 5	2,7	1,5
Antegreens	Alrededores hoyos	6 a 15	4,6	2,5
Tees	Salidas	6 a 15	1	0,6
Fairways	Calles	10 a 20	31	17
Rough	Alrededores calles	30 a 50 ó más	23,6	13
Outrough	Envolvente de calles y sus alrededores	Flora espontánea (no se riega)	37,1	20,4
Total			100	55

5.3. Datos para la obtención de las necesidades de agua.

Las necesidades de agua se obtienen mediante la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), que a su vez se basa en la evapotranspiración de referencia (ET_o), calculada por el método de Penman-Montheith, y en el coeficiente de cultivo (K_c), de acuerdo con la ecuación:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Para la obtención de la ETo anual se utilizan los datos de la estación agrometeorológica de Conil de la Frontera, que es el municipio donde se encontrará el campo de golf. De la misma estación se obtienen los datos de la precipitación anual. Se han analizado los datos de precipitación y evapotranspiración de varios años y se han tomado los datos del año con las condiciones más desfavorables (2005), es decir el año donde la diferencia entre la precipitación anual y la evapotranspiración es mayor y en consecuencia las necesidades de riego son mayores. Este estudio se recoge en el *anexo nº 2*.

Los coeficientes de cultivo empleados (Kc) están asociados a las distintas especies cespitosas del campo, a sus requerimientos hídricos, a su altura media (antes y después de la siega), y a condiciones de vientos moderados. A continuación se recogen los valores de ETo y ETc considerados para el cálculo de las necesidades de agua del campo de golf:

ZONA	Gramínea cespitosa	ETo anual (mm)	Kc	ETc anual (mm)	Superficie Ha.
Greens	Agrostis stolonifera 100%	1275	0,9	1147,5	1,5
Antegreens	Agrostis stolonifera 100%	1275	0,9	1147,5	2,5
Tees	Agrostis stolonifera 100%	1275	0,9	1147,5	0,6
Fairways	Cynodon dactilon Princess 80%, Lolium perenne 20%	1275	0,6	765	17
Rough	Cynodon dactilon Princess 80%, Lolium perenne 20% (sin siega)	1275	0,4	510	13
Outrough	Flora espontánea autóctona (no se riega)				20,4

Además de la ETc anual se deben considerar otros factores para el cálculo de las necesidades de riego, como son: la precipitación efectiva, las eficiencias de uniformidad, percolación y salinidad, que se expresan en los apartados siguientes.

5.4. Necesidades netas (N_N).

Las necesidades netas de regadío es la diferencia entre la evapotranspiración anual del cultivo menos la precipitación efectiva anual.

Para el cálculo de la precipitación efectiva anual se acude, como se ha mencionado anteriormente, a los datos de la estación agrometeorológica de Conil de la Frontera. A partir de los datos de la precipitación diaria, obtenidos durante varios años, se ha tomado la condición más desfavorable, es decir el año de mayor sequía. De esta forma el valor de precipitación anual que tenemos es de **265,2** mm.

A continuación se calcula la necesidad neta de riego:

ZONA	ETc anual (mm)	Precipitación anual (mm)	Necesidades netas (mm)	Necesidades netas (m³/ha)
Greens	1147,5	265,2	882,3	8823
Antegreens	1147,5	265,2	882,3	8823
Tees	1147,5	265,2	882,3	8823
Fairways	765	265,2	499,8	4998
Rough	510	265,2	244,8	2448

5.5. Necesidades totales.

Además de las necesidades netas, hay otras cantidades de agua que son necesarias adicionar para compensar las pérdidas producidas por las condiciones en que se desarrolla el cultivo. Estas pérdidas se producen por percolación, uniformidad en el reparto del agua y lavado de sales.

a) Eficiencia de precolación (Efp).

Las pérdidas de agua por percolación fuera del alcance radicular son mínimas, debido, por un lado, a que los riegos se hacen con caudales no elevados y con alta frecuencia, y por otro, a que el suelo es franco-arcilloso y el pisado diario de las máquinas de siega y de las personas que caminan por él lo compacta considerablemente, lo que dificulta la infiltración y posterior percolación. Por ello las pérdidas de este apartado no se tiene en cuenta.

b) Eficiencia de uniformidad (Efu).

La falta de uniformidad de aplicación es debida a que la descarga de los aspersores no reparte exactamente por igual el agua de riego. Se debe garantizar que todas las plantas reciben la misma cantidad de agua y para compensar estas diferencias se debe aportar cantidades adicionales de agua. En un clima templado como el nuestro y en condiciones de vientos moderados hemos estimado un coeficiente de uniformidad (Efu) de **0,75**.

c) Eficiencia por salinidad.

Cuando se utilizan aguas salinas, se deben aportar cantidades adicionales de agua para desplazar y lavar las sales que pudieran acumularse en la zona radicular. La expresión por la que se calcula este coeficiente es: **1-RL**, en donde RL es igual a la conductividad del agua de riego que estamos utilizando, dividido por 2 veces la máxima conductividad del extracto de saturación, para

una pérdida total de producción, que según la FAO es de 23 dS/m para el césped bermuda (cynodon dactilon). El efluente secundario de la EDAR no tiene una salinidad excesiva (1,3 dS/m) no obstante, se calcula la eficiencia de la salinidad:

$$1 - [1.3 / (2 \times 23)] = 0,97$$

5.6. Cálculo de las necesidades totales.

En este caso y dado que no se tiene en cuenta la eficiencia por percolación, las necesidades totales son las que resultan de aplicar la siguiente expresión:

$$N_t = N_n / (E_f_u \times E_f_s)$$

$$E_f_u = 0,75 ; E_f_s = 0,97$$

ZONA	Superficie Ha.	Necesidades netas(m ³ /ha)	Necesidades totales(m ³ /ha)	Necesidades Agua (m ³ /año)
Greens	1.5	8823	12127,8	18191,7
Antegreens	2.5	8823	12127,8	30319,5
Tees	0.6	8823	12127,8	7276,7
Fairways	17	4998	6870,1	116791,7
Rough	13	2448	3364,9	43743,7
TOTAL	34.6			216323.3

En definitiva el campo de golf considerado necesita un aporte de agua **216323 m³** al año Lo que significa que el caudal necesario es de 25 m³/h.

5.7. Consideraciones sobre el riego de campos de golf con aguas regeneradas.

En el caso de que la aplicación del agua regenerada se conozca previamente a la construcción del campo, es posible realizar una serie de actuaciones que permitirán un mejor uso del recurso. Estas actuaciones son:

- 1) Adecuar el sistema de lagunaje para obtener un tipo de circulación del agua y unos tiempos de residencia variables en función de la época del año y del tipo de agua regenerada que se emplee.
- 2) Instalar un sistema de riego que permita un elevado nivel de control y una programación del riego. Emplear turbinas o rotores que sean adecuados.
- 3) Incluir sectorizaciones en el diseño del riego que anulen los riegos de los bunkers por aspersores que deban regar greens o tees, reduciéndose de esta manera los aportes innecesarios de fertilizantes, que actúan como favorecedores del crecimiento de malezas adventicias en ellos, causan la colmatación de drenajes y favorecen la proliferación de microalgas en la arena.
- 4) Incorporar un nivel de moldeo superficial en el campo que permita la evacuación óptima del agua excedente. Instalación de drenajes y sumideros en los puntos donde sea necesario.
- 5) Selección de especies adecuadas para tolerar las condiciones especiales de cultivo que se crearán dadas las características del agua regenerada.

Capítulo 6. TRATAMIENTO PREVIO A LA OZONIZACIÓN : FILTRACIÓN.

Antes del tratamiento terciario de ozonización se somete al efluente de la EDAR a una filtración previa. De esta forma se mejora el proceso de ozonización, se obtienen mejores resultados en la desinfección y la dosis de ozono que hay que aplicar es menor.

Por lo común, los efluentes secundarios contienen de 5 a 30 mg/l de MES. Para una desinfección rigurosa del efluente secundario la turbiedad y los sólidos suspendidos deben ser reducidos para evitar que los organismos patógenos e indicadores se escuden en estos sólidos. En el caso de la ozonización la demanda inicial de ozono aumenta cuanto mayor es la cantidad de sólidos en suspensión debido a la oxidación de estos mediante el ozono. De esta forma, si se disminuye el contenido en sólidos en suspensión se puede optimizar la desinfección mediante ozono, reduciendo la demanda inicial de ozono y favoreciendo un mayor efecto del ozono sobre los microorganismos. Además, cuanto menor sea la demanda inicial de ozono menor será la dosis necesaria de ozono para alcanzar un determinado nivel de desinfección, por lo que se disminuye el coste del proceso de ozonización. Actualmente, el proceso más utilizado para remover los sólidos en suspensión residuales del efluente tratado es la filtración. “La ozonización, detrás de un proceso de filtración, permite reducir la dosis necesaria de ozono, y mejora evidentemente su eficacia” (Hernández Muñoz, A., “Depuración y desinfección de aguas residuales”).

6.1. Descripción del proceso de filtración.

Durante la filtración, el agua residual que contiene material suspendido se aplica sobre la parte superior del lecho del filtro. A medida que el agua pasa por el medio granular, el material suspendido presente en el agua residual es

removido por una variedad de mecanismos, incluyendo remoción mecánica por colado, impacto, interceptación, adsorción, floculación y sedimentación. Con el paso del tiempo, a medida que el material se acumula en el medio granular, la pérdida de carga a lo largo del filtro empieza a volverse importante con respecto al valor inicial. Después de un periodo de tiempo, la pérdida de carga operacional o la turbiedad del afluente alcanzan un valor predeterminado, y el filtro debe lavarse. Preferiblemente, el tiempo requerido para alcanzar estos valores terminales debe corresponder con el tiempo en que los sólidos suspendidos en el efluente alcancen un valor terminal preseleccionado para lograr una calidad aceptable.

Los principales mecanismos que se cree contribuyen a la remoción del material dentro de un filtro de medio granular o sintético están identificados y descritos en la tabla 6.1. El colado ha sido identificado como el principal mecanismo operativo en la remoción de sólidos suspendidos durante la filtración de un efluente secundario proveniente de tratamientos biológicos.

Cuando se alcanza la pérdida de carga terminal o los valores límites de calidad del efluente, es necesario lavar el filtro. La mayoría de los filtros de medio granular se lavan cambiando el sentido del flujo a través del lecho del filtro. El agua de lavado es bombeada a través del lecho del filtro a una tasa suficiente para expandir parcialmente el lecho, haciendo que las partículas atrapadas en el lecho del filtro rocen unas con otras. La materia suspendida que se encuentra atrapada en el filtro es removida por las fuerzas cortantes creadas por el agua de retrolavado a medida que se mueve a través del lecho.

Tabla 6.1. Principales mecanismos que contribuyen a la remoción de material de un filtro.

Mecanismo		Descripción	
1. Colado	a. Mecánico	Partículas mayores que el espacio del medio filtrante son coladas mecánicamente.	
	b. Contacto ocasional	Partículas menores que el espacio de poros son atrapadas dentro del filtro por contacto ocasional.	
2.Sedimentación		Las partículas se sedimentan en el medio filtrante dentro del filtro.	
3. Impacto		Las partículas pesadas no seguirán la línea del filtro.	
4. Interceptación		Muchas partículas que se mueven a lo largo de las líneas de flujo son removidas cuando entran en contacto con la superficie del medio filtrante.	
5. Adhesión		Las partículas se adhieren a la superficie del medio filtrante a medida que pasan. Debido a la fuerza del agua que fluye, algunos materiales son cortados antes de adherirse y son empujados hacia el lecho del filtro. A medida que el lecho se obstruye, la fuerza cortante superficial aumenta a un punto en el cual no se remueve más material. Algún material puede pasar el fondo del filtro, causando la apariencia de turbiedad en el efluente.	
6.Floculación		Las grandes partículas toman las más pequeñas y se unen a ellas, formando partículas mas grandes. Estas partículas son retiradas por los diferentes mecanismos, de remoción.	
7.Adsorción química	a. Unión	Una vez una partícula ha hecho contacto con la superficie del medio filtrante o con otras partículas, alguno de estos dos mecanismos, o ambos, será el responsable de mantenerlas allí.	
	b. Interacción química		
8. Adsorción física	a. Fuerzas electrostáticas		
	b. Fuerzas electrocinéticas		
	c. Fuerzas de Van Der Waals		
9. Crecimiento biológico			El crecimiento biológico dentro del filtro reducirá el volumen de poros y realzara la remoción de las partículas con alguno de los mecanismos (1 a 5)

6.2. Tipos de filtros.

Existe un gran número de tecnologías disponibles para la filtración de aguas residuales tratadas. Los filtros pueden ser clasificados en términos de su operación como semicontinuos o continuos. Dentro de estas dos clasificaciones existen diferentes tipos de filtros dependiendo de la profundidad del lecho (por ejemplo, pando, convencional y profundo), del tipo de medio filtrante (único, dual y medio múltiple), de si el medio filtrante es estratificado o no, del tipo de operación (flujo descendente o ascendente), y del método utilizado para la manipulación de sólidos (por ejemplo, almacenamiento superficial o interno). Para los filtros semicontinuos de medios únicos y dual se hace otra clasificación basada en la fuerza conductora (por ejemplo, la gravedad o la presión). Los tipos de filtros que a continuación se describen son los que comúnmente se usan para el tratamiento de aguas residuales.

6.2.1 FILTROS CONVENCIONALES DE FLUJO DESCENDENTE O FILTROS RÁPIDOS.

Materiales para filtros de medio único, dual o múltiple se utilizan en filtros convencionales de flujo descendente. En general, la arena y la antracita son los materiales utilizados en filtros de medio único. Los filtros de medios duales usualmente utilizan una capa de antracita sobre una capa de arena. Otras combinaciones son: carbón activo y arena; resina y arena; y resina y antracita. Los filtros de medio múltiple constan de una capa de antracita sobre una capa de arena, a su vez sobre una capa de granate o ilmenita. Otras combinaciones pueden ser: carbón activo, antracita y arena; granos esféricos pesados de resina, antracita y arena; y carbón activo, arena y granate.

En este tipo de filtros, el medio filtrante está soportado por una capa de grava, la cual, a su vez, descansa en el sistema de drenaje del filtro. El agua que va a ser filtrada entra al filtro desde un canal de entrada.

6.2.2. FILTROS DE LECHO PROFUNDO Y FLUJO DESCENDIENTE O FILTROS LENTOS.

El filtro profundo de flujo descendente es similar al convencional de flujo descendente con la excepción que la profundidad del lecho y el tamaño del medio filtrante (usualmente antracita) son mayores que los de un filtro convencional. Gracias a la mayor profundidad del lecho y el mayor tamaño del medio filtrante, se puede retener mayor cantidad de sólidos en el lecho del filtro y la carrera de este último puede aumentarse.

6.2.3. FILTROS PROFUNDOS DE FLUJO ASCENDENTE Y RETROLAVADO CONTINUO.

En este filtro, el agua residual que va a ser filtrada se introduce por la parte inferior del filtro desde donde fluye hacia la parte superior del mismo a través de una serie de tubos, y es distribuida en igual proporción en el lecho de arena a lo largo del fondo por las boquillas de distribución. Después, el agua fluye hacia arriba a través de una arena que esta sedimentando. El agua filtrada sale del lecho de arena, por canaletas sumergidas, y es evacuada del filtro. Al mismo tiempo, las partículas de arena, junto con los sólidos atrapados, son llevadas hacia abajo por la succión de una tubería inyectora de aire localizada en el centro del filtro. Un volumen pequeño de aire comprimido, que se introduce en la parte inferior de la tubería de succión, conduce la arena, los sólidos y el agua hacia arriba a través del tubo creando un fluido con una densidad menor a 1.

Las impurezas son retiradas de las partículas de arena por la turbulencia que se genera en el flujo ascendente. Al llegar a la parte superior de la inyección de aire, los desechos resultantes de la filtración se riegan en el compartimento central de evacuación, se genera una corriente permanente de agua filtrada hacia arriba en los sólidos y el agua rechazada. Dado que la arena tiene una velocidad de asentamiento mayor que la de los sólidos removidos, no es llevada fuera del filtro sino que se limpia a medida que se mueve hacia abajo en el limpiador. La arena limpia es redistribuida en la parte superior del lecho

de arena, permitiendo un flujo ininterrumpido del agua filtrada y del agua evacuada.

6.2.4. FILTROS DE LECHO PULSANTE.

El filtro de lecho pulsante es un filtro de gravedad de flujo descendente con una capa no estratificada de arena fina como medio filtrante. El lecho pando es usado para el almacenamiento de los sólidos, a diferencia de otros filtros de lecho pando donde los sólidos se almacenan principalmente en la superficie de la arena. Una característica inusual de este filtro es el uso de un pulso de aire para romper la superficie de arena y permitir la penetración de los sólidos suspendidos al lecho. El proceso del pulso de aire implica la inyección de un volumen de aire en el sistema de drenaje, a lo largo del lecho pando del filtro para romper la capa de sólidos y renovar la superficie de arena. Cuando la capa de sólidos se revuelve, parte del material atrapado se suspende en la mezcla sobre la arena, pero la mayor parte de los sólidos quedan atrapados en el filtro. El pulso de aire intermitente causa un pliegue de la superficie de arena, sumergiendo los sólidos dentro del medio filtrante y regenerando la superficie del lecho del filtro. El pulso continúa operando con el pulso intermitente hasta que se alcanza un valor terminal de pérdida de carga. Después el filtro opera en un ciclo convencional de retrolavado para remover los sólidos de la arena. Se debe tener en cuenta que durante la operación normal, el drenaje del filtro no se inunda como en un filtro convencional.

6.2.5. FILTROS DE MEDIO SINTÉTICO.

Los filtros de medio sintético son recientes en la recuperación de aguas residuales. El filtro de medio sintético, desarrollado y comercializado por Schreiber Corporation, tiene un medio filtrante sintético de alta porosidad desarrollado en Japón. El medio poroso sintético tiene un diámetro de aproximadamente 31 mm. En las pruebas de desplazamiento, la porosidad de un medio cuasi-esférico sin compactar se estima en 88 a 90%, y la porosidad del medio filtrante del lecho del filtro es aproximadamente 94%. Dentro de las características inusuales de este filtro se encuentra el hecho de que la

porosidad del lecho del filtro puede ser modificada mediante la compresión del medio filtrante y que el tamaño del lecho del filtro puede ser aumentado mecánicamente para hacer el retrolavado del filtro. El medio filtrante es también diferente a los convencionales, ya que el fluido que se va a filtrar corre a través del medio y no alrededor del medio filtrante, como ocurre en los filtros de arena y antracita. Este tipo de filtros se conoce con el nombre de filtro difuso.

En el modo de filtración, el efluente secundario es introducido en la parte baja del filtro. El agua residual fluye hacia arriba a través del medio filtrante, retenido por dos placas porosas, y es descargada por la parte superior del filtro. Para realizar el retrolavado del filtro, la placa porosa superior se levanta mecánicamente. Mientras que el flujo continúa a través del filtro, se introduce aire de manera alterna desde ambos lados del filtro por debajo de la placa porosa, haciendo que el medio filtrante obtenga un movimiento giratorio. El medio filtrante es limpiado por las fuerzas cortantes generadas a medida que el agua residual se mueve por el filtro y por abrasión a medida que el medio filtrante se fricciona. El agua residual que contiene los sólidos removidos del filtro se procesa de nuevo. Para que el filtro vuelva a operar después de que el ciclo de retrolavado se ha completado, la placa porosa que ha sido levantada vuelve a su posición original. Después de un corto ciclo de enjuague, la válvula del afluente se abre, y éste, una vez filtrado, es descargado.

6.2.6. FILTRO DE PUENTE MÓVIL.

Los filtros de puente móvil son de flujo descendente continuo, retrolavado automático y de baja carga. El lecho del filtro se divide horizontalmente en largas celdas independientes, cada una de las cuales contiene aproximadamente 279 mm de medio filtrante. El agua residual fluye a través del medio por gravedad y sale al pozo de aguas claras a través de una placa porosa de polietileno. Cada celda es retrolavada por un puente móvil ensamblado en la parte superior, mientras que las otras celdas permanecen en servicio. El agua de lavado se bombea directamente del pozo de agua limpia a través del medio filtrante y se deposita en las canaletas de lavado. Durante el ciclo de retrolavado, el agua residual es filtrada de manera permanente a través

de las celdas que no están siendo retrolavadas. El sistema de retrolavado incluye una bomba para lavado superficial que ayuda a romper el manto superficial y las bolas de barro en el medio filtrante.

6.2.7. FILTRO DE PRESIÓN.

Su fundamento es el mismo que el de los filtros de gravedad y se diferencian en que la arena filtrante suele estar colocada en cilindros de acero, verticales u horizontales, capaces de resistir presiones hidráulicas de hasta 10 atmósferas. Los caudales de filtración son el orden de $125 \text{ l/m}^2 \text{ min}$. Como ventajas hay que señalar que necesitan menos superficie que los de gravedad y como inconveniente, la dificultad de aplicación de reactivos a presión, el que ni el lecho filtrante ni el agua filtrada sean visibles, así como que tampoco pueda observarse la operación de lavado.

En la tabla 6.2 se presentan las principales ventajas e inconvenientes de los principales filtros.

Tabla 6.2. Ventajas y desventajas de los distintos tipos de filtros.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Filtros de flujo ascendente	
1. Dan mejor resultado en filtración de contacto que los filtros descendentes. 2. Su eficiencia no está influenciada por el peso del floculo. Esto resulta útil en agua con baja turbiedad y alto color que requieren la adición de altas dosis de coagulantes.	1. Lecho filtrante muy profundo, con lo que se dificulta el lavado y aumentan los costos de construcción. 2. El lavado se hace en el mismo sentido que el filtrado. 3. El primer filtrado resulta bastante turbio y hay que arrojarlo al desagüe. Este periodo de relavado, gasta más agua que los filtros descendentes. 4. Requiere un sistema de drenaje a prueba de estancamiento.
Filtros lentos de flujo descendente.	
1. La ventaja más destacable de este tipo de filtros es su simplicidad, de manera que resulta muy confiable a zonas rurales en vías de desarrollo. 2. Los sistemas de control resultan bastante sencillos. 3. Requiere poca mano de obra. 4. Requiere poca destreza en la operación. 5. Inversión de capital relativamente baja.	1. Alto costo de construcción. 2. Ocupan mayor superficie que los filtros rápidos.
Filtros rápidos de flujo descendente	
1. Permiten tratar un mayor caudal que con la filtración lenta. 2. Menor costo de construcción que los filtros lentos. 3. Ocupan menor área que los filtros lentos. 4. Se consigue un efluente con menor turbiedad que otros filtros.	1. Necesitan un cuidadoso pretratamiento del agua antes de la filtración. 2. Requiere mayor cantidad de agua para lavado que los filtros lentos.

A continuación, en la tabla 6.3, se comparan las características de los principales filtros:

Tabla 6.3. Comparación de los principales tipos de filtros.

Características	Filtro rapido con lecho mixto (arena y antracita)	Filtro rapido con lecho simple.	Filtro lento con lecho simple.
<i>Carga superficial de filtración (m³/m²d)</i>	235-590	87.5-176	7-14
<i>Profundidad del lecho filtrante</i>	30-40 cm de grava 45-60 cm de antracita 15-30 cm de arena	30-45 cm de grava 60-75 cm de arena	30 cm de grava 90-110 cm de arena
<i>Perdida de carga</i>	20cm a 2,70 m	30cm a 2,70 m	16 cm a 1,20 m
<i>Tiempo entre limpiezas</i>	12-48 horas	24-48-72 horas	20-30-60 dias
<i>Cantidad de agua usada en el lavado</i>	1-3% del agua filtrada	1-6% del agua filtrada	0,2-0,6% del agua filtrada
<i>Costo de construcción</i>	Mas bajo que el de los filtros rápidos de arena	Mas bajos que el de los filtros lentos	Alto
<i>Costo de operación</i>	Igual al de los filtros rápidos de arena	Mas alto que el de los filtros lentos	bajo
<i>Área ocupada por los filtros</i>	½ a 1/5 de la de los filtros rápidos de arena	Menor que el de los filtros lentos	Mas grande que la de los filtros rapoidos de arena(aprox. 12 veces mayor)
<i>Turbiedad del afluente</i>	< 10 UT 80% del tiempo	< 5 UT 80% del tiempo	<20 UT 80% del tiempo

Capítulo 7. GENERACIÓN DE OZONO.

7.1. Introducción.

La generación de ozono es un proceso afianzado, pero su uso en la desinfección de agua residual es relativamente nuevo.

El ozono puede generarse a partir de las siguientes energías: eléctrica, fotoquímica, radioquímica, electroquímica y térmica.

El método que en la actualidad se utiliza para producir ozono es el de descargas eléctricas, que se obtienen aplicando una corriente alterna de alta tensión a dos electrodos entre los cuáles se sitúa un dieléctrico que, junto con el electrodo de tierra, delimita el espacio real de descarga. A través de este espacio fluye el gas portador de oxígeno, generando ozono.

La concentración de ozono obtenida es proporcional a la intensidad de la descarga eléctrica, y suele ser del orden de 10-30 g/m³, aproximadamente el 2.4 % en peso y el 1.4% en volumen.

7.2. Teoría de la generación de ozono.

La energía eléctrica utilizada para la generación de ozono es recibida por un regulador de voltaje, y en algunos generadores también es utilizado un regulador de frecuencia. La corriente alterna es suministrada a las celdas de generación de ozono conectadas en paralelo. Como se muestra en la figura 7.1. Cada celda actúa como un condensador, como ilustra la figura 7.2. La capacidad de la celda es función del ancho del espacio del gas y de la conductividad eléctrica del material dieléctrico. Dado que el material dieléctrico es el mayor componente de la celda, a las celdas de generación de ozono se les suele llamar "dieléctricos".

Figura 7.1.

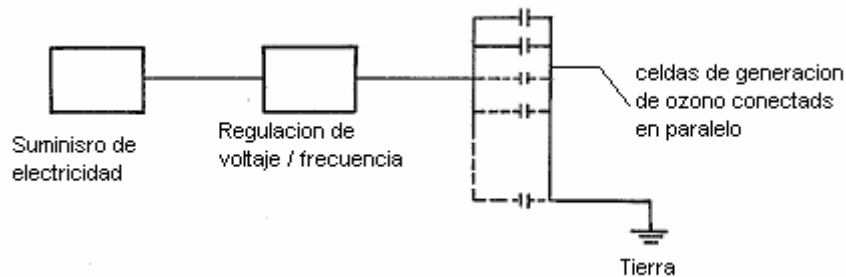
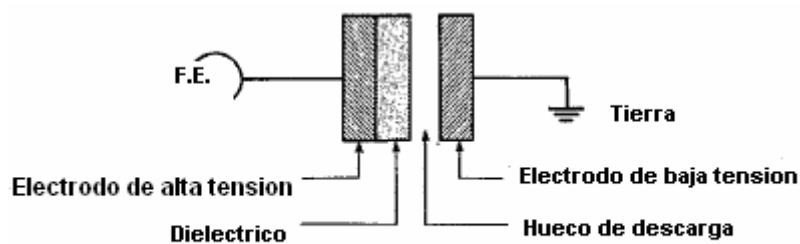


Figura 7.2.



El ozono es producido cuando se alcanza el potencial de ionización del dieléctrico. Las características del sistema eléctrico antes y después de alcanzarse el potencial de ionización son distintas. Antes de que el dieléctrico alcance su potencial de ionización el voltaje no es suficiente para que se produzca la descarga eléctrica, cuando se alcanza dicho potencial se produce un flujo de electrones que cruza el hueco de descarga cerrándose el circuito eléctrico. El voltaje mínimo para alcanzar el potencial de ionización de un dieléctrico es aproximadamente de unos 10.000 voltios.

Cuando el voltaje es mayor que el potencial de ionización del dieléctrico los electrones viajan de un electrodo a otro dentro del hueco de descarga y colisionan con las moléculas de oxígeno en su camino, produciéndose la

reacción que da lugar a la formación del ozono. El número de moléculas de ozono formadas puede variar desde ninguna a un máximo de dos por cada electrón descargado, y va a depender en gran medida de la temperatura del gas. A temperaturas altas el ozono se descompone a oxígeno rápidamente por lo que es muy importante para el diseño de un sistema de generación de ozono la refrigeración del generador.

Para la generación de ozono debemos utilizar una corriente alterna, así el voltaje es cíclico oscilando por encima y por debajo del potencial de ionización de la celda. La producción de ozono se produce cuando el voltaje es mayor que el potencial de ionización y es interrumpida cuando el ciclo del voltaje está por debajo del potencial de ionización. El tiempo de formación del ozono depende de la frecuencia del suministro eléctrico.

El número de electrones libres descargados es función del voltaje máximo y su frecuencia eléctrica. Si el voltaje máximo es bastante mayor que el potencial de ionización del dieléctrico, el número de electrones que se liberan aumentará proporcionalmente. El resultado es un aumento de la producción de ozono si la temperatura del gas ozonizado es adecuada. De la misma forma si aumenta la frecuencia del suministro de energía el voltaje estará más tiempo por encima del potencial de ionización lo que también incrementa la producción de ozono si se mantiene una temperatura aceptable.

7.3. Consideraciones para el diseño del equipo de generación de ozono.

La cantidad de ozono producida por el generador depende de las características físicas del equipo, del suministro de energía, del contenido de humedad y polvo del gas de alimentación, de la temperatura del gas ozonizado y de la concentración de oxígeno del gas de alimentación. A continuación se describe como influye cada uno de estos factores en la producción de ozono.

7.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL GENERADOR DE OZONO.

La siguiente ecuación muestra la relación entre las características del generador y la producción de ozono:

$$P= 4k f Va [Cd(Vo-Va) - VaCd]$$

Donde:

P= Producción de ozono

Va=Voltaje aplicado al hueco de descarga.

V₀= Valor máximo o pico del voltaje aplicado.

Cd= Capacidad del dieléctrico.

Ca=Capacidad del hueco de descarga.

f = Frecuencia de la corriente suministrada.

k = Constante.

La producción de ozono aumenta al aumentar la frecuencia de la corriente y al aumentar el voltaje. De tal forma que mediante cambios en la frecuencia o en el voltaje podemos ajustar la producción de ozono de un generador. La producción de ozono también aumenta cuanto mayor es el número de dieléctricos en servicio. Gracias a estas relaciones pueden diseñarse generadores para obtener casi cualquier nivel de producción de ozono.

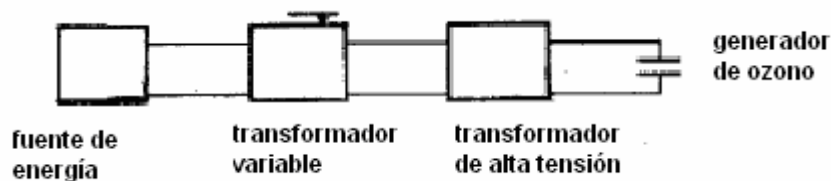
La constante del dieléctrico y el tamaño del hueco de descarga (normalmente de 2 a 3 mm) entre los electrodos de alta y baja tensión también afectan a la cantidad de ozono producido. Estos factores son normalmente definidos por el fabricante para cada generador de ozono. La constante del dieléctrico y anchura del hueco de descarga puede variar ligeramente de generador a generador, aun siendo del mismo fabricante. Un ligero cambio en cualquier parámetro tiene una gran influencia en la cantidad de ozono producida. De tal forma que la producción de ozono puede variar ligeramente para generadores del mismo tamaño y características.

7.3.2. SUMINISTRO DE ENERGÍA AL GENERADOR DE OZONO.

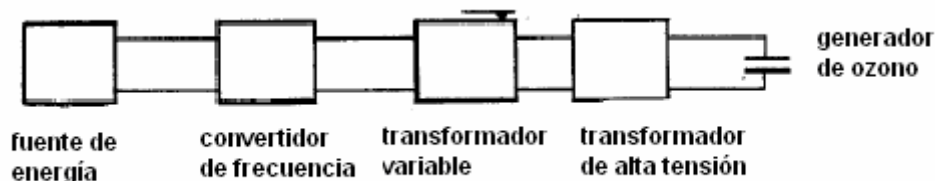
Principalmente hay tres formas de suministrar energía al generador de ozono que se muestran en la figura 7.3. El método A es un sistema de voltaje variable de baja frecuencia (normalmente 60 hertz). El método B es un sistema de voltaje variable de media frecuencia (por encima de 600 hertz) mientras que el método C es un sistema de frecuencia alta y variable con voltaje constante. Ninguno de los tres métodos tiene ventajas importantes respecto los demás.

Fig 7.3. Formas del suministro de energía al generador.

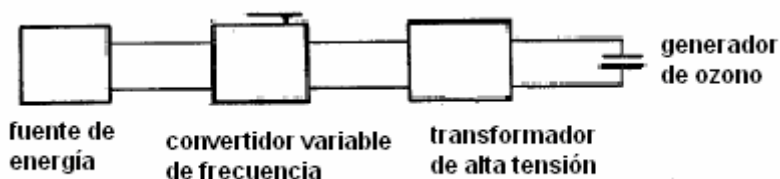
METODO A: Frecuencia baja(60 hertz) constante, voltaje variable.



METODO B: Frecuencia media (600 hertz) constante, voltaje variable.

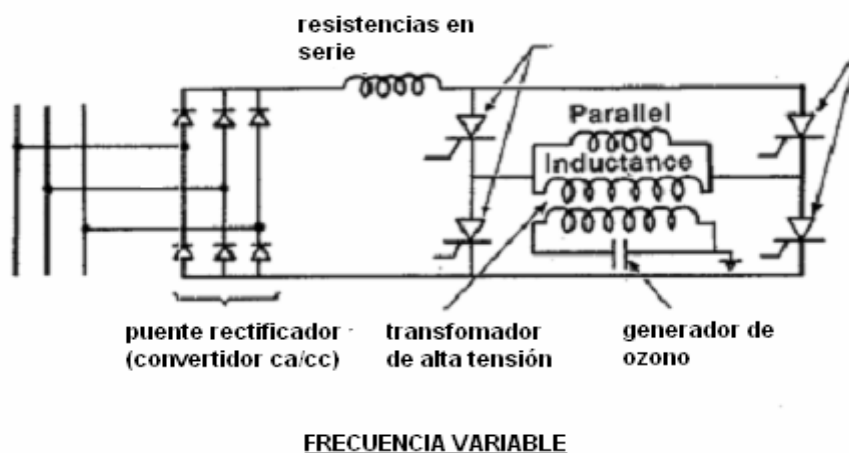
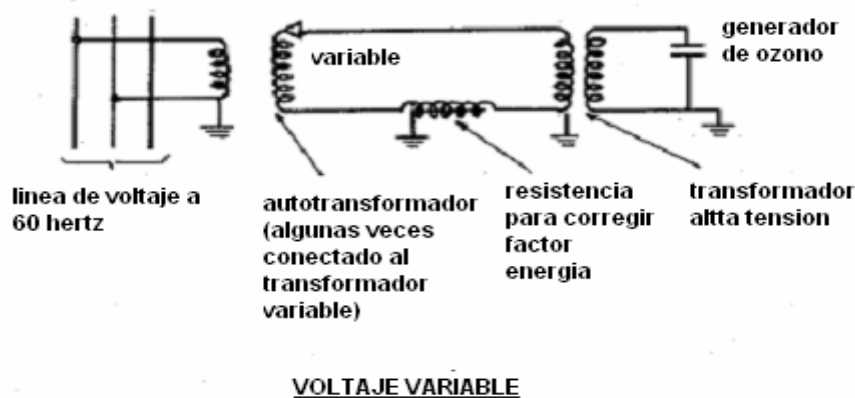


METODO C: Voltaje constante, frecuencia variable.



La forma más común de controlar el voltaje y la frecuencia del generador de ozono se muestra en la figura 7.4. El sistema de control del voltaje es monofásico lo que causará un desequilibrio en el amperaje de un sistema trifásico a menos que tres o más generadores de ozono actúen simultáneamente, lo que rara vez ocurre. Por lo tanto, el impacto del desequilibrio eléctrico sobre la línea del sistema que actúa en trifásico debe ser evaluado. Para lograr el equilibrio de la línea un transformador “Scott” es habitualmente usado.

Fig. 7.4. Control del voltaje y la frecuencia.



La corriente suministrada al sistema de ozono tiene normalmente una frecuencia de 60 ciclos y un potencial de 480 voltios. Para un sistema de voltaje

variable se puede incrementar el voltaje usando un autotransformador variable para alimentar la primera parte del transformador principal. Cuando se utiliza un sistema de de frecuencia variable tanto la frecuencia como el voltaje deben aumentarse, el voltaje por encima del potencial de ionización (sobre 10.000 volts.) y la frecuencia hasta un máximo de 2.000 hertz.

Otra propiedad importante en el generador de ozono es el factor de potencia. Un generador en operación puede disminuir el factor de potencia de 0.3 a 0.5, dependiendo de las condiciones de operación. Cuanto menor sea este factor mas energía eléctrica es necesaria para obtener la misma cantidad de ozono por lo que es importante obtener un factor de potencia alto.

El factor de potencia es la relación entre la potencia aparente (kw) y la potencia real (kVa) medida en términos de voltaje y amperaje, esta relación se muestra en la siguiente ecuación:

Factor de potencia = potencia aparente/ potencia real

$$Fp= Kw / kVa$$

El factor de potencia es 1 cuando el voltaje y la corriente están “en fase” uno con el otro, por ejemplo en un circuito resistivo puro como un elemento caliente. En un circuito capacitativo puro como es un generador de ozono que no ha alcanzado el potencial de ionización del dieléctrico, la corriente y el voltaje están 90 grados “fuera de fase”. En este caso el valor del factor de potencia es cero. Para un generador que este produciendo ozono (voltaje mayor que el potencial de ionización) el desfase entre el voltaje y amperaje tomará un valor entre 0 y 90 grados, por lo que el factor de potencia será menor que 1.

El factor de potencia puede ser corregido instalando inductores en el circuito eléctrico o usando la inductancia creada por la operación de motores de otras áreas de la planta de tratamiento. No obstante hay que tener especial precaución cuando se utilizan otros equipos de la planta para corregir el factor de potencia porque las condiciones de operación de estos equipos pueden variar de hora en hora y de día en día. La inductancia de otros equipos para

corregir el factor de potencia sólo debe utilizarse cuando las condiciones de operación del equipo puedan estar aseguradas.

7.3.3. HUMEDAD Y POLVO DEL GAS DE ALIMENTACIÓN.

La cantidad de humedad del gas de alimentación del generador de ozono no solo disminuye la producción de ozono sino que también favorece la contaminación de los dieléctricos del generador. Esta contaminación se da tanto para una alimentación de oxígeno puro como de aire. Cuando el gas de alimentación es oxígeno, en presencia de vapor de agua se forma peróxido de hidrógeno formándose depósitos en los dieléctricos. Si la alimentación es aire se forma aproximadamente un mol de pentaóxido de nitrógeno (N_2O_5) por cada 100 moles de ozono formado. Este compuesto en presencia de vapor de agua produce ácido nítrico que se deposita en el interior del generador y las tuberías dando lugar a la corrosión de estos elementos.

En la práctica normal (punto de rocío del aire menor de $-40^{\circ}C$), de 3 a 5 gramos de ácido nítrico se forman por cada 1.000 gramos de ozono producido. Cantidades mucho mayores se forman cuando la temperatura de rocío del aire es mayor de $-40^{\circ}C$. Un alto contenido en humedad del gas de alimentación, además de causar daños en los dieléctricos y aumentar el mantenimiento de los equipos, provoca una disminución en la producción de ozono del generador. Para prevenir estos efectos diversos autores sugieren una temperatura mínima del punto de rocío del gas de alimentación.

De acuerdo a las temperaturas aconsejadas por los diversos autores se puede deducir que la temperatura del punto de rocío debe ser menor de $-40^{\circ}C$ para obtener la mayor eficiencia del generador de ozono. Sin embargo, para reducir los requerimientos de mantenimiento y alargar la vida de los dieléctricos sería deseable una temperatura menor de $-50^{\circ}C$. Para alcanzar estos valores es necesario el tratamiento del gas de alimentación.

Las impurezas y el polvo del gas de alimentación también afectan a la cantidad de ozono producida por el generador. El polvo se deposita en los

dieléctricos disminuyendo la eficiencia del generador. Por lo que en muchos casos es necesaria la filtración previa del gas de alimentación para obtener un gas libre de polvo e impurezas.

7.3.4. REFRIGERACIÓN DEL GENERADOR DE OZONO.

La producción de ozono se incrementa cuanto menor sea la temperatura del gas ozonizado, además, refrigerando el generador de ozono se aumenta la vida de los dieléctricos. La temperatura del gas ozonizado dependerá del caudal del gas de alimentación y de la capacidad de refrigeración del generador. El caudal de alimentación lo establece el ingeniero de diseño de acuerdo a la producción de ozono deseada y el sistema de refrigeración del generador lo determina el fabricante y la temperatura del medio.

Debido a que la refrigeración del generador es el principal factor para obtener la eficiencia energética del generador de ozono, los diversos métodos de refrigeración de los fabricantes son altamente competitivos.

En la mayoría de los generadores de ozono se utiliza agua para la refrigeración. El agua de refrigeración desempeña una función muy importante en el proceso de generación de ozono. Su misión es la de eliminar el calor producido durante el proceso de generación de ozono. Esto se lleva a cabo haciendo pasar el agua por el interior de la carcasa del ozonizador, bañando la superficie exterior de los tubos de acero que constituyen los electrodos de tierra. Cuanto mejor sea la refrigeración de los electrodos mejor será la producción de ozono.

Para optimizar la eficiencia del generador la temperatura del agua de refrigeración debe ser lo más baja posible, con el objetivo de conseguir el máximo efecto refrigerante con el mínimo caudal. Este debe ser suficiente como para permitir una diferencia de temperatura entre la entrada y la salida de agua de 3 a 5 °C. Aproximadamente 3 o 4 litros de agua de refrigeración a 20 °C son necesarios por cada gramo de ozono producido. Esta cantidad y temperatura varía para los diferentes generadores de ozono.

En la actualidad se tiende a utilizar circuitos cerrados de agua de refrigeración con el fin de optimizar los rendimientos del generador y, sobre todo, en lugares donde la temperatura del agua es elevada.

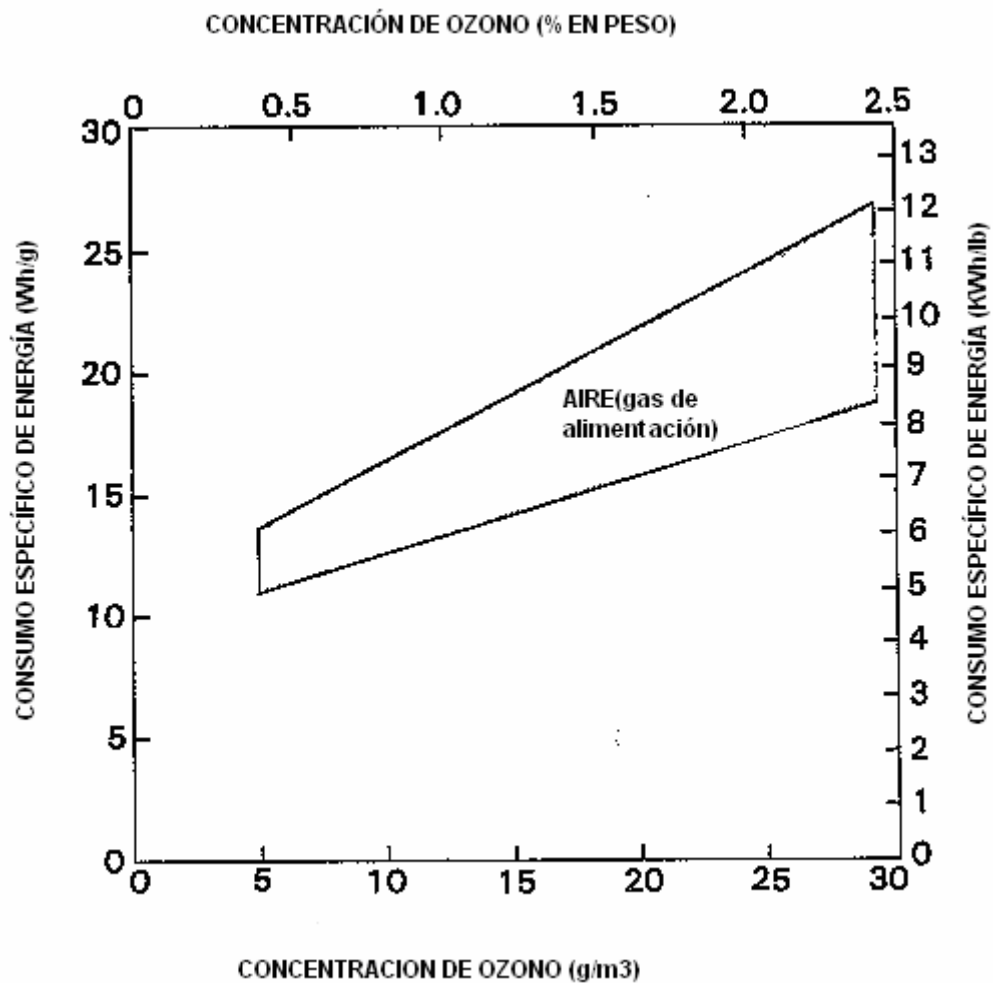
También existen generadores de ozono refrigerados por aire. La experiencia indica que el aire de refrigeración debe estar libre de humedad y suciedad para evitar cortocircuitos eléctricos en el suministro eléctrico de alto voltaje.

7.3.5. CONTENIDO EN OXÍGENO Y CAUDAL DEL GAS DE ALIMENTACIÓN.

Modificando el caudal del gas de alimentación y el contenido de oxígeno podemos ajustar la producción de ozono del generador. Para unas condiciones de funcionamiento fijadas podemos aumentar la producción de ozono aumentando la concentración de oxígeno de la alimentación. La producción de ozono aumenta porque se eleva la concentración de ozono que se produce debido a que al ser la concentración de oxígeno del gas de alimentación mayor, aumenta el número de colisiones entre los electrones y el oxígeno dentro del hueco de descarga.

Por otro lado, disminuyendo el caudal de alimentación, manteniendo fijas el resto de las condiciones de operación, se puede obtener un incremento de la concentración de ozono producida. Sin embargo el consumo de energía es mayor cuanto mas alta es la concentración de ozono, esta relación se muestra en la figura 7.5 para un generador típico con aire como gas de alimentación. Se puede comprobar que el consumo específico de energía aumenta gradualmente a medida que se incrementa la concentración de ozono. De esta forma una baja concentración de ozono reduce el consumo energético pero para concentraciones bajas son necesarios caudales de alimentación mayores y los costes del tratamiento del gas de alimentación aumentan. Se debe buscar el equilibrio entre estos dos factores, normalmente la máxima concentración de ozono que se utiliza es de 18 g/m^3 donde el consumo de energía es de 17 Wh/g .

Fig. 7.5. Consumo específico de energía frente a concentración de ozono para un generador con alimentación de aire.



Mediante el ábaco de la figura 7.5 podemos estimar el consumo de energía de un sistema de ozono con aire como gas de alimentación. No obstante para conocer el consumo exacto de energía debemos consultar al fabricante.

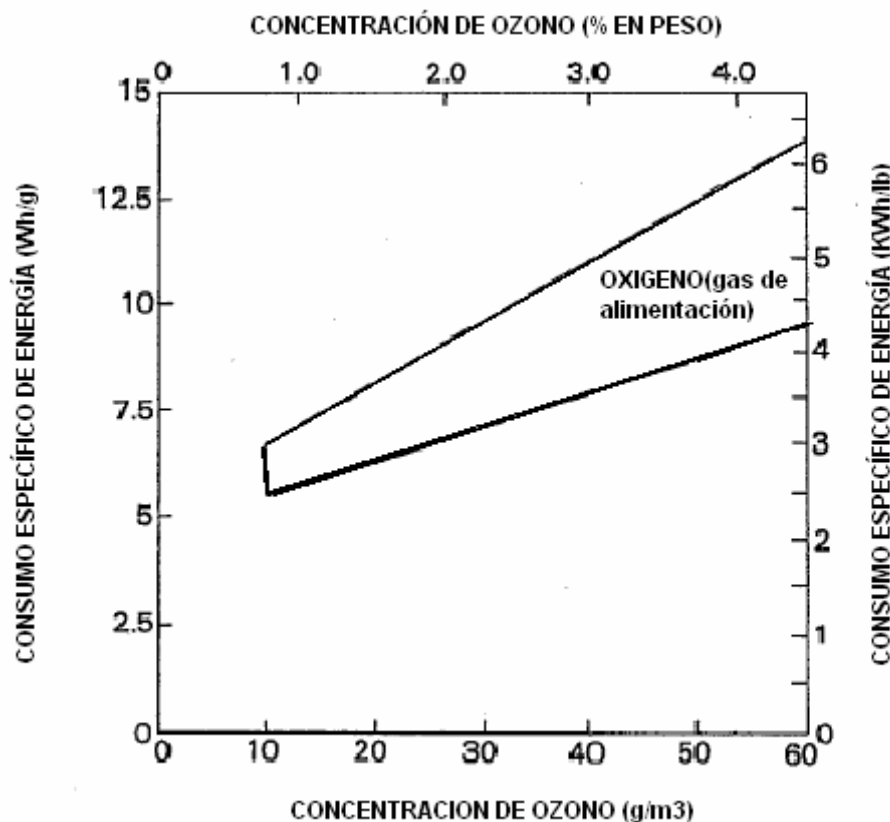
La concentración de diseño para un generador de ozono, con aire como gas de alimentación, normalmente esta en un rango que va desde 12 a 24 g/m³. La concentración más utilizada es 18 g/m³. Aunque un generador de ozono puede alcanzar concentraciones mayores que las de diseño, es recomendable trabajar a concentraciones menores para maximizar la efectividad de la refrigeración. También es recomendable que el generador no opere a más del 75% de su potencia máxima a menos que sea necesario. Por ejemplo, en vez

tener un generador operando al 100% de su capacidad es mejor tener dos operando al 50%, de esta forma alargamos la vida de los dieléctricos, disminuimos los problemas de mantenimiento y normalmente minimizamos el consumo eléctrico.

El rango de concentraciones y el consumo específico de energía para un generador con oxígeno como gas de alimentación se muestra en la figura 7.6. La concentración de ozono es casi el doble que la obtenida con aire y la energía específica de formación de ozono se reduce a la mitad, para la misma concentración de ozono.

Hay que tener en cuenta que la información sobre el consumo de energía que se muestra en la figuras 6.20 y 6.21 es solo para el generador de ozono. Para determinar el consumo total de energía del sistema de ozonización deben considerarse el resto de los equipos.

Fig. 7.6. Consumo específico de energía frente a concentración de ozono para un generador con alimentación de oxígeno.



7.4. Tipos de generadores de ozono.

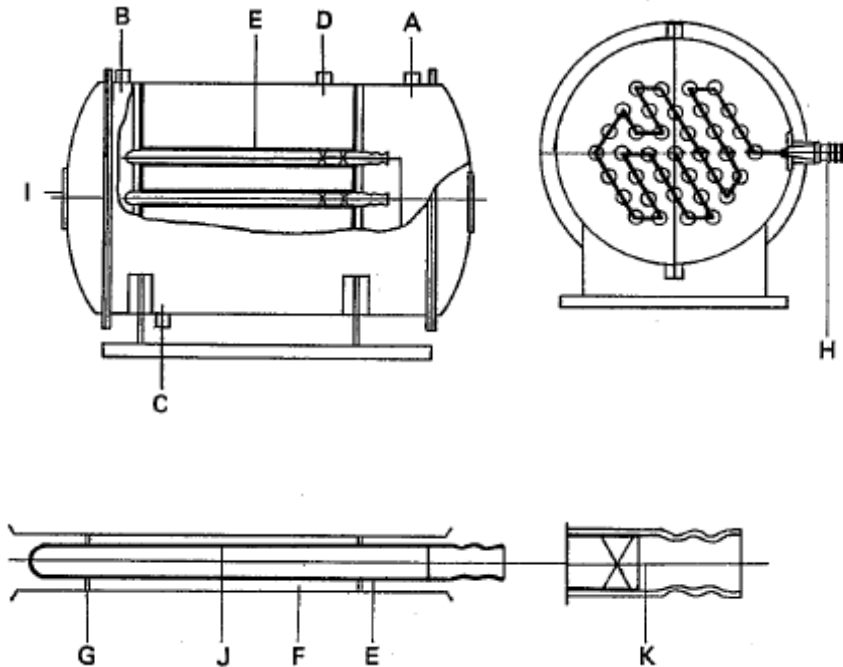
Los generadores de ozono son normalmente clasificados por su mecanismo de control, mecanismo de refrigeración y la posición de los dieléctricos. Otra forma de clasificarlos es por el nombre del inventor. El mecanismo de control puede ser una unidad de voltaje o una unidad de frecuencia. En cuanto a la refrigeración, tenemos generadores refrigerado por agua o por aire. Los dieléctricos normalmente están ubicados en el generador en posición vertical o en posición horizontal. A continuación se describen los distintos tipos de generadores.

A) TUBO HORIZONTAL, CONTROL DEL VOLTAJE, REFRIGERADO MEDIANTE AGUA.

Este generador de ozono es el más empleado. Los detalles del generador se muestran en la figura 7.7. El gas de alimentación entra por un extremo del generador y el gas ozonizado sale por el otro extremo. El encamisado de acero inoxidable actúa como electrodo de baja tensión y contiene una gran cantidad de tubos cilíndricos donde se sitúan los dieléctricos. La cara interna de los dieléctricos esta cubierta por un abrigo metálico que actúa como electrodo de alta tensión. El gas de alimentación pasa entre la cara externa del dieléctrico y el encamisado de acero inoxidable.

El equipo es diseñado normalmente para trabajar a presiones por encima de 103 kPa. La mayoría de estos generadores operan con frecuencia de 60 Hertz., aunque hay casos en los que operan a frecuencias desde 600 a 800 Hertz..

Fig. 7.7. Generador de tubo horizontal, control de voltaje y refrigerado por agua.



A= Entrada del gas de alimentación.

B= Salida del gas ozonizado.

C= Entrada del agua de refrigeración.

D= Salida del agua de refrigeración.

E=Tubo del dieléctrico.

F= Zona de descarga eléctrica.

G= Tubo de soporte.

H= Terminal de alta tensión.

I= Puerto.

J= Abrigo metálico.

K= Contacto.

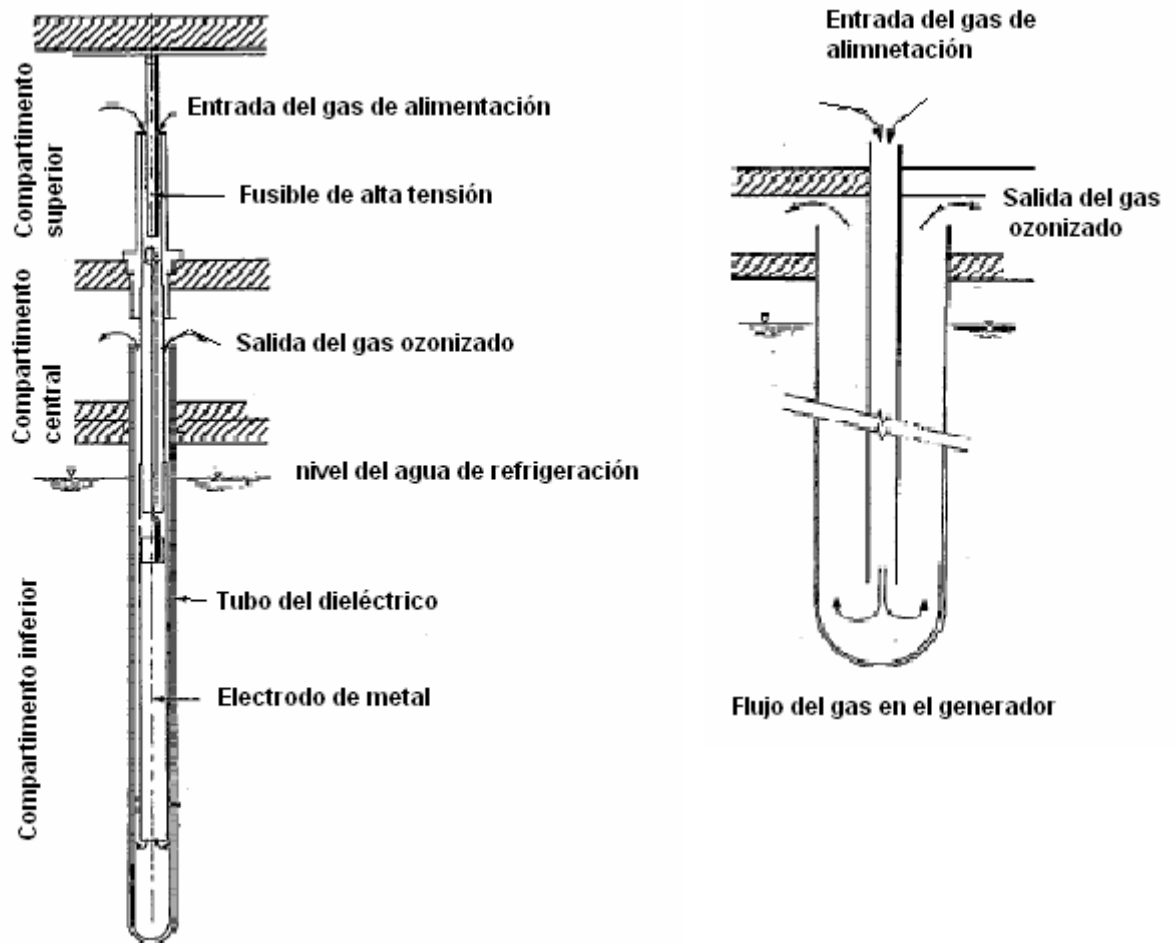
B) TUBO VERTICAL, CONTROL DEL VOLTAJE, REFRIGERADO MEDIANTE AGUA.

Este generador utiliza el agua de refrigeración como electrodo de tierra. Los detalles del generador se muestran en la figura 7.8. El gas de alimentación

entra por la parte superior a través de los dieléctricos en el sistema de contacto de ozono.

El generador de ozono esta formado por tres compartimentos. El gas de alimentación entra al compartimento superior y pasa a través de los tubos de metal, que son los electrodos de alta tensión, para llegar a los dieléctricos. Entonces el gas llega a la corona de descarga, que es creada entre el tubular de acero inoxidable, el electrodo de alta tensión, el dieléctrico y el electrodo de baja tensión. El gas ozonizado es descargado al compartimento central y desde aquí es enviado a la cámara de ozonización.

Fig. 7.8. Generador de tubo vertical, control de voltaje y refrigerado por agua.

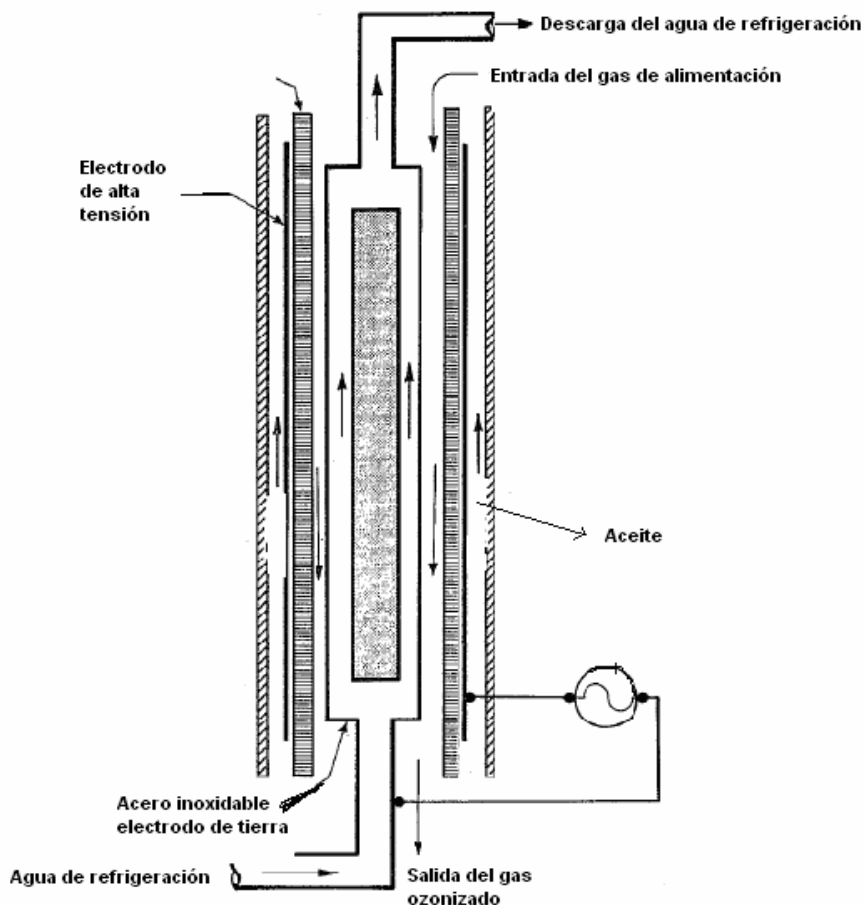


C) TUBO VERTICAL, CONTROL DE LA FRECUENCIA, DOBLE REFRIGERACIÓN

Este generador utiliza agua y también un líquido no conductor (normalmente aceite) para la refrigeración. La unidad incorpora un complejo sistema de dieléctricos para aprovechar el enfriamiento adicional, que se ilustra en la figura 7.9. El electrodo de alta tensión es refrigerado por el líquido no conductor en un circuito cerrado. El electrodo de baja tensión es refrigerado por agua.

Este generador trabaja normalmente a 10,000 voltios, con una frecuencia de 2000 hertz., y a presiones superiores a 137 kPa. Una desventaja de este generador es su elevado coste asociado con el equipo adicional de refrigeración. No obstante, la doble refrigeración aumenta la eficiencia del generador.

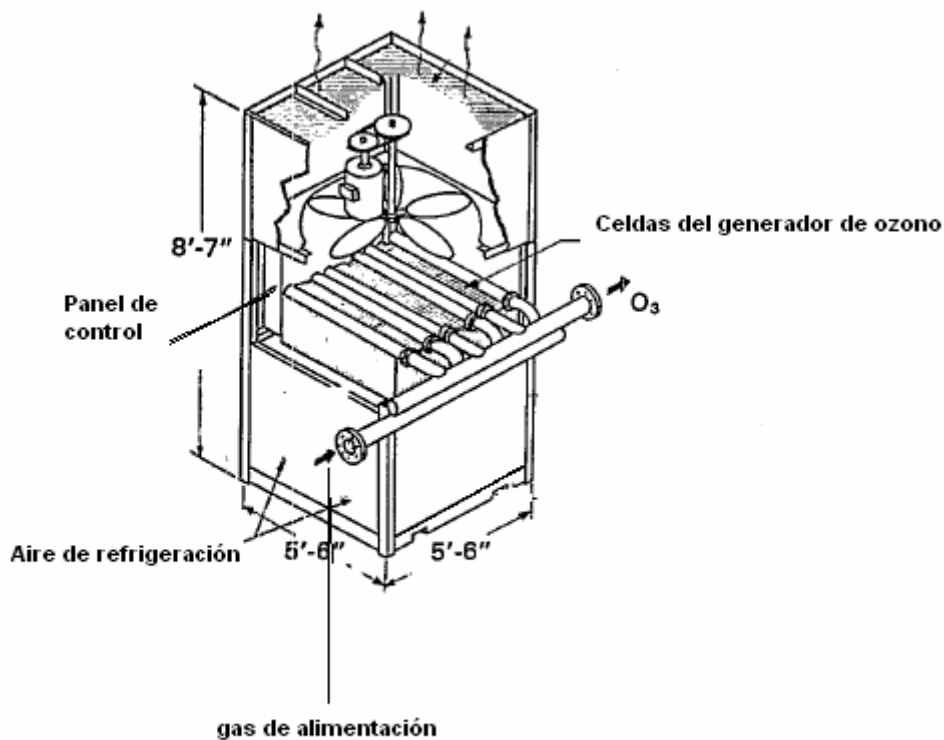
Fig. 7.9. Generador de tubo vertical, control de la frecuencia, doble refrigeración.



D) PLATO BAJO, CONTROL DE LA FRECUENCIA, REFRIGERADO POR AIRE.

Este generador se muestra en la figura 7.10. Este generador esta formado por: un disipador de calor de aluminio, un electrodo de acero recubierto de material cerámico, un espacio que establece el hueco de descarga, un segundo recubrimiento cerámico del electrodo, y un segundo disipador de calor de aluminio. La unidad usa aire ambiente para la refrigeración y opera a una frecuencia de 2,000 hertz. y un voltaje de 9000 voltios. La presión máxima de operación es 103 kPa.

Fig. 7.10. Generador de plato bajo, control de la frecuencia, refrigerado por aire.



7.5. Gas de alimentación.

El gas de alimentación es un factor fundamental en la generación de ozono. Se puede generar ozono a partir de aire u oxígeno puro. Actualmente los generadores de ozono están preparados para trabajar con cualquiera de las dos alimentaciones.

La energía necesaria para producir ozono a partir de oxígeno puro es sobre un 50% menor que utilizando aire como alimentación (fig.6.5 y fig.6.6). Sin embargo, el coste del oxígeno puro es muy alto. La producción a partir de aire ambiente requiere mayor inversión inicial, dado que es preciso instalar una línea de preparación de aire, pero anula el coste de suministro de gas fuente, mientras que la producción a partir de oxígeno, más eficiente y menos exigente en inversión, crea una dependencia en el suministro del oxígeno, que eleva los costes de explotación.

Como se comenta en el apartado 6.3.3., la calidad del gas de alimentación es un factor crítico en la generación de ozono. Con objeto de optimizar el funcionamiento del generador de ozono, es necesario tratar el gas de alimentación, con el fin de que se cumplan las siguientes condiciones:

- Debe estar libre de polvo, aceite, hidrocarburos, etc., cuya presencia influye negativamente en el proceso de generación.
- Debe estar seco, con un punto de rocío comprendido entre -40 °C y -50 °C.

Con oxígeno puro se cumplen estas condiciones, en cambio el aire normalmente no reúne estas condiciones por lo que es necesario tratarlo antes del proceso de generación.

7.5.1. PREPARACIÓN DEL AIRE DE ALIMENTACIÓN.

Las etapas de este tratamiento pueden concretarse en:

a) Filtración:

En la toma de aire se instala un filtro para eliminar partículas, polvo, aceites e hidrocarburos, etc.

b-1) Sistemas de baja presión:

Operan a presiones comprendidas entre 1-2 bar. Las fases principales de instalación de este tipo son:

- **Compresión:** Dependiendo de la presión de trabajo y del caudal de aire necesario, se pueden considerar distintos tipos de compresores, normalmente: compresores de pistones rotativos para presiones no superiores a 1 bar, y compresores del tipo tornillo para presiones no superiores a 1 bar. En cualquier caso, deben ser compresores exentos de aceite.
- **Preenfriador:** El aire que sale del compresor está a alta temperatura, siendo preciso un primer enfriamiento, utilizando como refrigerante agua. Este tipo de intercambiadores aire/agua permite una reducción de la temperatura del aire hasta 5 °C por encima del agua utilizada en la refrigeración.
- **Enfriador frigorífico:** Sirve para reducir la temperatura del aire hasta 5 °C.

b-2) Sistemas de alta presión:

Operan con presiones comprendidas entre 5-7 bares. Los elementos típicos de una instalación de este tipo son:

- **Compresión:** Normalmente son compresores del tipo pistón seco o tornillo, refrigerados por aire o por agua. Son compresores que producen

aire comprimido a temperaturas no muy elevadas, por lo que el sistema de pretratamiento se simplifica.

- Enfriador: Normalmente es suficiente con instalar un intercambiador aire/agua, si la temperatura no esta dentro de los limites normales.

c) Secador por adsorción: El tamaño de los secadores esta directamente relacionado con la humedad absoluta del aire y ésta, a su vez, depende de la presión y temperatura. El relleno de las torres de secado donde se produce la adsorción del agua contenida en el aire puede ser: alúmina activada, sílice gel, tamiz molecular.

Puesto que el adsorbente no tiene una capacidad ilimitada de adsorción, sino que se satura al cabo de cierto tiempo de trabajo, los equipos de secado de aire se componen de dos torres gemelas, de manera que, mientras una de ellas está en operación, la otra se encuentra en fase de regeneración. De esta manera se asegura un suministro ininterrumpido de aire seco.

La desecación constituye el carácter fundamental e indispensable, para la ozonización del aire atmosférico, por los siguientes motivos:

1) La producción de un generador de ozono varía en razón inversa de la proporción de vapor de agua, o humedad absoluta del fluido, según los siguientes resultados, para concentraciones de aire ozonizado comprendidos entre 10 y 25 g/m³:

Punto de rocío en °C	-40	-35	-30	-25	-20
Cantidad de agua en g/m ³	0.10	0.18	0.30	0.51	0.82
Baja de concentración en %	2	2.5	6.5	11.0	16.0

2) La suma de las energías de desecación y de generación de ozono, para una producción dada, se rebaja al mínimo cuando el fluido alcanza el grado de desecación (-40 °C a -50 °C).

3) La presencia de vapor de agua genera regímenes de chispas eléctricas y aun arcos de efluvio que, además de alterar la producción, puede llegar a comprometer la debida conservación de los dieléctricos y provocar su rotura.

4) La formación de ácido nítrico consecutiva al empleo de un fluido no desecado, acarrea la corrosión de los electrodos y de los materiales en contacto con el ozono.

Capítulo 8. **TRANSEFERENCIA DEL OZONO AL AGUA.**

8.1. Solubilidad del ozono.

La solubilidad del ozono en agua es un factor fundamental en la ozonización importante porque la eficiencia de la desinfección depende de la cantidad de ozono transferida al agua. De acuerdo con la ley de Henry aplicada a sistemas de ozono, la cantidad de ozono que se transfiere a un volumen de agua determinado, a temperatura constante, es directamente proporcional a la presión parcial del ozono en el agua. La ley de Henry puede expresarse como:

$$H = Y / X$$

Donde:

Y = Presión del gas en el líquido (atmósferas).

X = Fracción molar del gas en el líquido en equilibrio.

H = Constante de la ley de Henry (atm/mol).

8.2. Contacto del ozono con el agua.

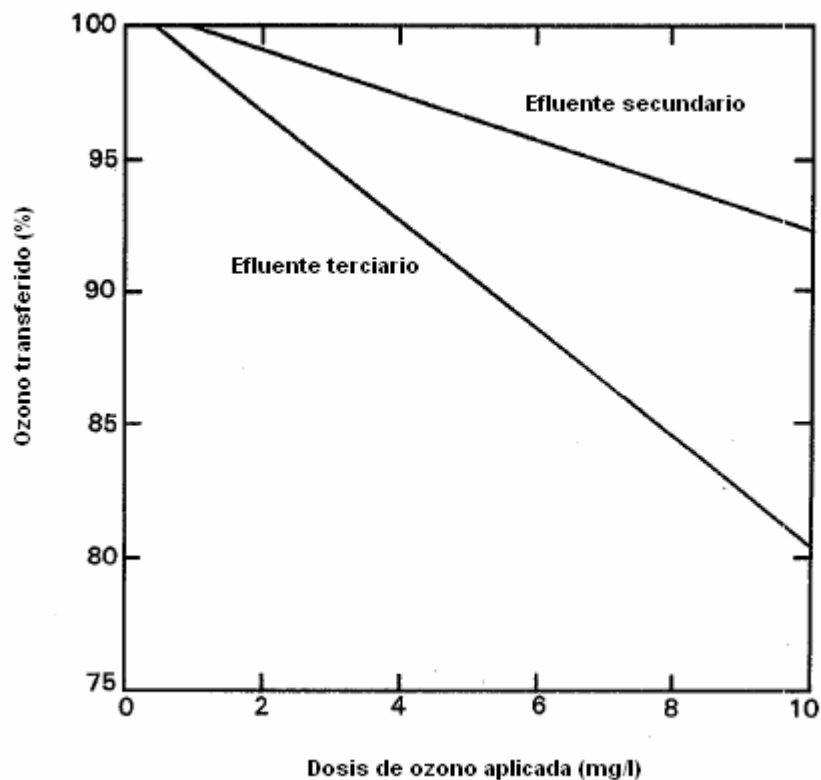
La capacidad del reactor o cámara de contacto ozono-agua es fundamental para la eficacia del sistema de desinfección, y es importante en el aspecto económico del proceso. La capacidad para alcanzar una buena desinfección y la capacidad para obtener una buena transferencia de ozono son dos consideraciones muy importantes en el diseño de la cámara de contacto. Si la cámara está bien diseñada obtendremos una buena desinfección si existe una buena transferencia de ozono. Sin embargo lo contrario también puede ocurrir, si el diseño no es bueno, puede existir una buena transferencia de ozono y no obtener una buena desinfección.

La transferencia de ozono al agua residual ha sido evaluada por diversas investigaciones. Todas concluyen que la transferencia de ozono puede definirse por la teoría de la doble película. En esta teoría la transferencia de masa de ozono por unidad de tiempo es función del área de intercambio de la doble película, del intercambio potencial, y de un coeficiente de transferencia. El intercambio potencial también llamado “conducción forzada” depende de la diferencia entre la concentración de saturación de ozono menos la concentración de ozono residual.

Aunque la transferencia de ozono puede ser descrita por la teoría de doble película, en la práctica, para el diseño de la cámara de contacto no se utiliza esta teoría. Esto no es debido a que la teoría no sea válida sino a que los coeficientes de diseño no están bien documentados. Cuando conocemos los coeficientes, el diseño puede establecerse utilizando el modelo de dicha teoría.

El porcentaje de ozono transferido depende fundamentalmente de las características físicas de la cámara de contacto y de la calidad del agua residual. Para una dosis de ozono aplicada, un agua residual de peor calidad tendrá una mayor demanda de ozono y el porcentaje de transferencia de ozono será mayor. Esto es debido al consumo de ozono en la oxidación de compuestos inorgánicos y orgánicos. Un ejemplo de esto se muestra en la fig. 8.1. El porcentaje de ozono transferido para el mismo reactor es mayor para un efluente secundario que para uno con tratamiento terciario, la diferencia aumenta cuanto mayor es la dosis de ozono aplicada.

Fig. 8.1. Influencia de la calidad del efluente en el porcentaje de ozono transferido.



Otras características del agua residual también afectan al porcentaje de ozono transferido, fundamentalmente el PH y la alcalinidad. Si tenemos un PH alto y/o una baja alcalinidad la concentración de ozono residual disminuirá (manteniendo constante los demás factores) debido a que se maximiza la formación de los radicales hidróxilo. La baja concentración residual provoca un aumento del intercambio potencial y en consecuencia se produce un aumento del porcentaje de ozono transferido.

Como hemos dicho la calidad del agua residual afecta a la transferencia de ozono por lo que a la hora del diseño del reactor o cámara de contacto hay que tener en cuenta una serie de consideraciones acerca de la calidad del agua residual o efluente que vamos a tratar y que son las siguientes:

- El porcentaje de ozono transferido disminuye al aumentar la dosis de ozono. Un porcentaje específico de transferencia debe ser definido para una dosis aplicada específica de ozono.
- El porcentaje de ozono transferido aumenta al disminuir la calidad del agua residual, por lo que la calidad de la misma debe estar bien definida, antes de decidir sobre el porcentaje de transferencia que se desea obtener.
- El porcentaje de ozono transferido aumenta con la presencia de radicales hidróxilo, por lo que hay que considerar las características del agua residual que favorecen la formación de estos radicales.

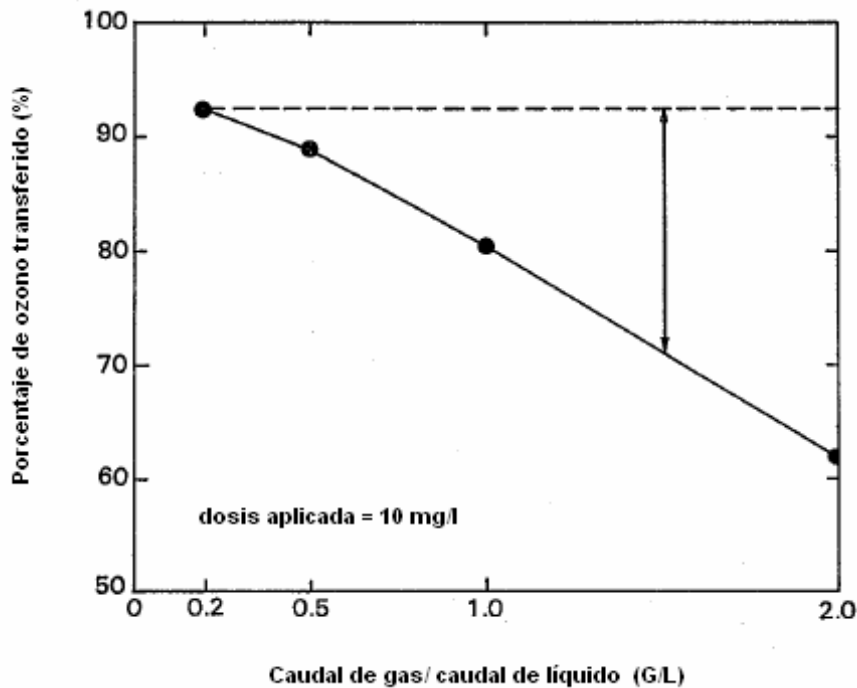
Las características físicas del reactor o cámara de contacto es el aspecto más importante en el diseño porque es el factor sobre el que se puede decidir y controlar. Dentro de la cámara un factor fundamental para maximizar la transferencia de ozono va a ser los difusores, es decir la forma en que el gas ozono entre en la cámara de contacto para mezclarse con el agua.

De acuerdo con la teoría de la doble película la transferencia de masa de ozono depende del área de intercambio de la película gas-líquido. El área de intercambio en un difusor de burbujas es función del diámetro de las burbujas. Este diámetro puede ser controlado mediante la selección del difusor. Los mejores resultados de porcentaje de ozono transferido se obtienen para un diámetro de burbuja de 2 a 5 mm y preferiblemente de 2 a 3 mm. Los principales factores que afectan al tamaño de burbuja son la permeabilidad y el caudal de gas. Una baja permeabilidad y un bajo caudal de gas disminuirán el tamaño de burbuja.

Otra consideración para optimizar la eficiencia de la transferencia de ozono es la relación entre el caudal de gas y de líquido (G/L) y la relación entre el

caudal de gas y el volumen de la cámara de contacto (G/V). De acuerdo a las investigaciones llevadas a cabo por Stover y colaboradores el porcentaje de ozono transferido disminuye cuando la razón entre el caudal del gas y el líquido aumenta como se puede observar en la fig 8.2. Un menor descenso de la eficiencia de la transferencia se da cuando G/L incrementa de 0,2 a 0,5. En cambio, la disminución es más pronunciada cuando G/L se aproxima a 1. En cuanto a la relación entre el caudal del gas y el volumen de la cámara de contacto los estudios llevados a cabo por Grasso, Given y Smith defienden que el porcentaje de ozono disminuye cuando G/V incrementa de 0,005 a 0,05 y los mejores resultados de transferencia se obtienen para un valor de G/V no mayor de 0,03.

Fig. 8.2. Eficiencia de la transferencia frente a G/L.



8.3. Factores que afectan al rendimiento de la desinfección.

Los principales factores que afectan a la eficacia de la desinfección son: la eficiencia de la transferencia, cortocircuitos o zonas muertas en la cámara, la correcta mezcla del gas y el líquido y el tiempo de contacto. La eficiencia de la transferencia debe ser optimizada como se describe en el apartado anterior para permitir el uso efectivo del ozono producido en la desinfección y minimizar costes.

Los cortocircuitos en la cámara de contacto es también un factor muy importante. El efecto de los cortocircuitos en el rendimiento de la desinfección se ilustra en la tabla 8.1. Un pequeño porcentaje de cortocircuito o zona muerta en el reactor significa un incremento en la concentración de coliformes fecales en el efluente del sistema debido a que la zona muerta contiene una elevada concentración de organismos en comparación con la concentración deseada en el efluente.

Tabla 8.1. Efecto de las zonas muertas o cortocircuitos en el rendimiento de la desinfección.

Coliformes influente (UFC/100 ml)	Coliformes efluente (UFC/ 100 ml) (objetivo)	Corto-circuitos o zonas muerta (%)	Coniformes resulatantes (UFC/ 100 ml) (resultado)
100000	200	0,0	200
100000	200	0,1	300
100000	200	1,0	1200
100000	200	2,0	2200

La mezcla en la cámara de contacto es importante para conseguir un buen rendimiento en la desinfección, es necesario conseguir unas buenas condiciones de mezcla en la cámara para que el ozono reaccione con los microorganismos y se eviten las zonas muertas.

El tiempo de contacto es también un factor muy importante en del rendimiento de sistema de desinfección. Dicho tiempo de contacto ha sido objeto de gran controversia en la desinfección mediante ozono. Algunos estudios han mostrado que se puede obtener una desinfección efectiva con tiempos de contactos tan pequeños como un minuto, pero la mayoría de sistemas de desinfección mediante ozono existentes tienen un tiempo de contacto que va desde 10 a 15 minutos. También se puede deducir de los distintos estudios que para una dosis de ozono determinada y manteniendo constantes las demás condiciones, el tiempo de contacto para alcanzar un determinado nivel de desinfección es menor cuanto mayor es la calidad del agua a tratar.

De forma general la EPA recomienda un tiempo de contacto mínimo de 6 a 15 minutos para obtener un efluente con una concentración de coliformes fecales menor de 200 UFC/ ml .

La eficacia de la desinfección mediante ozono depende de una buena eficiencia en la transferencia, buena mezcla, un adecuado tiempo de contacto y minimizar las zonas muertas o cortocircuitos en el reactor o cámara de contacto. Todos estos factores están relacionados con lo cual a la hora del diseño no es práctico considerarlos por separado.

8.4. Contactores.

Los sistemas de ozonización utilizan contactores para transferir el ozono generado al agua que se va a desinfectar. El tipo de contactor depende del objetivo específico de la ozonización. Los objetivos se pueden clasificar como de reacciones rápidas: este es el caso de la inactivación de microorganismos, la oxidación de hierro, magnesio y sulfuros, y el mejoramiento de la floculación; y de reacciones lentas: la oxidación de sustancias más difíciles, como plaguicidas, sustancias orgánicas volátiles y otras sustancias orgánicas

complejas que por razones cinéticas tienden a requerir tiempos de reacción más largos. En estas últimas reacciones, la ozonización suele completarse con luz ultravioleta o peróxido de hidrógeno y este efecto combinado generalmente se califica como un “proceso avanzado de oxidación”

Las fallas de los sistemas de desinfección por ozono generalmente se deben a fallas en el inyector y por defectos en el diseño y construcción del contactor. Hay dos diseños básicos del contactor: el de cámaras con difusores de burbujas y el reactor agitado por turbina. En el primero, las cámaras pueden estar en serie y separadas con deflectores o tabiques, o en forma paralela, en cuyo caso recibe el nombre de “columnas múltiples”. El número de cámaras, su geometría, los sistemas difusores y su operación varían de una planta a otra y depende de la experiencia de los ingenieros de diseño. Los estudios realizados han revelado que el difusor de burbujas de columnas múltiples ofrece la mejor eficiencia de transferencia. En un sistema de abastecimiento de agua con frecuencia se genera ozono a una presión de 1 kg/cm² y se dispersa en burbujas muy finas que se descargan en una columna de agua en la que ocurre la oxidación y la desinfección. Pueden usarse columnas o cámaras de contacto, mezcladores estáticos y difusores de hélice o turbina para acelerar la solución de gas de ozono y ayudar a asegurar la mezcla y el contacto.

En todos los tipos de contactos se utiliza el flujo de contracorriente, en que el agua fluye hacia abajo y las burbujas de aire suben a fin de maximizar el tiempo de contacto.

8.5. Destrucción del ozono no transferido.

Los gases procedentes de la cámara de contacto contienen porcentaje de ozono que no han reaccionado, estas cantidades dependen de la eficiencia de la transferencia y de la dosis de ozono aplicada. Antes de expulsar estos gases a la atmósfera es necesario destruir el ozono por motivos de seguridad, dado

que el ozono es un gas tóxico, el límite establecido es de 0.1 ppm para un trabajador con una jornada de 8 horas (ver capítulo seguridad e higiene en la planta), normalmente el gas liberado de la cámara de contacto excede con creces ese límite.

Los principales métodos para la destrucción del ozono sobrante son: descomposición térmica, descomposición térmica/catalítica y descomposición catalítica. A continuación se describe cada uno de los métodos.

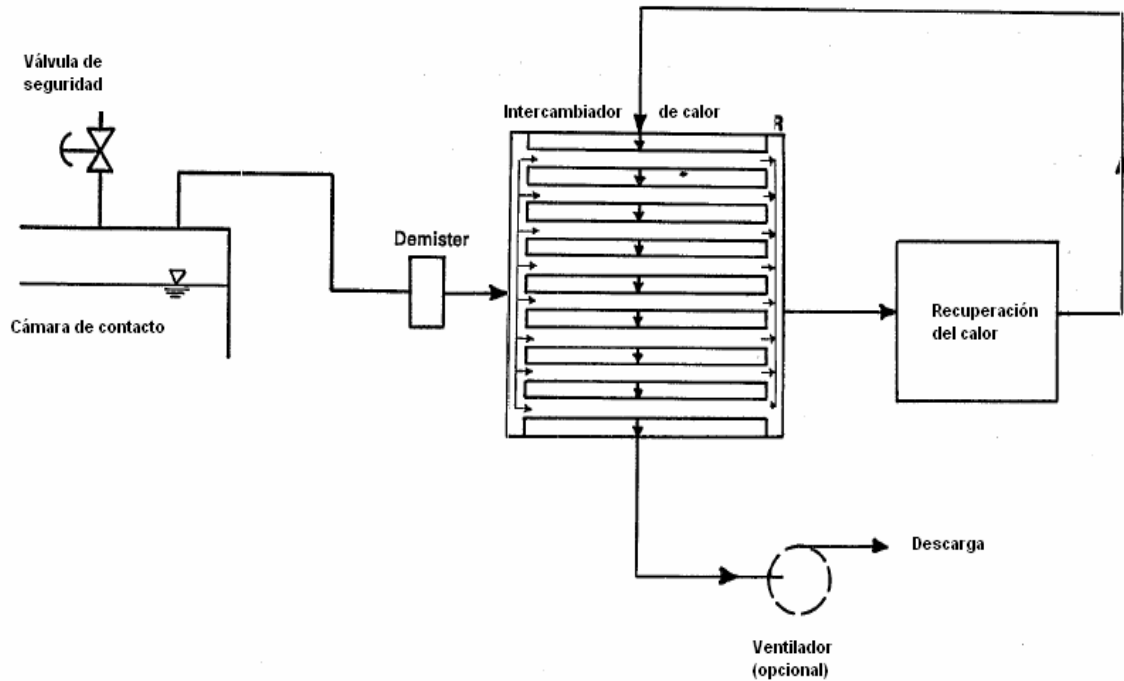
8.4.1 DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA.

La descomposición térmica consiste en someter la corriente del gas de salida a una temperatura alta durante un periodo de tiempo determinado. Con temperaturas entre 250 y 350 °C mantenidas de 1 a 3 segundos se obtiene porcentajes de destrucción de ozono que van desde el 50 al 100%. Para alcanzar una destrucción mayor del 99% se requieren temperatura entre 300 y 350°C por un tiempo de tres segundos.

Debido a las altas temperaturas, unidades de recuperación de calor son provistas normalmente en el sistema de descomposición térmica. La temperatura del gas de salida de una unidad de descomposición térmica con recuperación de calor está entre 70 y 110 °C, y normalmente se encuentra entre 90 y 100 °C.

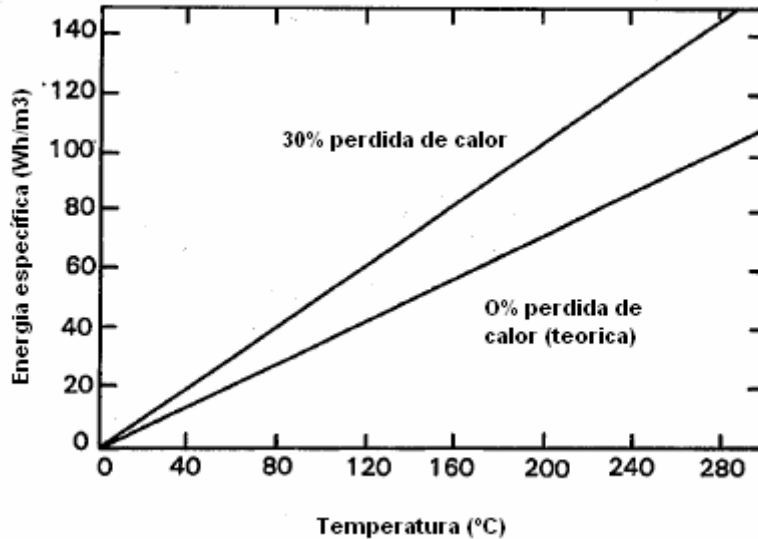
Un esquema de una unidad de descomposición térmica con recuperación de calor se muestra en la figura 8.3. El gas de salida de la cámara de contacto pasa por un demister antes de entrar al intercambiador de calor. La válvula de seguridad es para proteger la cámara de contacto de los daños debido a presiones excesivas o al vacío, dentro de la cámara. El demister es para reducir la acumulación de espuma en el intercambiador de calor. El ventilador que se muestra en la figura es un elemento opcional dependiendo de si el sistema trabaja a presión o a vacío.

Fig 8.3 Descomposición térmica.



La energía necesaria para el sistema de descomposición térmica y el tamaño de los equipos se puede estimar conociendo el caudal y temperatura del gas de salida y la pérdida de calor en el equipo. Si suponemos que no hay pérdidas de calor la cantidad de energía para tratar 1 m^3 de gas a $1 \text{ }^\circ\text{C}$ es $0,37 \text{ Wh}$, asumiendo un calor específico de $0,2454 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}$, una densidad del gas de $1,293 \text{ Kg/m}^3$, y un factor de conversión de $861,29 \text{ Kcal/KWh}$. La pérdida de calor en la unidad es aproximadamente del 30%. Combinando estos parámetros, la necesidad de energía específica para una unidad de descomposición térmica se determina para varias condiciones de operación de temperatura como se muestra en la figura 8.4. Con este valor de energía específica y el caudal del gas se puede determinar la necesidad de energía de la unidad de descomposición térmica.

Fig 8.4. Consumo de energía específica frente a la temperatura del gas de salida.



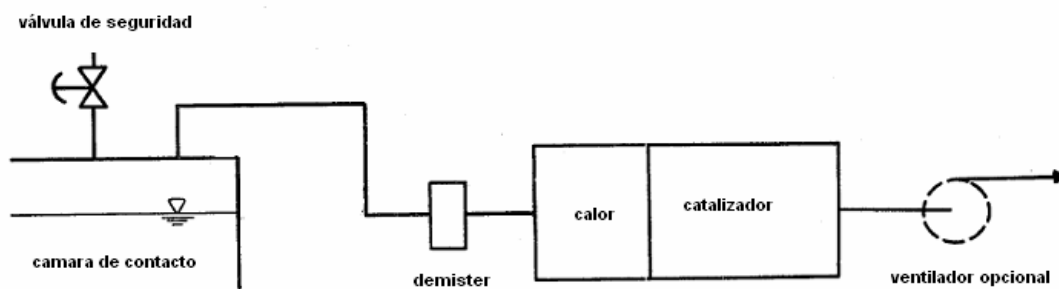
8.4.2 DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA/CATALÍTICA.

El uso de la descomposición catalítica para la destrucción de ozono es relativamente reciente. La descomposición catalítica se consiste en pasar el gas a través de un catalizador que acelera la descomposición del ozono a oxígeno. Para conocer los tipos y la cantidad de los materiales debemos acudir a los fabricantes. Diversas clasificaciones generales son conocidas, estas incluyen metales, óxidos metálicos, hidróxidos y peróxidos.

Otra opción es la descomposición térmico/catalítico, donde se usan ambos sistema de destrucción del ozono conjuntamente. El esquema de una unidad de destrucción térmico/catalítica se muestra en la figura 8.5. El gas de salida de la cámara de contacto pasa a través de un demister antes de entrar en la unidad. Mediante el demister eliminamos la espuma que contiene el gas de salida y que disminuye la efectividad del catalizador. . El ventilador que se

muestra en la figura es un elemento opcional dependiendo de si el sistema trabaja a presión o a vacío.

Fig 8.5. Descomposición térmica/catalítica.



Capítulo 9. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS E INSTALACIONES.

9.1. Descripción general del tratamiento terciario.

El tratamiento terciario se le aplica a parte del efluente de salida de la EDAR de Conil de la frontera. El objetivo del tratamiento es obtener un efluente con la calidad suficiente para ser utilizado en el riego de un campo de golf.

El tratamiento terciario que se proyecta consiste fundamentalmente en un tratamiento de desinfección mediante ozono. El efluente de la EDAR se conduce desde arqueta de salida a la unidad de filtración. El efluente de la unidad de filtración se recoge en una arqueta desde la cual se bombea a la cámara de ozonización donde se produce la desinfección mediante ozono.

El ozono es producido mediante un generador de ozono, la alimentación del generador será aire ambiente sometido a un tratamiento previo de filtración, compresión y secado. El ozono producido por el generador (aire ozonizado) se pone en contacto con el agua mediante difusores situados en el fondo de la cámara de contacto. El aire de salida de dicha cámara pasa por un destructor de ozono para eliminar el ozono no transferido al agua y se difunde a la atmósfera.

9.2. Entrada al tratamiento terciario.

El efluente del tratamiento secundario de la EDAR se recoge en una arqueta, donde llega a través de dos tuberías de 500 mm de diámetro procedente de cada uno de los dos decantadores secundarios de la EDAR. Estas tuberías

tienen un diámetro de 500 mm, un caudal máximo de 567 m³/h y una velocidad a caudal máximo de 0,80 m/s.

Esta arqueta se considera como inicio del tratamiento terciario. Las dimensiones de la arqueta son 7m de ancho, 13,5m de largo y 3m de profundidad. El material del que se construye la arqueta es hormigón armado.

La arqueta posee dos salidas. La primera de ellas conduce el agua al sistema de tratamiento terciario, y la otra, conduce el agua restante al desagüe de la EDAR al río Salado.

El desagüe de la EDAR. al río, desde esta arqueta, se lleva a cabo a través de una tubería de hormigón de 600 mm de diámetro.

La otra salida de la arqueta conduce el agua hacia el tratamiento terciario mediante una tubería de acero inoxidable tipo AISI 316 con un diámetro interior de 111,25 mm. Se conduce un caudal de diseño de 25 m³/h de agua hasta la entrada a la unidad de filtración.

9.3. Unidad de filtración.

La unidad de filtración consiste en un filtro de arena con una superficie filtrante de 2,5 m², con un lado de 1,4 m y otro de 1,8 m. La tasa de filtración es de 240 m³/m²d y el caudal de tratamiento es de 600m³/día.

La entrada del agua al filtro se hace a través de un canal de distribución de acero inoxidable de 12,5cm de ancho y 11,2 cm. de alto. La entrada del agua a dicho canal se efectúa a través de la tubería que viene de la arqueta de salida de la EDAR. Desde este canal el agua se vierte en un plato de chapoteo, la misión de dicho plato es evitar que se formen caminos preferenciales en el medio filtrante debido al impacto del agua con el medio filtrante. El plato de

chapoteo, de acero inoxidable, es cuadrado con un lado de 62,5 cm y 1 cm de espesor.

El medio filtrante consiste en un lecho de arena de 60 cm con las siguientes propiedades:

Material	Tamaño efectivo (d_{ef}), mm	Coefficiente de Uniformidad (C_{unif})	Densidad Especifica (ρ_{ESP})	Porosidad (e)
Arena	0,45	1,7	2,65	0,40

El medio filtrante es soportado por una capa de grava de 20 cm de espesor. Esta capa se subdivide en cuatro capas de 5 cm cada una, en función de sus características, de la siguiente forma:

Capa	Tamaño, mm	Profundidad, cm	Porosidad
Fondo	12.5	5	0,5
Primera	7.5	5	0,5
Segunda	5	5	0,45
Tercera	3	5	0,45

En el fondo del filtro se dispone de un sistema de drenaje de bloques "leopold". El objeto de los drenes que se colocan en el fondo del filtro es doble:

1. Recolectar y extraer el agua filtrada.
2. Distribuir uniformemente el agua de lavado en el lecho filtrante.

El fondo utilizado esta formado por bloques leopold cerámicos, indicados para el lavado con agua. Consiste en bloques de arcilla vitrificada refractaria a la corrosión, de 27 cm de espesor que están divididos en dos compartimentos: el inferior que es el conducto de distribución y el superior que comunica con el de abajo por un hueco de 2,54 cm de diámetro. En la cara que queda en

contacto con la grava, hay 99 agujeros. Todas las filas de bloques se orientan a un conducto central de repartición. Este canal de repartición conduce a la tubería de descarga del agua filtrada que es la misma por donde entra el agua para el lavado del filtro. Esta tubería es de acero tipo 316 y tiene un diámetro nominal de 4 pulgadas y un diámetro interior de 111,25mm.

- Arqueta de agua filtrada.

El agua filtrada sale por la parte inferior del filtro hacia una arqueta mediante la tubería descrita anteriormente. Desde esta arqueta se impulsa el agua filtrada hacia la cámara de ozonización.

El volumen de la arqueta es de 10 m^3 con las siguientes dimensiones: 2 metros de ancho, 2 metros de largo y 2,5 metros de profundidad. La arqueta sera de hormigón de construcción civil. La arqueta estará enterrada hasta 1,6 metros, la entrada de la tubería de agua filtrada estará a una altura de 1,8 m en la pared de la arqueta.

Todas las arquetas de la planta y la unidad de filtración disponen de una cubierta.

-Sistema de lavado de la unidad de filtración.

El ciclo de lavado de la unidad de filtración consta de tres etapas:

1ª Etapa: En la que el flujo aumenta desde 0 a $1,91 \text{ m}^3/\text{min}$. Esta etapa tiene una duración de un minuto.

2ª Etapa: En la que se mantiene el caudal de lavado a $1,91 \text{ m}^3/\text{min}$ durante 3 minutos.

3ª Etapa: En la que el caudal decrece desde $1,91 \text{ m}^3/\text{min}$ a $0 \text{ m}^3/\text{min}$ en un minuto.

En la 1ª y 3ª Etapa el consumo de agua es de 1,91 m³ y en la 2ª de 5,73 m³. El volumen de agua consumido durante un ciclo de lavado en el filtro es de 9,55 m³.

La carrera mínima del filtro es de 24 horas según especificación técnica. De esta forma, el consumo de agua total es de 9,55 m³/día.

Para la recolección del agua de lavado se dispone de un canal anexo a la celda filtrante con las siguientes dimensiones:

Ancho= 0,4 m

Profundidad=0,8 m

Largo= 1,8 m

Se dispone de una tubería de desagüe de 12 pulgadas de diámetro nominal con una válvula de compuerta para el agua de lavado del filtro.

Para el lavado del filtro se emplea el agua de refrigeración del generador de ozono. Dicha agua de refrigeración se recoge en una arqueta de 12 m³ de capacidad con las siguientes dimensiones: 2 metros de ancho, 2 metros de largo y 3 metros de profundidad. Esta arqueta irá enterrada hasta 2 metros.

El caudal de refrigeración del generador de ozono es de 1,4 m³/h (caudal que se toma de la red de agua potable), que supone un volumen de agua de 33,6 m³, de forma que en la arqueta dispone de un vertedero para conducir el agua hasta el río "Salado" cuando se supera la capacidad de la misma.

El agua de lavado de los filtros es impulsada desde la arqueta hasta la tubería de descarga del agua filtrada. Mediante esta tubería el agua de lavado entra en el filtro y se produce el lavado del filtro con el flujo de agua en sentido ascendente.

9.4. Tratamiento del aire de alimentación.

La alimentación del generador de ozono puede ser oxígeno puro u aire ambiente. De acuerdo a la evaluación económica del proceso con una y otra alimentación (*anexo n°5*), el sistema que se diseña trabaja con aire ambiente como alimentación. No obstante se requiere un tratamiento previo para conseguir un aire con las características óptimas para el correcto funcionamiento del generador de ozono, el aire de alimentación debe tener las siguientes características:

- Debe estar libre de polvo, aceite, hidrocarburos, etc., cuya presencia influye negativamente en el proceso de generación.
- Debe estar seco, con un punto de rocío comprendido entre -40 °C y -50 °C.

El caudal de aire que es necesario tratar (caudal de diseño) para la alimentación del generador de ozono es de 33,2 m³/h (*anexo n°5*), no obstante el sistema se diseña para trabajar en un rango de caudales de acuerdo al caudal mínimo y máximo de alimentación del generador de ozono. De esta forma aseguramos la flexibilidad del sistema a cualquier cambio en las condiciones de operación del generador de ozono.

Para el tratamiento del aire de alimentación vamos a utilizar un sistema de alta presión. Vamos a operar con presiones comprendidas entre 5 y 7 bares.

El tratamiento consta de varias etapas:

1) En la primera etapa se va a filtrar y a comprimir el aire ambiente hasta una presión de 7 bares. Mediante la filtración se obtiene un aire limpio, esto es necesario porque las impurezas y el polvo del aire pueden causar problemas en el generador de ozono. Mediante la instalación del compresor se obtiene el caudal de aire necesario para alimentar al generador de ozono.

Para la filtración el compresor tiene incorporado un filtro de admisión. Capaz de retener partículas de hasta 1 micra. El compresor que se utiliza es un compresor exento de aceite para evitar la contaminación del aire. Este compresor incorpora un sistema de refrigeración por aire, de modo que produce aire comprimido a una temperatura no muy elevada (aproximadamente 35°C).

2) En la segunda etapa del tratamiento se elimina la humedad del aire. La cantidad de humedad del gas de alimentación del generador de ozono no solo disminuye la producción de ozono sino que también favorece la contaminación de los dieléctricos del generador. Es necesario obtener un aire con un punto de rocío como mínimo de -40°C para ello se utiliza un secador por adsorción. El secador seleccionado puede trabajar en condiciones estándar con un gas de entrada a 7 bares y a una temperatura máxima de 50°C, por lo que no es necesaria una etapa de enfriamiento del aire de salida del compresor.

El compresor que se utiliza para el tratamiento es un compresor de pistones exento de aceite de la gama OZO-BK 55/100. Este compresor incorpora un sistema de refrigeración por aire y un filtro de aire. El caudal nominal es de 40 m³/h en condiciones normales. La presión máxima es de 8 bares, y la potencia es de 4 kW, las conexiones son de ½ pulgada de diámetro.

El aire comprimido se conduce al secador de absorción mediante una tubería de acero AISI 304 de ½ pulgada.

El secador esta compuesto por dos torres de adsorción, el relleno de las torres de secado, donde se produce la adsorción del agua contenida en el aire, es de alúmina activada. Puesto que el adsorbente no tiene una capacidad ilimitada de adsorción, sino que se satura al cabo de cierto tiempo de trabajo, el secador se compone de dos torres gemelas, de manera que, mientras una de ellas está en operación, la otra se encuentra en fase de regeneración. De esta manera se asegura un suministro ininterrumpido de aire seco.

En el secador, como se acaba de mencionar, cuando una de las torres esta funcionando la otra torre se regenera. Para ello se toma una parte del aire seco que sale de la torre que en ese momento esta en operación y mediante este aire se elimina la humedad de la otra torre. Durante un ciclo de operación, el aire comprimido húmedo entra en la columna a través de una válvula de cuatro vías y fluye por el lecho adsorbente, el cual recoge la humedad. El aire seco sale a través de la válvula de salida. Al mismo tiempo una pequeña porción de aire seco es derivada por un orificio calibrado hacia la otra columna, que se encuentra en la fase de regeneración. Este aire de purga arrastra la humedad del adsorbente y es venteado a la atmósfera a través de una válvula de dos vías. Antes de que cambie la columna en operación, la válvula de dos vías cierra, permitiendo que la columna en regeneración alcance la presión de línea. Esto evita sacudidas en el lecho o cambios en la capacidad de salida durante el ciclo siguiente.

El funcionamiento del secador se basa en la propiedad que posee el material desecante (alúmina activada) de adsorber la humedad durante la fase de operación y luego cederla en la fase de regeneración.

El secador que utilizamos es el modelo de la serie modula Heatless HM4 de la marca Cabesti. Las características técnicas son:

- Tensión de alimentación: 110/220 V - 50 Hz
- Consumo eléctrico: 25 W
- Consumo de aire de purga a 7 bar: 15%
- Máxima temperatura de trabajo: 50°C
- Máxima presión de trabajo: 145 - 175 psi (10 - 12 bar)
- Punto de rocío: -50°C a -60°C
- Duración del ciclo de operación (8 horas).
- Entrada/salida de aire acero AISI-304 DN ½ pulgad

El caudal de aire seco de salida del secador entra al generador de ozono mediante una tubería de acero de ½ pulgada de diámetro nominal de acero AISI 304.

9.5. Generador de ozono.

Previamente a la selección del generador de ozono se determinan las necesidades en concentración y caudal de ozono (*ver anexo nº6*), a partir de estos datos de partida se elige el generador de ozono más adecuado para el tratamiento.

El ozono es producido en el generador de ozono a partir de aire en fase gas a una presión entre 2 y 8 bares mediante la descarga de un arco eléctrico de alta tensión entre dos placas de un dieléctrico por el que circula el oxígeno. La presión se reduce hasta 1,5 bares en esta fase para facilitar una disminución de la resistividad del medio. Debido a la elevada temperatura que puede alcanzar la descarga eléctrica, y con el fin de evitar un estrés del dieléctrico y una termo-catálisis del ozono que provocaría una disminución del rendimiento de producción, el ozonizador se refrigera con agua de red.

El aire ozonizado sale del generador de ozono a través de una tubería de acero AISI 304 de ½ pulgada de diámetro nominal, esta línea se divide mediante una te de igual diámetro en dos líneas de las misma características que conducirán el aire ozonizado hasta los difusores colocados en cada uno de los compartimentos de la cámara de contacto. En cada una de estas líneas se dispone una válvula reguladora de caudal y un medidor de flujo.

De esta forma el generador de ozono seleccionado es el modelo NPO GL 16 que tiene las siguientes características:

-Ozono

Producción en aire 0-500 gr/h

Concentración en aire (en % en peso) 0-7 %

- Electricidad:

Tensión entrada (monofásica) 220 V/50 Hz.

Tensión maniobras 24 V.

Consumo eléctrico medio (alimentación aire) 3kwh.

-Pneumática

Presión entrada aire/oxígeno (mín./máx.) 4/10 bar

Presión de aire/oxígeno en dieléctricos (mín./máx.) 0,5/1,5 bar

Caudal de aire total máximo (se incluye el gasto del secador de adsorción) 40 m³/h.

-Refrigeración

Caudal de agua de refrigeración 1,4 m³/h.

Presión mín. entrada agua de refrigeración 1 bar.

-Conexiones:

Entrada aire/oxígeno 1/2".

Salida ozono 1/2".

Purga aire 1/8".

Purga ozono 1/4".

Descompresión de cuba 1/4".

Válvula de seguridad de aire 1/4".

Entrada/Salida agua 1/2".

Vaciado de cuba 1/2".

-Otras características:

Chasis de acero AISI-304 pulido industrial

Medidas (alto x ancho x fondo en mm)

2100 x 2485 x 1000

Peso aprox. (+/- 50 kgr.)

500 kgr.

9.6. Cámara de contacto.

En la cámara de contacto o de ozonización es donde se produce la desinfección del efluente secundario, tras la filtración previa, mediante la acción oxidante del ozono. Esta cámara debe tener las características adecuadas para conseguir la máxima eficiencia de la desinfección y la máxima transferencia del ozono al agua.

El efluente de la unidad de filtración se recoge en una arqueta desde donde se bombea a la cámara de ozonización. La entrada del agua a la cámara se produce a través de una tubería de acero (AISI 316) de 111,25mm de diámetro interior.

El ozono producido por el generador de ozono (aire ozonizado) entra a la cámara de contacto por los difusores situado en el fondo de cada uno de los compartimentos de la cámara de contacto. El gas y el agua fluyen en contracorriente.

La cámara de contacto que se proyecta consiste en una cámara compartimentada (dos compartimentos) con difusores de burbujas construida en hormigón (*ver anexo 6*). El diseño de la misma se ha llevado a cabo teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tiempo de contacto mínimo = 15 minutos.
- La cámara de contacto debe tener al menos 2 etapas separadas o compartimentos.
- Cada etapa debe estar claramente separada de las otras. No debe de existir intercambio entre etapas para evitar las zonas muertas.
- El flujo del agua y la corriente de ozono debe de ser a contracorriente para maximizar la eficiencia de la transferencia de ozono.

Las dimensiones de la cámara de contacto son (*ver plano n°3*):

Altura total = 2,16 m.

Altura útil = 2 m.

Anchura = 1,38 m.

Largo = 4,06 m.

A la hora de la elección y disposición de los difusores en la cámara de contacto se tienen en cuenta las siguientes consideraciones (Municipal Wastewater Disinfection, manual design, EPA/625/1-86/021) :

- Las burbujas formadas por el difusor deben tener un diámetro entre 2 y 3 mm.
- Cada difusor debe tener una válvula de control para el flujo de la corriente gaseosa de ozono y un medidor de flujo. La mayoría de los difusores deben situarse en la primera etapa para satisfacer la demanda inicial de ozono en esa etapa y así poder proporcionar una concentración uniforme de ozono residual a la etapa siguiente.

El caudal de diseño de aire ozonizado que sale del generador de ozono es de 28,23 Nm³/h (*anexo n°5*) de esta forma en el primer compartiendo de la cámara de contacto se introduce un caudal de 22,6 Nm³/h y en el segundo compartimiento o segunda etapa se introduce un caudal de 5,6 Nm³/h.

Se utilizan difusores de plato de acero inoxidable AISI 316, con un diámetro de 23 cm , con un flujo de 1,4 l/s por unidad. El tamaño de burbuja es de 2 a 3mm y la porosidad del 40 %.

Por lo tanto en el primer compartimiento de la cámara de contacto se disponen 5 difusores de plato y en el segundo se colocan 2 difusores.

9.7. Unidad de destrucción de ozono.

Por seguridad el gas a la salida de la cámara será conducido a un sistema de destrucción de ozono donde se destruirá el ozono no transferido al agua convirtiéndose a oxígeno. Este sistema se sitúa en el techo de la cámara de contacto.

El gas con ozono residual será recogido a la salida de la cámara de contacto y conducido a un destructor térmico-catalítico, para reducir la concentración a un contenido mínimo de 0,06 ppm de O₃ máximo.

La corriente de aire, antes de ponerse en contacto con el catalizador, será pre-calentada desde la temperatura ambiente hasta los 50-80 °C.

La pérdida de carga en el sistema se solventa por la colocación a la entrada del destructor de un ventilador.

Las características técnicas del destructor de ozono son:

<u>Reactor</u>	
pre-calentamiento	eléctrico
tipo	térmico - catalítico
Volumen de gas	max. 35 Nm ³ /hr
Volumen de gas	nom. 28 Nm ³ /hr
Temperatura de entrada	20 °C
control	relés estado sólido (PT 100)
Potencia eléctrica instalada, min.	2,5 kW

Dimensiones:

Diámetro	80 mm.
Altura total	1100 mm.
Peso, approx.	6,5 kg

9.8. Salida de la planta.

El agua sale de la cámara de ozonización a través de una tubería de acero AISI 316 de 4 pulgadas de 111,25 mm de diámetro interior. Esta agua es apta para el riego de campos de golf. La conducción hasta la balsa depósito de riego del campo de golf, no se diseña por no ser objeto del presente proyecto.

9.9. Tuberías, accesorios y bombas.

- Tuberías.

El cálculo de la sección de las tuberías se realiza en el anexo nº 7. En la siguiente tabla se muestra la selección de las tuberías constituyentes de las líneas principales del proceso.

Descripción de la línea		Caudal (m ³ /h)	D _{int} (mm)	D _{nominal} (in)	Nº de schedule
Principio	Fin				
Arqueta de salida de la E.D.A.R.	Filtro	25	111,25	4	10S
Salida del filtro	Arqueta de agua filtrada	25	111,25	4	10S
Arqueta agua de refrigeración	Tubería de salida del filtro	114,6	111,25	4	10S
Canal de recolección del agua de lavado	desagüe	114,6	111,25	4	10S
Arqueta de bombeo	Camara de contacto ozono-agua	25	111,25	4	10S
Camara de contacto ozono-agua	Salida de agua para el riego	25	111,25	4	10S

En cuanto a la línea de gas (aire y aire ozonizado), se utilizan tuberías de acero inoxidable AISI 304 con un diámetro nominal de ½ pulgada.

- Accesorios.

Las válvulas empleadas en la planta son principalmente de dos tipos:

- Válvulas de compuerta, que son muy utilizadas, sobre todo, en servicios donde se requieren frecuente cierre y apertura.
- Válvulas mariposa, muy utilizadas como elemento regulador.

Las uniones entre tramos de tuberías se llevarán a cabo mediante codos estándar, bien mediante crucetas o conexiones estándar en T. Todas las uniones de los tramos de tuberías de la instalación a los accesorios de unión van a ser realizados mediante bridas. El diámetro nominal de cada brida será idéntico al diámetro nominal de la tubería en la que se sitúe.

- Bombas.

En el tratamiento terciario se disponen dos tipos de bombas:

- Bomba centrífuga.
- Bomba sumergible.

Se instala una bomba centrífuga para la impulsión del agua desde la arqueta de salida de la EDAR hasta la unidad de filtración, las características de esta bomba son:

Tipo de bomba	Diámetro de rodete (mm)	Altura útil (m)	Rendimiento (%)	Potencia (kW)	NPSHr (m)
50-160.aF	137	3,75	69	0,4	2

Para el lavado del filtro se instala una bomba sumergible centrífuga monobloc dentro de la arqueta del agua para el lavado del filtro. Las características de esta bomba son:

Tipo de bomba	Diámetro de rodete(mm)	Altura útil (m)	Rendimiento (%)	Potencia (kW)	NPSHr (m)
IR4P-100-200C	184	9	77	3,75	4

Para impulsar el agua desde la arqueta de agua a la cámara de ozonización se instala una bomba sumergible monobloc con las siguientes características:

Tipo de bomba	Diámetro de rodete(mm)	Altura útil (m)	Rendimiento (%)	Potencia (kW)	NPSHr (m)
IR4P-50-160A	185	7	59	0,9	4

9.10. Distribución en planta.

El sistema de tratamiento terciario proyectado se ubica en una parcela anexa a la EDAR de Conil de la Frontera y que amplía la extensión de dicha EDAR.

La distribución en planta se presenta en el plano nº 2. Dicha distribución en planta se ha llevado a cabo de forma razonada, con el objetivo de obtener el mayor número de ventajas posible y reducir los inconvenientes que de la misma se pudieran derivar (problemas de seguridad, de funcionamiento o de acceso a las instalaciones). Se pretende reducir los costes al mínimo, por lo que la superficie requerida deberá ser la menor que garantice la seguridad y el correcto funcionamiento de la planta. Para la distribución en planta se han seguido los siguientes criterios:

- Ocupar el menor espacio posible.
- Agrupar los equipos relacionados para facilitar el mantenimiento y explotación.
- Dejar espacio suficiente para el acceso de personas o vehículos a los equipos.
- Posibilidad de ampliación: realizar la distribución de forma que sean factibles futuras ampliaciones de las instalaciones.
- Recorrido mínimo y continuo. Se pretende que los recorridos de las corrientes sean los menores posibles, con lo que se disminuye la duración del proceso. Además, de esta forma, se consiguen prevenir problemas de obstrucción de líneas.

9.11. Instalaciones anexas.

El tratamiento terciario dispondrá de los siguientes edificios anexas:

- Un edificio donde se sitúa el generador de ozono, compresor y el secador de adsorción. Este edificio dispondrá de la acometida de agua potable para la refrigeración del generador de ozono.
- Una caseta de bombeo, donde se sitúa la bomba centrífuga que impulsa el efluente de la EDAR al tratamiento terciario.

Capítulo 10. CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL TRATAMIENTO TERCIARIO.

10.1. Introducción.

La planta de tratamiento debe ser analizada como un proceso total para el diseño del sistema de instrumentación y control, el cual debe aplicar instrumentos para visualización, registro y control, que deben permitir lograr los siguientes objetivos:

- Operación segura de la planta.

Mantener las variables de proceso dentro de los límites seguros de operación.

Detección de situaciones peligrosas.

Prevención de procedimientos peligrosos de operación.

Anticiparse a condiciones particulares de operación por medio del conocimiento oportuno de parámetros que incidirán en la operación de la planta.

Producción de archivos históricos de datos de operación de la planta que permitan análisis o estudios posteriores tendientes a optimizar el proceso.

- Tasa de producción.

Mantener la disponibilidad y confiabilidad del servicio.

- Calidad del efluente.

Mantener la composición del efluente de la planta dentro de los estándares de calidad especificados.

- Costos.

Operación de la planta al menor costo posible, respetando las normas de calidad.

El sistema de supervisión y control típico de una variable esta compuesto de un sensor o transductor (elemento primario), un transmisor de señal, un controlador, un sistema de visualización y/o registro y un actuador.

10.2. Parámetros de control en la planta.

Desde el punto de vista de la instrumentación, se pueden distinguir dos tipos de parámetros a medir:

- Parámetros medibles en continuo, que son aquellos para los cuales la tecnología se ha desarrollado lo suficiente como para que existan instrumentos que los miden de una forma automática en tiempo real: Caudal, presión, temperatura,...
- Parámetros a determinar mediante análisis químico: Son aquellos que se medirán en el laboratorio, por lo que transcurre un determinado intervalo de tiempo entre la toma de la muestra y los datos analíticos de su composición. Ejemplos serian: sólidos en suspensión, DQO, DBO,...

10.3. Descripción de los sistemas y equipos.

Los instrumentos de control según el lugar que ocupen y la función que desempeñen se clasifican en:

- **Primarios:** colocados en el punto en donde se desea medir la variable, miden y transforman esta medida en una señal de transmisión que lleva el resultado de la medida a los aparatos secundarios.
- **Secundarios:** van colocados en panel, y son los que reciben la señal de los primarios (normalmente colocados en la sala de control).

A continuación se detalla la instrumentación utilizada en el tratamiento terciario proyectado.

- **Medidor de caudal:** Para la medición del caudal debe hacerse uso de medidores según el tipo de caudal volumétrico o másico deseado.

Debe adquirirse el conocimiento básico de los tipos de caudalímetros disponibles para realizar la mejor elección, entre los cuales se encuentran medidores magnéticos, ultrasónicos, de turbina, medidores venturi y de flujo de tubo, canaleta Parshall y vertederos, los cuales determinan el caudal directamente (desplazamiento) o indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

Debe suministrarse suficiente espacio para facilitar una salida de servicio del medidor y poder ser llevado a calibración o mantenimiento. El control del flujo debe realizarse continuamente tanto en el afluente como en el efluente. Deben someterse mínimo a una calibración mensual para que los datos sean confiables.

En el tratamiento terciario diseñado se lleva a cabo la medición del caudal en los siguientes puntos:

- caudal de entrada al tratamiento
- caudal de salida del tratamiento
- caudal de aire en el secador
- caudal de aire ozonizado de entrada a la cámara de contacto.

Para ello los medidores seleccionados son:

- Medidores magnéticos: Consisten en un carrete (generalmente del diámetro de la tubería en la que se va a medir el caudal, con una bobina especial alrededor de dicho carrete). Como no produce ningún estrechamiento en la tubería por donde pasa el agua no da lugar a pérdida de carga alguna, y por otra parte tampoco da lugar a acumulación de las materias en suspensión, que lleve el agua siendo, por tanto el medidor de caudal idóneo para aguas residuales.
- Rotámetros: Se utilizan para la medida del caudal de aire. Estos se colocaran en línea, con un diámetro igual o parecido al de la tubería del fluido cuyo caudal se quiere medir.
- Medidor de nivel: La medición del nivel debe ser muy cuidadosa para asegurar el funcionamiento correcto de cada proceso y obtener el balance adecuado del efluente del tratamiento.

Debe tenerse el respectivo conocimiento de los tipos de medidores de nivel, entre los cuales deben encontrarse los que miden directamente la altura del líquido sobre una línea de referencia, medidores de presión hidrostática, dispositivos que miden el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso y los medidores que aprovechan las características eléctricas del líquido.

Se realiza medición de nivel en los siguientes puntos:

- Nivel máximo de filtro.
- Nivel máximo y mínimo de la arqueta de agua filtrada.
- Nivel máximo y mínimo de la arqueta del agua para el lavado del filtro.

Se utilizan medidores de nivel de tipo sonda neumática. Se utiliza para la detección de niveles límites. Estos medidores formarán parte del automatismo del bombeo del agua de lavado y del agua filtrada a la cámara de ozonización. El funcionamiento de las bombas tiene lugar en automático, regulando la parada y la puesta en marcha de las bombas el nivel de agua del pozo.

- Medidor de presión: Los instrumentos de presión deben estar sujetos a los siguientes grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos. Es conveniente utilizar medidores manométricos, de presión diferencial de diafragma, capacitivos y ultrasónicos.

Se realiza la medida de presión antes y después de la unidad de filtración, con objeto de conocer la pérdida de carga producida y por tanto el grado de colmatación que es indicativo del momento de lavado del filtro. Para ello, se utilizan células de presión diferencial (DP Cell) y manómetros.

En la línea del aire de alimentación del generador de ozono, en el propio generador y en el aire ozonizado se realiza la medida de la presión. Para ello se utilizan presostatos que incorporan los propios equipos de tratamiento de aire y producción de ozono.

- Transmisores: Estos dispositivos captan la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o una combinación de estos, en forma de señal neumática de margen de 0,231 a 1,053 Kg/cm² (3 a 15

psi) o electrónica de 4 a 20 mA de corriente continua. El elemento primario puede formar o no parte integral del transmisor.

- Controladores: Estos dispositivos deben comparar la variable controlada con el valor deseado y ejercer una acción correctiva de acuerdo con la desviación. La variable controlada la pueden recibir directamente, como controladores locales o bien indirectamente en forma de señal neumática o electrónica procedente de un transmisor.

La calibración del controlador al valor deseado debe verificarse continuamente para que se efectúe a acción correctiva precisa y se optimice el proceso de tratamiento.

- Elementos de control final: después de los instrumentos de sensibilidad son necesario los sistemas de control final, los cuales deben permitir manipular y cambiar las condiciones del proceso para mantenerlas dentro del campo de medidad deseado, estos elementos reciben la señal del controlador y modifica el caudal de fluido o agente de control.
- Actuadores eléctricos: Deben usarse estos dispositivos para controlar la posición de válvulas y compuertas que ajusten el caudal dentro de un proceso de control continuo o discreto.
- Actuadores neumáticos e hidráulicos: Los usos que deben darse a estos actuadores son similares a los actuadores eléctricos con la diferencia de que estos operan en una forma diferente, lo cual se ve reflejado en los costos de operación.
- Válvulas de control: Deben tenerse válvulas como elementos de control final para regular o limitar la variable controlable.

Para la selección de la válvula deben analizarse las siguientes condiciones:

El tipo de válvula debe ser compatible con el medio en el cual se va a utilizar.

Debe acoplarse a las caídas de presión que se presentan en el sistema.

La rapidez y facilidad para ser operada en omentos críticos.

Los requerimientos de presión y temperatura de la válvula.

Compatibilidad del cuerpo y material de la válvula con el fluido del proceso.

Entre los diferentes tipos de válvulas deben acondicionarse principalmente las siguientes:

Válvulas de globo: Se colocaran en sistemas de control automático que es donde ofrecen mayores ventajas como sellos herméticos. Una ventaja de estas válvulas es su fácil manejo para sacarlas de operación cuando se presenten necesidades de mantenimiento. Deben emplearse cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas.

Válvulas de mariposa: Se colocaran en lugares donde no se disponga del espacio suficiente para otro tipo de válvulas, a la vez que se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión. En la selección de la válvula deben considerarse las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de cierre, ya que se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada.

10.4. Control de la unidad de filtración.

Los filtros rápidos necesitan de un sistema de control para regular la hidráulica del proceso. De lo contrario, al iniciar la operación con el filtro limpio dejando la válvula del efluente abierta, se notara que todo el flujo que entra, sale y el nivel de agua en el filtro no se restablece, quedando la superficie del lecho descubierta.

A medida que progresa la carrera, la velocidad de filtración decrece lentamente y el nivel del agua en el filtro va subiendo, en proporción a la pérdida de carga que se produzca. Llegaría un momento en el que el filtro rebosaría por completo si no se toman medidas a tiempo, lavando la unidad o cerrando el efluente.

Se utiliza un sistema de rata constante controlando el efluente del filtro. El sistema consta de:

- Una DP Cell que mide el nivel del agua en la celda filtrante (presión diferencial entre parte baja del agua en el filtro y atmósfera).
- Un controlador, cuyo punto de consigna es el nivel deseado.
- Una válvula automática que regula la salida del agua filtrada.
- Un manómetro con alarma situado en la línea de señal neumática que une el controlador y la válvula.

A medida que el filtro se va colmatando, el nivel del agua en el mismo tiende a subir y al ocurrir esto la señal de salida del controlador aumenta para que se abra más la válvula automática de la tubería de salida del agua filtrada.

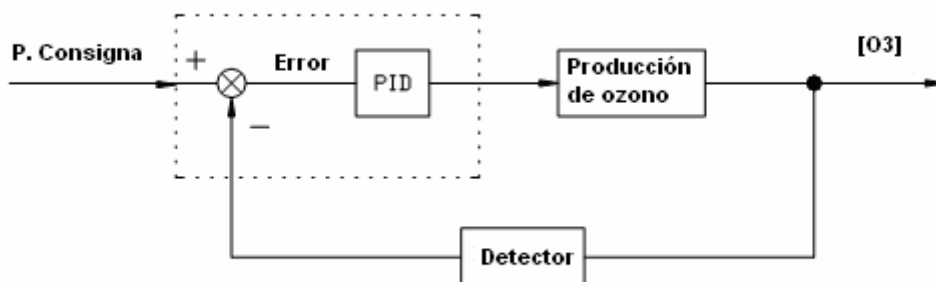
Cuando la señal del controlador alcanza el límite máximo prefijado, correspondiente al grado de colmatación máximo admisible, el manómetro colocado en la línea controlador–válvula activa su alarma y pone en marcha el proceso de lavado del filtro.

10.5. Control del proceso de ozonización.

El control del proceso de ozonización se realiza a partir de la medida de la concentración de ozono disuelto en el agua. La señal procedente del medidor de ozono disuelto se envía al controlador (microprocesador), al cual se le ha fijado un punto de consigna, variable a voluntad, de acuerdo con el ozono

disuelto que se desee que tenga el agua. A partir del nivel de ozono disuelto se controla la producción de ozono del generador.

El sistema de control de lazo cerrado que actúa en la ozonización es el siguiente:



El sistema de control se compone de los siguientes elementos:

- **Medidor de alta concentración.** Para el control de la producción de ozono.

Consiste de un fotómetro de alta concentración de absorción ultravioleta, con compensador de presión y temperatura, capaz de medir la concentración de ozono en aire y oxígeno entre 0,000 a 15,0% en peso con repetitividad de 1 por ciento o 1 dígito, cualquiera que sea más alto. El ajuste de la unidad será del 3 por ciento o mayor y el intervalo de tiempo del ciclo normal será de 20 segundos o menos.

La muestra de gas será de 1 litro/ m. El analizador utiliza un microprocesador y realiza el análisis del ozono en base a la Ley Beer- Lambert.

Dicho equipo se instala en caja NEMA 4X, y tiene un interruptor rotativo, capaz de detectar 5 niveles de concentración entre 0,000 y 15,000 % en peso. La unidad posee además, un panel LCD que muestra la concentración de ozono.

Así mismo, el analizador es suministrado con toma de muestra para la realización del cero y tiene su propia unidad de destrucción de ozono, para evitar realizar la purga de ozono en el aire. El analizador está equipado con bomba de toma de muestras, válvulas de regulación de presión, rotámetros, válvulas de regulación.

Las características técnicas del medidor de alta concentración son:

Modelo	HC – 500
Rangos	0-15% en peso
Ajuste	+/- % (Basado en Ley Lambert-beer)
Desplazamiento de cero	Menos de 0,001% en peso

- **Medidor de ozono disuelto.** Para control de la transferencia y seguimiento de la reacción.

Este aparato de medida se usa para determinar la concentración de ozono disuelto en el agua y controlar la producción dependiendo de este nivel. La unidad consiste de una célula de medida, un display separado y una unidad de control.

La célula de medida es una célula amperométrica cubierta de membrana en una unidad de sensor compacta. Incluye una amplificación integrada y una compensación de temperatura.

Las características técnicas del medidor de ozono disuelto son:

tipo		A15/64
Cantidad	piezs.	1
Rango de medida	ppm	0 - 20
Rango de operación de pH		3 - 9
Rango de temperatura	°C	- 2 a 52
Sensibilidad	mg/l	1%

10.6. Análisis realizados en laboratorio.

En el laboratorio se llevaran a cabo todos aquellos análisis de agua necesarios para la optimización de los procesos de tratamiento que no pueden llevarse a cabo en línea mediante los medidores instalados a lo largo del proceso y para controlar que la calidad del efluente es la deseada. Se tomaran muestras del afluente del tratamiento terciario, del agua de salida del filtro y del efluente del tratamiento terciario (agua para el riego).

Los caracteres analizados serán:

- Caracteres físico-químicos: contenido en nitratos, DQO, DBO, MES, ph, alcalinidad.
- Caracteres microbiológicos como son la concentración de nematodos intestinales y la concentración de coniformes fecales. El anales de nematodos se llevara a cabo por el método Teichman (sedimentación, centrifugación y conteo al microscopio) con una frecuencia semanal.
- Caracteres relativos a sustancias no deseables o toxicas: Como la concentración de metales como cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc. Estos caracteres se analizaran mediante adsorción atómica con una frecuencia semestral.

Capítulo 11. **MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN.**

11.1 Introducción.

El mantenimiento es uno de los factores indispensables para el buen funcionamiento y desarrollo de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales. Si se realiza convenientemente, la planta podrá explotarse al máximo rendimiento con el mínimo tiempo perdido en paradas no programadas. Se puede definir como el conjunto de técnicas y sistemas que actuando sobre los medios de producción permiten:

- Reparar las averías que se presenten.
- Prever estas averías mediante revisiones y otras técnicas mas complejas como técnicas estadísticas, y seguimiento y diagnostico de maquinas.
- Especificar las normas de manipulación y buen funcionamiento de los operadores de las maquinas.
- Perfeccionar diseños sucesivos de los medios.

11.2 Tipos de mantenimiento.

Existen cuatro tipos básicos de mantenimiento:

- **Mantenimiento Correctivo:** Se reparan todos aquellos defectos que han ocurrido o que se sabe que han ocurrido.
- **Mantenimiento Preventivo:** Consiste en la realización de rondas de supervisión o de sustitución en periodos fijos de tiempo.

- **Mantenimiento Funcional:** Consiste en la búsqueda de fallos no evidentes, fallos que normalmente afectan a los sistemas de protección y consiste en verificar periódicamente que estos funcionan.
- **Mantenimiento Predictivo:** Consiste en el análisis de parámetros de funcionamiento cuya evolución permite detectar un fallo antes de que este tenga consecuencias más graves.

En general, el mantenimiento predictivo consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en que periodo de tiempo ese fallo va a tomar una relevancia importante, para así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves.

Una de las características más importantes de este tipo de mantenimiento es que no debe alterar el funcionamiento normal de la planta mientras se está aplicando. La inspección de los parámetros se puede realizar de forma periódica o de forma continua, dependiendo de diversos factores como son: el tipo de planta, los tipos de fallos a diagnosticar y la inversión que se quiera realizar.

Según diferentes estudios se puede afirmar que las razones principales por las que una planta no funciona adecuadamente son la falta de presupuesto para el mantenimiento y el estado de conservación de los equipos.

Mediante un análisis de las causas del mal funcionamiento de diversas plantas existentes se obtienen los siguientes porcentajes:

- Mal funcionamiento por defectos de construcción y proyecto: 31%.

- Mal funcionamiento por anomalías en la red de distribución: 34%.
- Mal funcionamiento por fallos de mantenimiento y explotación: 35%.

Debido a estos datos se deduce que el mantenimiento es un factor decisivo a tener en cuenta para el éxito del proyecto.

La planta se gestionará diariamente bajo la responsabilidad del jefe de planta, que será el encargado de tomar las decisiones relativas al control del proceso y del proceso de mantenimiento.

Los operarios de planta y de mantenimiento empezaran a formarse durante la puesta en servicio, y su formación continuara durante el periodo inicial de operación, durante el cual será fundamental el apoyo técnico prestado por personal especializado.

11.3 Mantenimiento general.

En este punto del capítulo se recogen todas aquellas actividades que conducen a preservar y aumentar la vida útil de los equipos de la instalación, y a realizar las reparaciones necesarias.

Las actividades rutinarias de mantenimiento consistirán en:

- Control de vibraciones y ruidos.

Debe controlarse toda la presencia de vibraciones y ruidos, lo cual determina las condiciones de la maquinaria, estos problemas se presentan debido a:

Rotores sueltos o cuerpos extraños en motores.

Ejes desviados en motores y mezcladores

Defectos en lubricación de equipos mecánicos.

Pérdidas de corriente, cortos circuitos o fases invertidas en las conexiones de los equipos.

Fallas en los anclajes y acoples de los equipos de proceso.

- Conexiones entre equipos.

Deben corregirse los fallos presentes en conectores, accesorios, válvulas y todo el sistema de tuberías, relacionadas con fisuras, roturas, fugas y deterioros de los mismos; dependiendo de la magnitud de los daños se debe evaluar si es más conveniente cambiar totalmente el sistema de estudio.

- Lubricación.

Engrases y cambios de aceite: Básicamente, consiste en la realización de un manual de engrases y un seguimiento de las operaciones, mediante Fichas de Control de engrases y cambios de aceites.

- Control y sobrecalentamiento de partes eléctricas.

El sistema eléctrico y el tablero de controles deben estar bien protegidos, limpios y secos. Es indispensable medir y controlar fallos por altas temperaturas de los sistemas eléctricos, lo cual induce a trabajar forzosamente los equipos. El control se debe hacer sobre:

Voltajes requeridos para la operación.

Amperajes normales de funcionamiento.

Desajustes por alineamientos defectuosos.

Cortocircuitos.

Lubricación y funcionamiento de rodamientos

Es necesario tener en cuenta que la temperatura es la que determina la seguridad en el aislamiento.

- Revisión de motores.

Debe verificarse el correcto estado y funcionamiento de cada una de las partes de los motores, tales como:

1. Carcasa que permite proteger el extractor y demás partes internas del motor.
2. Estator que cumple las funciones de imán fijo para la inducción de la corriente.
3. Rotor que es el cuerpo móvil acoplado al eje y cumple las funciones de imán móvil en la inducción de la corriente.
4. Eje que es la parte móvil que transmite la energía a la bomba y soporta el peso del rotor y demás partes que apoyan en él.
5. Rodamientos que sirven para mantener el eje y el rotor en el perfecto alineamiento con las partes fijas durante la operación.
6. Ventilador que impulsa el aire para refrigerar el motor.
7. Soportes donde se fija el motor a la estructura de la base.
8. Niveles de aceite y combustible que favorecen el correcto funcionamiento del motor.
9. Conexiones eléctricas que permiten la adecuación del voltaje y amperaje correcto para la operación.

- Control de fugas.

Debe realizarse continuamente una inspección visual y/o por medio de equipos técnicos de todo el sistema de operación, tanto en tuberías, accesorios, válvulas y conexiones, como en los equipos de proceso, motores, bombas y compresores.

- Aplicación de pintura en estructuras.

Todo el sistema, estructuras, equipo y complementos debe llevar un recubrimiento de pintura anticorrosiva o impermeabilizante según el tipo de estructura, equipo o complemento, para protección del deterioro que producen los efectos del medio ambiente y a la vez preservar su vida útil, se exige:

1. Escoger el tipo de pintura apropiada para la estructura: muros, piedras, maderas, metales, asbesto-cemento, pisos, plásticos, pavimentos y maquinaria.
2. Considerar el uso de la estructura pintada y el ambiente al que esta expuesto: interiores, exteriores, exposición al aire, agua o bajo tierra, sometimiento al frío, calor, abrasión, golpes, dilataciones y al ataque de productos químicos diversos.
3. Evitar que pinturas o disolventes caigan a drenajes, tuberías o sistemas de la planta, con el fin de no afectar el proceso de tratamiento de aguas, las estructuras de trabajo y la calidad del agua tratada.

- Revisión de instrumentos y controladores.

Debe presentarse especial atención a los medidores y/o controladores de nivel, flujo, presión, temperatura, analizadores y elementos de control final, ya que son aparatos muy sensibles y tienden a descalibrarse fácilmente.

Se exige realizar una calibración semanal con respecto a un elemento patrón por medio del cual se puedan hacer medidas para conocer la exactitud de la calibración; dado el caso que los datos obtenidos no logren ser veraces, debe realizarse una elevación para examinar el fallo, si es necesario, se reemplazara el aparato.

- Pruebas de aislamiento.

Debe realizarse un control sobre las conexiones de equipos eléctricos, tales como motores, compresores y medidores, revisando que se encuentren en perfecto estado para evitar cortocircuitos.

Debe revisarse que todos los equipos, elementos y aparatos metálicos y eléctricos se encuentren conectados al polo a tierra para protección y descargas eléctricas de los mismos.

11.4. Mantenimiento específico.

En este punto se detallan las actividades de mantenimiento que se deben realizar a cada uno de los equipos constituyentes de la instalación.

11.4.1. FILTRO.

1. Revisión, reacondicionamiento y limpieza del filtro.
2. Limpieza de hojas u otros materiales flotantes en el filtro.
3. Lavado del filtro.
4. Reposición del material filtrante.
5. Verificar si existe en la estructura indicios de fisuras y detección de problemas para corregirlos.
6. Revisión del funcionamiento de las válvulas o compuertas.
7. Recolección de datos.

11.4.2. BOMBAS.

El mantenimiento rutinario de los equipos de bombeo incluye las siguientes actividades:

1. Comprobación de que los elementos de giro se desplazan libremente y sin ruidos anormales.
2. Comprobación del eje de impulsión.
3. Comprobación del estado de los cojinetes de acoplamiento y reemplazamiento en caso de desgaste. Engrase de los mismos.
4. Ajuste y empaquetado de las prensa-estopas en caso de detectar fugas.
5. Comprobación del panel del cuadro eléctrico.
6. Anotación de los problemas y de las observaciones realizadas: Horas de funcionamiento, medidas de la intensidad eléctrica, medidas de los indicadores de presión.
7. Comprobación de la temperatura y de las vibraciones de los motores.
8. Comprobación del ajuste de la bomba y el motor.
9. Engrase de los rodamientos.
10. Comprobación de los niveles de aceite.

11.4.3. COMPRESOR Y FILTRO DE AIRE.

El compresor de aire tiene incorporado un filtro de admisión para limpiar el aire de partículas y polvo. Este filtro está diseñado para retener partículas sólidas, interceptando las mismas mediante un elemento filtrante que puede ser de diversos materiales. Dicho elemento filtrante es recambiable y debe ser reemplazado periódicamente puesto que se va saturando. De acuerdo a los datos del fabricante se debe cambiar el filtro del compresor cada 5000 horas de funcionamiento.

El compresor utilizado es un compresor exento de aceite, el mantenimiento del mismo se basa en la revisión periódica de las condiciones de operación, revisión de partes mecánicas y sustitución de partes deterioradas.

11.4.4. SECADOR DE ADSORCIÓN.

Para la eliminación de la humedad del aire de alimentación se utiliza un secador de adsorción. La humedad es adsorbida por el material desecante. La mezcla de agua y sustancia desecante debe ser eliminada regularmente del adsorbedor, para ello el propio secador dispone de un sistema de regeneración automático.

Con el tiempo se consume la sustancia secante, y debe suplirse en intervalos regulares (2 a 4 veces al año).

11.4.5. SISTEMA DE DESINFECCIÓN MEDIANTE OZONO.

La generación de ozono utiliza una cantidad significativa de energía eléctrica. Por esto se debe dar una atención constante al sistema para asegurar que el uso de la energía es optimizado para un rendimiento controlado de la desinfección.

No deben existir conexiones con fugas dentro o en los alrededores del generador de ozono. El operador debe monitorear regularmente las subunidades apropiadas para asegurar que no estén recalentadas. Por lo tanto el operador debe verificar rutinariamente que no existan escapes puesto que una fuga muy pequeña puede causar concentraciones inaceptables de ozono en el ambiente. El equipo de monitoreo de ozono debe ser probado y calibrado según lo recomendado por el fabricante del equipo.

Tal como el oxígeno, el ozono tiene una solubilidad limitada y se descompone más rápidamente en agua que en el aire. Este factor, junto con la reactividad del ozono, requiere que la cámara de contacto de ozono esté bien cubierta y que el ozono se difunda al agua residual lo más eficazmente posible.

El ozono en forma gaseosa es explosivo una vez que alcanza una concentración de 240 g/m³. Puesto que la mayoría de los sistemas del proceso de ozonización nunca exceden una concentración gaseosa de ozono de 50 a 200 g/m³, esto no es generalmente un problema. Sin embargo, el ozono en forma gaseosa sigue siendo peligroso durante una cantidad significativa de tiempo, de modo que es necesario tomar medidas extremas de precaución cuando se operan sistemas del gas de ozono.

Es importante que las tuberías del generador de ozono, de distribución, de contacto, del gas de escape y de entrada a la unidad de destrucción de ozono sean purgadas antes de abrir los diversos sistemas o subsistemas. Al ingresar a la cámara de contacto de ozono, el personal debe estar consciente de que existe un potencial de deficiencia de oxígeno o de gas de ozono atrapado a pesar de que se realicen los mejores esfuerzos de limpieza del sistema. El operador debe estar enterado de todos los procedimientos de operación de emergencia requeridos en caso que surgiese un problema. Los operadores deben tener todo el equipo de seguridad industrial disponible para su utilización en caso de que suceda una emergencia. Los parámetros de operación y mantenimiento importantes incluyen:

- Abastecer al generador de ozono con un gas limpio de alimentación que tenga un punto de condensación igual o menor a -40 °C . Si el gas alimentado tiene humedad, la reacción de ozono y la humedad puede generar una condensación muy corrosiva en el interior del ozonizador. La producción del generador puede ser disminuida por la formación de los óxidos de nitrógeno (tales como ácido nítrico).
- Mantener el flujo requerido del enfriador del generador (aire, agua u otro líquido).
- Operar el generador de ozono dentro de los parámetros de diseño. Examinar y limpiar regularmente el ozonizador, el suministro de aire y los

ensamblajes dieléctricos, y monitorear regularmente la temperatura del generador de ozono.

- Hacer monitoreo del sistema de alimentación y distribución de ozono para asegurar que el volumen necesario tenga suficiente contacto con las aguas residuales.
- Mantener los niveles ambientales de ozono por debajo de los límites de las regulaciones de seguridad aplicables.

Para su funcionamiento cotidiano, los requerimientos operativos de los sistemas pequeños de ozonización pueden ser mínimos. Se estima que la tarea de mantenimiento diario tomará cerca de media hora al día. Estas cifras tan bajas se deben a que gran parte de la operación está automatizada. Sin embargo, en relación con la capacidad técnica, cuando hay que reparar o dar servicio al equipo de preparación de aire, al generador de ozono, al monitoreo automatizado o al sistema de control, se requiere un técnico altamente calificado.

Lo más común es automatizar completamente la función de monitoreo y ajuste de la dosificación, incluso en los sistemas más pequeños, pero esto solo se puede hacer en lugares donde el proveedor o el fabricante ofrece un servicio de apoyo seguro y confiable a los clientes.

11.5. Disponibilidad de repuestos.

En la bodega de almacenamiento debe tenerse suficiente cantidad de insumos para atender situaciones de emergencia, se exige:

1. Tener un inventario detallado de la existencia de equipos, dispositivos de control y medición, herramientas y todos los elementos que se encuentran en la bodega.

2. Una adecuada señalización para la ubicación de cualquier elemento requerido, agilizando así las actividades a realizar.
3. La responsabilidad del personal que se encuentre a cargo.
4. Llevar unas fichas de control de entradas y salidas de elementos utilizados en las actividades diarias.
5. Hacer la solicitud a tiempo de los elementos que se requieran con frecuencia.

11.6. Contratación externa de servicios.

Por la carencia de personal especializado o cuando la complejidad de trabajo lo requiera, se puede contratar servicios externos de mantenimiento, lo cual contribuye a disminuir los costos. Se recomienda efectuar por esta vía los siguientes trabajos:

Rebobinado de motores eléctricos.

Reparaciones complejas de motores a diesel o gasolina.

Reparación y calibración de equipos de control.

Reparación de tanques y otras estructuras de la planta.

Algunos trabajos de mantenimiento preventivo que las políticas de la planta permitan.

Para la contratación exterior de servicios, deben estudiarse los siguientes aspectos:

Certificar la capacidad del contratista.

Especificar detalladamente el motivo del contrato.

Acordar el tiempo de entrega.

Fijar el costo y la forma de pago.

Indicar el sitio de trabajo y de la entrega.

Concertar pruebas de funcionamiento.

Solicitar garantía de funcionamiento por un tiempo prudencial.

11.7. Gastos relacionados con el mantenimiento.

Esta contrastado que es más rentable realizar un mantenimiento de calidad que hacer reparaciones constantemente. Los ahorros que amortizan las nuevas instalaciones se obtienen durante el funcionamiento de las mismas y no comprando la instalación más barata. En términos económicos se puede afirmar que la rentabilidad de la inversión esta más relacionada con los ahorros logrados durante su funcionamiento que con la reducción de la inversión inicial.

Los gastos asociados al mantenimiento de las plantas industriales se dividen en dos tipos, directos e indirectos.

- **Costes directos.**

Son los costes propiamente generados por el mantenimiento, es decir, aquellos generados por los materiales de repuesto, mano de obra, formación, energía, herramientas, consumibles y subcontrataciones.

- **Costes indirectos.**

Son aquellos costes relacionados con el mantenimiento, o con la ausencia de mantenimiento. Son de mayor cuantía que los directos, y muchas veces o no son considerados, o no en su justa medida. Los costes indirectos se pueden dividir a su vez en:

- Costes inducidos.

- Perdidas de producción por perdidas de material en curso, por recortes, por disminución de la velocidad del proceso o ciclos de maquina.

- Sobrecoste energético debido a nuevos arranques y pérdidas de eficiencia de la instalación.
 - Deterioro de la calidad del producto.
 - Pérdidas de seguridad y accidentes.
 - Daños medioambientales.
 - Deterioro de la instalación por daños causados por una avería.
 - Envejecimiento prematuro de la instalación como consecuencia de un funcionamiento no adecuado.
 - Gastos financieros, debidos a los retrasos en las entregas.
- Costes de oportunidad.
- Lucro cesante, definido como el coste provocado por los beneficios no obtenidos, consecuencia de una menor producción, y por tanto de una menor venta. Éste es un coste especialmente importante para aquellas empresas de proceso continuo que trabajan al límite de su capacidad.
 - Pérdidas de imagen, debida a pérdidas de calidad y retraso en las entregas comprometidas.

Capítulo 12. SEGURIDAD E HIGIENE.

La seguridad e higiene dentro de la planta vendrá determinado por los siguientes puntos.

12.1. *Identificación de los riesgos laborales y las medidas adoptadas.*

El estudio se realiza teniendo en cuenta los riesgos comunes y los riesgos específicos para el personal de la planta.

12.1.1. RIESGOS COMUNES.

12.1.1.1. RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES AMBIENTALES.

Se hace referencia a las condiciones ambientales que rodean al trabajador, es decir, a todas aquellas condiciones que influyen en su organismo y, por tanto, en su actividad: el aire que respira, la temperatura en la que realiza su trabajo, etc. En definitiva, se refiere a su medio ambiente, a su medio ocupacional.

Exposición a agentes biológicos: bacterias, virus, parásitos, etc.

Las medidas de protección y actuación contra este tipo de contaminantes está recogido en el REAL DECRETO 664/1997, de 12 de mayo, "Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo".

A efectos del Real Decreto 664/1997 se entenderá por:

- a. Agentes biológicos: Microorganismos, con inclusión de los genéticamente modificados, cultivos celulares y endoparásitos humanos, susceptibles de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad.
- b. Microorganismo: Toda entidad microbiológica, celular o no, capaz de reproducirse o de transferir material genético.
- c. Cultivo celular: El resultado del crecimiento in vitro de células obtenidas de organismos multicelulares.

A efectos de lo dispuesto en el Real Decreto 664/1997, los agentes biológicos se clasifican, en función del riesgo de infección, en cuatro grupos:

- a. Agente biológico del grupo 1: Aquél que resulta poco probable que cause una enfermedad en el hombre.
- b. Agente biológico del grupo 2: Aquél que puede causar una enfermedad en el hombre y puede suponer un peligro para los trabajadores, siendo poco probable que se propague a la colectividad y existiendo generalmente profilaxis o tratamiento eficaz.
- c. Agente biológico del grupo 3: Aquél que puede causar una enfermedad grave en el hombre y presenta un serio peligro para los trabajadores, con riesgo de que se propague a la colectividad y existiendo generalmente una profilaxis o tratamiento eficaz
- d. Agente biológico del grupo 4: Aquél que causando una enfermedad grave en el hombre supone un serio peligro para los trabajadores, con muchas probabilidades de que se propague a la colectividad y sin que exista generalmente una profilaxis o un tratamiento eficaz.

En este caso los agentes biológicos de contaminación en el tratamiento terciario propuesto corresponderán al grupo 2.

Identificación y evaluación de riesgos.

1. De acuerdo con lo dispuesto en el artículo 2 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, identificados uno o más riesgos relacionados con la exposición a

agentes biológicos durante el trabajo, se procederá, para aquellos que no hayan podido evitarse, a evaluar los mismos determinando la naturaleza, el grado y duración de la exposición de los trabajadores. Cuando se trate de trabajos que impliquen la exposición a varias categorías de agentes biológicos, los riesgos se evaluarán basándose en el peligro que supongan todos los agentes biológicos presentes.

2. Esta evaluación deberá repetirse periódicamente y, en cualquier caso, cada vez que se produzca un cambio en las condiciones que pueda afectar a la exposición de los trabajadores a agentes biológicos. Asimismo se procederá a una nueva evaluación del riesgo cuando se haya detectado en algún trabajador una infección o enfermedad que se sospeche que sea consecuencia de una exposición a agentes biológicos en el trabajo.

3. La evaluación mencionada en el apartado anterior se efectuará teniendo en cuenta toda la información disponible y en particular:

- a. La naturaleza de los agentes biológicos a los que estén o puedan estar expuestos los trabajadores y el grupo a que pertenecen. En caso de duda entre dos grupos deberá considerarse en el de peligrosidad superior.
- b. Las recomendaciones de las autoridades sanitarias sobre la conveniencia de controlar el agente biológico a fin de proteger la salud de los trabajadores que estén o puedan estar expuestos a dicho agente en razón de su trabajo.
- c. La información sobre las enfermedades susceptibles de ser contraídas por los trabajadores como resultado de su actividad profesional.
- d. Los efectos potenciales, tanto alérgicos como tóxicos, que puedan derivarse de la actividad profesional de los trabajadores.
- e. El conocimiento de una enfermedad que se haya detectado en un trabajador y que esté directamente ligada a su trabajo.
- f. El riesgo adicional para aquellos trabajadores especialmente sensibles en función de sus características personales o estado

biológico conocido, debido a circunstancias tales como patologías previas, medicación, trastornos inmunitarios, embarazo o lactancia.

La evaluación revela que aunque la actividad en el tratamiento terciario no implica la intención deliberada de manipular agentes biológicos o de utilizarlos en el trabajo, puede provocar la exposición de los trabajadores a dichos agentes.

Las disposiciones a adoptar se detallarán a continuación.

Disposiciones a adoptar.

Reducción de riesgos

Habida cuenta de la actividad desarrollada, se reducirá el riesgo de exposición al nivel mas bajo posible para garantizar adecuadamente la seguridad y la salud de los trabajadores afectados.

Medidas higiénicas

- Prohibir que los trabajadores coman o beban en las zonas de trabajo en las que exista dicho riesgo.
- Los trabajadores dispondrán, dentro de la jornada laboral, de 10 minutos para su aseo personal antes de la comida y otros 10 minutos antes de abandonar el trabajo.
- El laboratorio deberá establecer medidas de contención de conformidad con el Anexo IV del Real Decreto 664/1997, a fin de reducir al mínimo el riesgo de infección. Se deberá utilizar un nivel 2 de contención.
- De acuerdo con el apartado 5 del artículo 14 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el coste de las medidas relativas a la seguridad y la salud en el trabajo no deberá recaer en modo alguno sobre los trabajadores.

Vigilancia de la salud de los trabajadores

Se garantizará una vigilancia adecuada y específica de la salud de los trabajadores en relación con los riesgos por exposición a agentes biológicos, realizada por personal sanitario competente, según determinen las autoridades sanitarias en las pautas y protocolos que se elaboren, de conformidad con lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 37 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

Información y formación de los trabajadores

Se tomarán las medidas apropiadas para garantizar que los trabajadores reciban una formación suficiente y adecuada e información precisa basada en todos los datos disponibles, en particular en forma de instrucciones, en relación con:

- a. Los riesgos potenciales para la salud. Son mínimos, siempre que se respeten unas medidas mínimas de higiene en la manipulación de los residuos sólidos y líquidos, de la planta.
- b. Las disposiciones en materia de higiene. Se expusieron en el apartado anterior.
- c. Las medidas que deberán adoptar los trabajadores en el laboratorio.

Exposición a agentes químicos: OZONO.

El ozono es utilizado en el tratamiento terciario de desinfección como agente desinfectante, es un gas inestable con un alto poder oxidante.

Identificación y evaluación de riesgos.

El ozono existe naturalmente en el ambiente. Probablemente las concentraciones a corto plazo más grandes ocurren cuando los rayos de las tormentas producen ozono. En el ambiente de oficina, el ozono se detecta cerca de las fotocopiadoras. Los soldadores están expuestos al ozono

producido por el arco durante el proceso de soldadura. Y los residentes que viven en grandes urbes como Denver, Los Angeles, Ciudad de México, Bogotá, Caracas, Sao Paulo, etc., están expuestos a concentraciones de ozono entre 0,5 a 1,0 ppm cuando el escape de los automóviles e industrias reacciona con la luz solar.

Los principales efectos del ozono sobre el organismo humano se producen por la inhalación del mismo. Estos efectos están comprendidos entre un olor no agradable hasta la generación de un edema pulmonar, e incluso hasta un envenenamiento letal.

Afecta a los pulmones, generando disminución de presión en la respiración, actúa sobre las mucosas dando origen a sequedad en la lengua, nariz y garganta. Genera irritación en los ojos, disminuyendo la agudeza visual. Otros síntomas son tos, dolor de cabeza, mareos, hemorragias nasales, pérdida de percepción de olores y sabores. Los límites de ozono para los ambiente de trabajo han sido definidos por varias organizaciones mundiales y se resumen a continuación:

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Ha establecido los límites para los ambientes de trabajo que se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Exposición al ozono

Exposición	Límites
Olor detectable	0,01-0,05 ppm
tos/irritación	
8 min	1 ppm
1 min	4 ppm
límite OSHA 8 h	0,1 ppm
límite OSHA 15 min	0,3 ppm

American National Standards Institute/American Society for testing Materials (ANSI/ASTM). Determina que el trabajador no debe estar expuesto a una concentración mayor de 0,1 mg/l (0,1 ppm) por ocho horas o más al día, y no debe estar expuesto a una concentración de 0,3 mg/l (0,3 ppm) por más de 10 minutos.

American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH). Define un nivel máximo de ozono de 0,1mg/l (0,1 ppm) para una jornada de trabajo normal de 8 horas al día o 40 horas semanales, y una concentración máxima de 0,3mg/l (0,3 ppm) para un tiempo máximo de 15 minutos.

Disposiciones a adoptar.

La seguridad en el diseño y operación de un sistema de ozonización es un aspecto prioritario. Todo el sistema de ozonización debe estar provisto de un sistema monitorizado de detección del ozono ambiente. Este sistema constará de un monitor que recogerá el valor de la concentración de ozono en el ambiente, en diversas zonas dentro de la planta. De esta forma tendremos información continua de la concentración de ozono en toda la planta. Este sistema además de medir la concentración de ozono, debe de disponer de una alarma sonora que se activará cuando en algunos de los puntos de medición la concentración de ozono alcance un valor de 0.1 ppm y debe parar el funcionamiento del sistema de ozonización cuando la concentración alcance un valor de 0.3 ppm. Por último, el sistema de seguridad debe estar perfectamente chequeado y calibrado por el fabricante.

El sistema de seguridad adoptado se compone un detector de fugas que determina cualquier posible fuga en la planta. Este mecanismo provoca una señal de alarma en caso de fuga de ozono. Todos los componentes eléctricos están ubicados en compartimentos estancos. El transmisor transfiere una señal

4- 20 mA, correspondiente al rango de medida. Las características técnicas de este detector son:

Unidades	1
Modelo	TOS 3
Detector Gas	Celda Electroquímica
Principio de Medición	0 - 1 ppm
Sensibilidad	NO ₂ , Cl ₂
Tiempo de respuesta	aprox. 2 a 3 minutos
Rango de Temperatura	0°C a + 45°C, periodos cortos hasta + 55°C (-20°C con protección temperatura)
Rango de humedad relativa	20% a 95%
Suministro eléctrico	18,5 – 30 V DC
Señal de salida	4 - 20 mA
Consumo Energético	aprox. 0,5 W
Área cubierta	aprox. 40 a 60 m ² en áreas cerradas (depende condiciones particulares)
Protección	IP 54

Como con cualquier sustancia toxica, los operadores deben ser conscientes de los riesgos potenciales y deben conocer los procedimientos de emergencia requeridos si algún problema ocurre. Además deben disponer del siguiente equipo de seguridad:

- Una mascara de oxigeno situada en un lugar donde no pueda llegar el ozono en caso de que ocurra una fuga.
- Una ducha para el lavado de los ojos.
- Manuales de seguridad con instrucciones para realizar la respiración artificial.

A parte de estas medidas el sistema de generación de ozono incluye los siguientes elementos de seguridad:

- Testigo de circulación de agua de refrigeración por sonda de detección de movimiento en caudalímetro de agua.
- Testigo de presión mínima de aire/oxígeno de red a través de presostato.
- Testigo de presión máxima de red a través de presostato y presostato de seguridad de regulación mecánica.
- Testigo de presión máxima de aire/oxígeno en dieléctricos a través de presostato.
- Compartimento aislado para el transformador y asegurado a través de 'switch' de final de carrera.
- Detector de fuga de ozono de elevada sensibilidad.
- Paro por sobreintensidad.
- Testigos de retorno de agua en acumulador de ozono y en cuba.
- Testigo de presencia de humedad.
- Control electrónico de variaciones eléctricas.
- Válvulas de seguridad contra sobrepresiones en cuba, circuito de agua y calderín acumulador de aire/oxígeno.
- Testigos de temperatura en transformador y en salida de ozono.

12.1.1.2. RIESGOS RELACIONADOS CON LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD.

De acuerdo con el Artículo 6 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, serán las normas reglamentarias las que fijarán y concretarán los aspectos más técnicos de las medidas preventivas, a través de las normas mínimas que garanticen la adecuada protección de los trabajadores.

Entre estas normas se encuentran las destinadas a garantizar la seguridad y salud en los lugares de trabajo de manera que, de su utilización, no se deriven riesgos para los trabajadores.

La Directiva 89/654/CEE, de 30 de noviembre, cuya transposición es el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

Los lugares de trabajo, en cuanto a su diseño y características constructivas, ofrecen seguridad frente a los riesgos de: resbalones o caídas, choques o golpes contra objetos, derrumbamientos o caídas de materiales sobre los trabajadores.

Así mismo, facilitan el control de las situaciones de emergencia, en especial en caso de incendio, y posibilitan, cuando sea necesario, la rápida y segura evacuación de los trabajadores.

Las vías de circulación de los lugares de trabajo, tanto exteriores como interiores, incluidas las puertas, pasillos, escaleras, escalas fijas, rampas, son adecuadas al número potencial de usuarios y a las características de la actividad.

- Las vías y salidas de evacuación, el sistema de protección contra incendios y la instalación eléctrica, se ajustan a lo dispuesto en su normativa específica.
- La señalización de la planta cumple con el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril.
- La iluminación se adapta a las características de la actividad que se efectúe en el lugar de trabajo, por lo que se han tenido en cuenta los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores dependientes de las condiciones de visibilidad y las exigencias visuales de las tareas desarrolladas.

12.1.1.3. RIESGOS DERIVADOS DE LA ORGANIZACIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO.

La mayoría de los tratados coinciden en definir, coloquialmente, el término “carga de trabajo” como “los efectos sobre el organismo del peso que el hombre lleva sobre sus hombros, tanto en sentido real como figurado, con ocasión del trabajo que realiza” (Monod, 1976).

Es evidente que a exigencias de trabajo iguales pudieran corresponder cargas de trabajo distintas, debidas fundamentalmente a las diferencias en la capacidad de las personas, los métodos de trabajo realizados, etc. de tal forma que la carga de trabajo no puede deducirse directamente de las exigencias del trabajo, puesto que dependerá de la interacción entre el sujeto y las exigencias del medio donde se desarrolle la acción.

Por tanto, una vez puesta en funcionamiento la planta, la empresa encargada de la explotación y mantenimiento de la misma, realizará una evaluación y control de los riesgos derivados de la organización de la carga de trabajo.

Los factores de riesgo derivados de la organización del trabajo son:

- La monotonía, o falta de interés por el trabajo. Este factor es muy importante pues provoca un aumento en las enfermedades coronarias, autodepresión y una reacción menos eficaz ante situaciones de emergencia.

Medidas preventivas: Evitar descomponer el trabajo en tareas cortas y repetitivas, y promover más alternancia en diferentes tareas.

- El trabajo por turnos. Puede desembocar en serias alteraciones del equilibrio físico, psíquico o social de la persona.

Medidas preventivas: Los horarios se diseñan adaptándose lo más posible a las exigencias del organismo y a las necesidades personales de los trabajadores.

- La autonomía. La capacidad para poder decidir sobre las medidas a adoptar sobre cualquier inconveniente que pueda aparecer.

Medidas preventivas: Los empleados de la estación depuradora deben adquirir mayor responsabilidad y mayor capacidad de toma de decisión dentro del puesto que ocupen.

- El contenido del trabajo. La posibilidad de poder aplicar los conocimientos y habilidades en el puesto de trabajo.

Medidas preventivas: El trabajo con contenido hace que el empleado se sienta útil en el conjunto del proceso en el que se desarrolla y para la sociedad en general.

- Futuro incierto. La inestabilidad en el empleo genera en la persona una pérdida de concentración en su tarea que lo hace ser menos eficaz.

Medidas preventivas: Fomentar trabajos estables y seguros. En el caso de los trabajos con contratos temporales se deberá notificar con antelación cualquier variación o ampliación del contrato a la persona interesada para que pueda prever con suficiente tiempo las medidas a adoptar para garantizar su estabilidad económica.

- Las relaciones personales. Comunicación directa con sus compañeros y superiores.

Medidas preventivas: Organizar un sistema que favorezca las relaciones interpersonales (zonas de descanso comunes, proximidad de trabajadores, etc.). El trabajador debe sentirse participe en el grupo.

12.1.2. RIESGOS ESPECÍFICOS.

12.1.2.1. PERSONAL DE MANTENIMIENTO.

Riesgos eléctricos: por contacto directo e indirecto.

El riesgo eléctrico se encuentra sobre en la manipulación de las bombas y sobre todo en el equipo de generación de ozono.

Medidas preventivas: es importante localizar el riesgo eléctrico para poderlo eliminar o reducir aplicando medidas preventivas relacionadas con las condiciones de seguridad. Estas pueden ser de dos tipos: informativas y de protección.

Las medidas informativas advierten de la posibilidad de riesgos, como es el caso de las señales, o mediante la exposición al personal que trabaja con electricidad de los posibles riesgos y las precauciones que se deben tomar.

Las medidas de protección hacen la distinción entre contacto directo e indirecto. Para el contacto directo, las medidas están destinadas a proteger a las personas del riesgo que implica el contacto con las partes activas de la instalación con los equipos eléctricos (alejamiento de las partes activas, interposición de obstáculos, recubrimiento de las partes activas).

Las medidas contra contactos indirectos forman dos grandes grupos: las primeras orientadas a la supresión del riesgo, y las segundas a la utilización de dispositivos de corte automático y desviación de corriente a tierra para evitar sus efectos. Las medidas de protección son: doble aislamiento, separación de circuitos, pequeña tensión de seguridad.

En cualquier instalación eléctrica se debe cumplir “las cinco reglas de oro”:

1. Abrir todas las fuentes de tensión.
2. Enclavamiento o bloqueo, si es posible, de los aparatos de corriente.
3. Reconocimiento de la ausencia de tensión.
4. Poner a tierra y en cortocircuito todas las posibles fuentes de tensión.
5. Delimitar la zona de trabajo mediante señalización o pantallas aislantes.

Riesgo del uso de máquinas y herramientas.

Todas las máquinas utilizadas en la planta cumplen con el Reglamento de seguridad en máquinas (R.D. 1495/86).

Las medidas preventivas en el uso de máquinas son: correcta ubicación, uso adecuado y respeto a las protecciones intrínsecas.

Las herramientas empleadas son de tres tipos: eléctrica (taladradora, rozadora, radial o rotaflex, etc.), mecánica (pistola clavadora, etc.) y manual (martillos, mazas, alicates, tenazas, destornilladores, etc.).

Riesgos más comunes:

- Proyección de fragmentos y partículas.
- Golpes, cortes, heridas y punzamientos.
- Contactos eléctricos.
- Polvo.
- Ruido y vibraciones.

Medidas preventivas:

- Uso por personal autorizado y capacitado de las herramientas.
- Uso de la herramienta adecuada.
- Comprobar su buen estado.
- No forzar la herramienta.
- No dejarla abandonada y guardarla correctamente.
- Si es eléctrica enchufar con clavija, y no indirectamente con hilos.
- Reparaciones por personas capacitadas para ello.

12.1.2.2. PERSONAL DE LABORATORIO.

Riesgos derivados de la manipulación de sustancias químicas: se producen derrames de sustancias que provocan graves daños en la salud de las personas. Las medidas preventivas van orientadas a la enseñanza de técnicas de manipulación y técnicas de almacenamiento adecuadas a cada muestra. Se emplean los equipos de protección en el laboratorio adecuados (guantes, protectores oculares, etc.).

12.2. Medidas complementarias de seguridad en la planta.

12.2.1. PROTECCIONES INDIVIDUALES Y COLECTIVAS.

Los operarios de la planta (el personal de mantenimiento) deben emplear los siguientes equipos de protección individual:

- Gafas universales, pantalla facial (operaciones de soldadura).
- Botas de seguridad.
- Mono de trabajo.
- Guantes.

Como medida de protección colectiva para evitar accidentes y deterioros, se colocará una valla periférica a la instalación. En cuanto a la seguridad de las personas, en el pozo, se dispone de una barandilla perimetral, así como la colocación de una cuerda en los extremos del pozo.

12.2.2. PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN LA PLANTA.

12.2.2.1 .EXTINTORES.

En cada una de las zonas debe haber como mínimo, dos extintores móviles, uno de eficacia 89 B y otro de eficacia 8 A.

En las zonas de riesgo eléctrico como en los cuadros eléctricos se situarán extintores de CO₂. Los extintores se revisarán periódicamente, de acuerdo con la legislación vigente y recomendaciones del fabricante, y como mínimo una vez al año. Se mantendrá un libro de registro actualizado con las pruebas realizadas.

12.2.2.2. EQUIPOS AUXILIARES.

En el laboratorio se dispondrá de :

- Una manta ignífuga.
- Una estación de agua para la ducha y lavaojos.
- Botiquín de primeros auxilios.

Otros equipos como las bocas de incendio equipadas y el plan de emergencia contra incendios quedarán integrados y especificados dentro del sistema de protección contra incendios de la propia EDAR.

Capítulo 13. **BIBLIOGRAFÍA.**

- Arboleda Valencia, J. "Teoría y práctica de la purificación del agua". McGraw-Hill, 2000.
- Aznar Carrasco, A., "Técnicas de Aguas. Problemática y Tratamiento", ed. Alcion, S.A., 1997.
- Crites, R., Tchobanoglous, G., "Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados", ed. McGraw-Hill Interamericana, S.A., 2000.
- Degremont, "Manual Técnico del Agua", 4ª edición, 1979.
- D.N.W. Kentish "Tuberías industriales. Diseño, selección, cálculo y accesorios". Ed Urmo. 1994.
- Fundación Mapfre, "Manual de Higiene Industrial", ed. Mapfre S.A., 1991.
- Greene, R. W. "Válvulas: Selección, uso y mantenimiento". Editorial McGraw-Hill, 1987.
- Hernández Muñoz, A., "Saneamiento y Alcantarillado. Vertidos Residuales", ed Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 2001.
- Hernández Muñoz, A., "Depuración y Desinfección de Aguas Residuales", ed Thomson Learning Paraninfo, 2001.
- Hernández Muñoz, A., Henandez Lehmann, A., Galan Martinez, P., "Manual de depuración Uralita. Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20000 habitantes" ed. Paraninfo, S.A., 1996.

- LLuis Sala y Xavier Millet.” Aspectos básicos de la reutilización de las aguas residuales regeneradas para el riego de campos de golf“ ed. Consorcio de la Costa Brava 2000.
- Manual A.Winkler,”Tratamiento Biológico para Aguas de Desecho”,ed Limusa, S.A. de C.V.,1986.
- Metcalf & Hedí, “Ingeniería de Aguas Residuales.Tratamiento,Vertido y Reutilización”,ed. Mc Graw-Hill/Interamericana de España, S.A.,1995.
- Mujeriego, R., “Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Manual Practico”,ed.Rafael Mujeriego,1990.
- Perry Y COLS.”Manual del Ingeniero Químico”,ed.Advisory Borrad,1997.
- Ribas, F.,Matia Ll.”La desinfección del agua y la eliminación de los microorganismos patógenos”,Ibérica.Actualidad Tecnológica, 1999.
- Ramalho, R. S., “Tratamiento de Aguas Residuales”, ed. Reverté, S.A.,1991.
- U.S. Environmental Protection Agency, “Municipal Wastewater Disinfection, Manual Design”, EPA/625/1-86/021, 1986.
- Water Environmental Federation, Wastewater Disinfection. Manual of Practice FD-10” Ed. Alexandria (USA) 1996.
- Water Pollution Control Federation,”Water reuse.Manual of Practice SM-3”,ED. Imperial Printing Co.,1991.

DIRECCIONES DE INTERNET.

- [http:// www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- <http://www.directindustry.com>
- <http:// www.infoagro.com>
- <http://www.itur.com>
- <http://www.juntadeandalucia.es>
- <http://www.kobold.com>
- <http://www.leripresa.com>
- <http://www.matche.com>
- <http:// www.ozoney.com>
- <http://www.oxitres.com>
- <http://www.saer.com>
- <http:// www.triozon.com>
- <http://www.usfilter.com>
- <http://www.wedeco.com>

ANEXOS DE LA MEMORIA.

ÍNDICE

ANEXO N°1. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DE LA EDAR	157
1.1. PARÁMETROS BÁSICOS.....	157
1.2. NUTRIENTES.....	159
1.3. CONTENIDO MICROBIOLÓGICO.....	160
ANEXO N°2. CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN..	161
ANEXO N°3. DIAGRAMA DE FLUJO.....	177
ANEXO N°4. UNIDAD DE FILTRACIÓN.....	178
4.1. INTRODUCCIÓN.....	178
4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA UNIDAD.....	178
4.3. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FILTRANTE.....	179
4.4. CANAL DE ENTRADA.....	180
4.5. CÁLCULOS DEL SISTEMA DE LAVADO.....	180
ANEXO N°5. GAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE OZONO.	184
5.1. SELECCIÓN DEL GAS DE ALIMENTACIÓN.....	184
5.1.1. INTRODUCCIÓN.....	184
5.1.2. PRODUCCIÓN DE OZONO A PARTIR DE OXÍGENO.....	184
5.1.3. PRODUCCIÓN DE OZONO A PARTIR DE AIRE AMBIENTE.....	185
5.1.4. COMPARACIÓN DE COSTES.....	187
5.2. DIMENSIONAMIENTO DEL CAUDAL DEL AIRE DE ALIMENTACIÓN.....	188
5.3. CÁLCULO DE LA HUMEDAD DEL AIRE DE ALIMENTACIÓN.....	189
5.4. DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO DEL AIRE DE ALIMENTACIÓN.....	191
ANEXO N°6. DEMANDA DE OZONO.....	194
6.1. INTRODUCCIÓN.....	194
6.2. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS DE OZONO NECESARIA.....	194
6.3. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE OZONO NECESARIO.....	199
6.4. SELECCIÓN DEL GENERADOR DE OZONO.....	200
ANEXO N°7. CÁMARA DE CONTACTO OZONO-AGUA.....	202
7.1. INTRODUCCIÓN.....	202
7.2. TIEMPO DE CONTACTO.....	202
7.3. SELECCIÓN DEL TIPO DE CÁMARA DE CONTACTO.....	202
7.4. VOLUMEN DE LA CÁMARA DE CONTACTO.....	203
7.5. GEOMETRÍA DE LA CÁMARA DE CONTACTO.....	203
7.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFUSORES.....	205
7.7. UNIDAD DE DESTRUCCIÓN DE OZONO.....	206
ANEXO N°8. ESTUDIO HIDRÁULICO.....	207

8.1. INTRODUCCIÓN.	207
8.2. SECCIÓN DE LAS TUBERÍAS.	207
8.3. CÁLCULOS DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA.	209
8.3.1. PÉRDIDAS DE CARGA EN CONDUCCIONES.	209
8.3.2. PÉRDIDAS DE CARGA EN EL FILTRO.	212
ANEXO N°9. SELECCIÓN DE BOMBAS.	223
9.1. INTRODUCCIÓN.	223
9.2. BOMBA CENTRÍFUGA EN LA ARQUETA DE SALIDA DE LA EDAR.	223
9.3. BOMBAS SUMERGIBLES PARA EL LAVADO DEL FILTRO.	227
9.4. BOMBA SUMERGIBLE EN LA ARQUETA DE AGUA FILTRADA.	228

ANEXO N°1. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DE LA EDAR.

La EDAR de Conil de la Frontera es una depuradora de tipo convencional con tratamiento secundario de fangos activados. Actualmente en la planta se trata un caudal medio diario de 6110 m³/d.

Los datos que se han utilizado para la caracterización del efluente han sido proporcionados por el ingeniero responsable de la EDAR y son datos de diversos estudios llevados a cabo en la EDAR en los últimos años.

La caracterización se divide en tres apartados, en primer lugar se estudia los parámetros básicos del agua residual (DBO, DQO, MES), la conductividad y el PH. En segundo lugar el contenido en nutrientes y por último el contenido microbiológico.

1.1. Parámetros básicos.

A partir de los datos disponibles se realiza un estudio estadístico con el fin de obtener un valor promedio de la concentración de cada parámetro.

En el caso de la DBO, DQO y MES, se ha calculado además los percentiles 10 y 90 y se ha vuelto a calcular el valor promedio sin tener en cuenta los valores que no se encontraban en este intervalo, dado que en estos parámetros los datos presentaban mayor desviación.

Los resultados obtenidos se recogen a continuación:

Fecha	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	MES (mg/l)	Conductividad (ms/cm)	PH (unid ph)
17/05/2000		77	22	1,65	7,8
29/05/2000	15	49	9	1,28	7,8
19/06/2000	28	44	7	1,25	7,7
11/07/2000	35	65	16	1,63	7,8
28/08/2000	14	107	12	1,44	7,6
25/09/2000	10	50	10	1,29	7,7
23/10/2000	10	35	14	1,08	7,7
28/11/2000	43	44	13	1,43	7,6
12/12/2000		39	13	1,36	7,4
08/01/2001	14	26	7	1,05	7,5
05/02/2001	14	35	10	1,01	7,4
05/03/2001	25	42	17	0,85	7,5
02/04/2001	38	34	26	1,07	7,8
24/05/2001	10	79	7	1,29	7,7
05/06/2001	10	42	10	1,36	
02/08/2001	38	47	30	1,46	
06/09/2001		51	15	1,38	
04/10/2001	25	46	11	1,42	
07/11/2001	40	40	9	1,21	
11/12/2001	10	62	27	1,21	
15/01/2002	30	72	34	1,24	
05/02/2002	23	62	21	1,49	
05/03/2002	54	74	23	0,78	
14/04/2002	24	80	18	1,55	
07/05/2002	30	89	28	1,53	
24/06/2002	20	77	24	1,39	
PROMEDIO	24,3478261	56,4615385	16,6538462	1,29615385	7,64285714
MAX	54	107	34	1,65	7,8
MIN	10	26	7	0,78	7,4
DESVEST	12,6045039	20,1856004	7,91425199	0,22130661	0,14525461
PERCENTIL 10	10	35	8		
PERCENTIL90	39,6	79,5	27,5		

	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	MES (mg/l)
	15	77	22
	28	49	9
	35	44	16
	14	65	12
	10	50	10
	10	44	14
	14	39	13
	14	42	13
	25	42	10
	38	47	17
	10	51	26
	10	46	10
	38	40	15
	25	62	11
	10	72	9
	30	62	27
	23	74	21
	24	77	23
	30		18
	20		24
PROMEDIO	21,15	54,61	16
DESVEST	9,78	13,49	5,93

1.2. Nutrientes.

El procedimiento es el mismo, con los datos disponibles se obtiene un valor promedio de las concentraciones de los nutrientes del efluente.

	Nitratos (mg/l)	Nitrogeno total (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Fosforo total (mg/l)
18/06/2001	54,4	21	9,2	9,13
19/06/2001	59	21,5	8,8	8,85
20/06/2001		21,3		8,91
21/06/2001		31,2		9,45
24/06/2001		16,1		9,57
25/06/2001		16,5		8,55
PROMEDIO	56,7	21,3	9	9

1.3. Contenido microbiológico.

El principal objetivo del tratamiento terciario es la desinfección del efluente, es decir, reducir el contenido microbiológico del efluente hasta los valores mínimos exigidos para su reutilización en el riego de campos de golf.

Se calcula el valor promedio de los parámetros microbiológicos del efluente.

Muestreo	Clostridium perfringens (UFC/100ml)	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Estreptococos fecales (UFC/100ml)
2M-26/04/05	3000	700000	66000
3M-16/05/05	6650	-	48300
4M-14/06/05	8600	83700	29700
5M-04/07/05	9000	1170000	102000
Promedio	6813	902333	61500
Des. Est.	2741	241715	30800

ANEXO N°-2. CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN.

Para el cálculo las necesidades de riego del campo de golf es necesario conocer los valores de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el valor de la precipitación. Para ello se acude a los datos de la estación agrometeorológica de Conil de la Frontera facilitados por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, de esta forma se dispone de datos de la evapotranspiración de referencia diaria y la precipitación diaria desde el 2002 al 2005. A partir de estos datos se obtiene la precipitación anual y la evapotranspiración de cada año.

- *Calculo para el 2002.*

FECHA	Precipitación(mm)	Eto(mm)	FECHA	Precipitación (mm)	Eto(mm)
01/01/2002	0	2,64	03/07/2002	0	5,15
02/01/2002	0	2,11	04/07/2002	0	5,17
03/01/2002	15,8	1,03	05/07/2002	0	4,78
04/01/2002	0	1,4	06/07/2002	0	5,21
05/01/2002	0	2,61	07/07/2002	0	6,43
06/01/2002	0	2,52	08/07/2002	0	4,36
07/01/2002	0	2,67	09/07/2002	0	5,17
08/01/2002	0	1,89	10/07/2002	0	4,97
09/01/2002	0	2,04	11/07/2002	0	5,05
10/01/2002	0	1,84	12/07/2002	0	5,2
11/01/2002	0	2,04	13/07/2002	0	5,01
12/01/2002	0	1,91	14/07/2002	0	5,32
13/01/2002	0	1,23	15/07/2002	0	7,98
14/01/2002	0	1,31	16/07/2002	0	8,99
15/01/2002	0	1,11	17/07/2002	0	9,59
16/01/2002	0	1,41	18/07/2002	0	8
17/01/2002	0,2	1,35	19/07/2002	0	4,93
18/01/2002	0	1,07	20/07/2002	0	4,59
19/01/2002	0	1,23	21/07/2002	0	4,87
20/01/2002	0	1,57	22/07/2002	0	5,03
21/01/2002	0	1,41	23/07/2002	0	4,51
22/01/2002	0	1,02	24/07/2002	0	4,92
23/01/2002	0	0,92	25/07/2002	0	6,37
24/01/2002	0	1,19	26/07/2002	0	7,24
25/01/2002	0	1,32	27/07/2002	0	7,18
26/01/2002	0	1,67	28/07/2002	0	7,05
27/01/2002	0	1,69	29/07/2002	0	5,2
28/01/2002	0	1,92	30/07/2002	0	4,8

29/01/2002	0	1,98	31/07/2002	0,2	4,08
30/01/2002	0	1,48	01/08/2002	0	4,92
31/01/2002	0	1,59	02/08/2002	0	4,56
01/02/2002	0	2,17	03/08/2002	0	4,18
02/02/2002	0	2,54	04/08/2002	0	4,76
03/02/2002	0	1,61	05/08/2002	0	4,02
04/02/2002	0	1,38	06/08/2002	0	4,39
05/02/2002	0	1,42	07/08/2002	0	4,61
06/02/2002	0	1,69	08/08/2002	0	4,04
07/02/2002	0	1,32	09/08/2002	0	4,12
08/02/2002	0	2,56	10/08/2002	0,2	4,53
09/02/2002	0	2,24	11/08/2002	0	4,82
10/02/2002	0	1,27	12/08/2002	0	7,77
11/02/2002	0	1,46	13/08/2002	0	6,86
12/02/2002	0	1,87	14/08/2002	0	3,23
13/02/2002	0	1,69	15/08/2002	0	3,73
14/02/2002	0	1,93	16/08/2002	0	4,33
15/02/2002	0	1,54	17/08/2002	0	4,79
16/02/2002	0	2,95	18/08/2002	0	4,37
17/02/2002	0	1,46	19/08/2002	0	4,19
18/02/2002	0	1,92	20/08/2002	0	4,42
19/02/2002	0,4	2,06	21/08/2002	0	4,54
20/02/2002	0	2,15	22/08/2002	0,2	4,59
21/02/2002	0	1,87	23/08/2002	0	4,3
22/02/2002	0	2,63	24/08/2002	0	3,46
23/02/2002	0	2,42	25/08/2002	0	3,41
24/02/2002	0	1,97	26/08/2002	0	3,8
25/02/2002	0	1,82	27/08/2002	0	3,52
26/02/2002	0	1,82	28/08/2002	0,2	3,96
27/02/2002	0	1,89	29/08/2002	0	3,98
28/02/2002	0	1,9	30/08/2002	0	3,91
01/03/2002	0	0,83	31/08/2002	0	3,8
02/03/2002	0	2,13	01/09/2002	0	4,2
03/03/2002	0	2,36	02/09/2002	0	4,06
04/03/2002	2,8	1,71	03/09/2002	0	3,37
05/03/2002	14,8	1,96	04/09/2002	0	3,67
06/03/2002	0	2,1	05/09/2002	0	3,55
07/03/2002	0	2,22	06/09/2002	0	3,56
08/03/2002	0	2,08	07/09/2002	0	3,39
09/03/2002	0	2,18	08/09/2002	0,2	3,61
10/03/2002	0	2,06	09/09/2002	0	3,25
11/03/2002	0	2,5	10/09/2002	0	3,66
12/03/2002	0	3,22	11/09/2002	0	3,78
13/03/2002	0	2,49	12/09/2002	0	3,36
14/03/2002	0	2,14	13/09/2002	0	3,18
15/03/2002	0	1,49	14/09/2002	0	2,84
16/03/2002	3,8	2,25	15/09/2002	0	3,44
17/03/2002	0	1,81	16/09/2002	9,4	1,88
18/03/2002	0	1,33	17/09/2002	7,4	3,16
19/03/2002	0	2,77	18/09/2002	0	3,41
20/03/2002	0	3,03	19/09/2002	0,2	3,39
21/03/2002	0	3,17	20/09/2002	0	3,34

22/03/2002	0	4,53	21/09/2002	2,2	3,22
23/03/2002	0	3,77	22/09/2002	5,8	2,67
24/03/2002	0	4,02	23/09/2002	0,2	3,27
25/03/2002	0	4,33	24/09/2002	0	2,23
26/03/2002	0	4,5	25/09/2002	0	2,69
27/03/2002	0	4,72	26/09/2002	0	2,99
28/03/2002	1,8	1,83	27/09/2002	0,2	3,06
29/03/2002	2	2,91	28/09/2002	0	2,87
30/03/2002	0	3,97	29/09/2002	0	4,13
31/03/2002	0	4,11	30/09/2002	0,2	4,27
01/04/2002	10,6	1,58	01/10/2002	3,8	2,07
02/04/2002	0,6	2,95	02/10/2002	1,4	2,56
03/04/2002	2	3,02	03/10/2002	0	4,11
04/04/2002	3	2,02	04/10/2002	0	4,41
05/04/2002	6,2	2,24	05/10/2002	0	4,37
06/04/2002	1,6	2,01	06/10/2002	0	2,51
07/04/2002	10,2	1,84	07/10/2002	0	2,43
08/04/2002	5,4	2,99	08/10/2002	0	2,3
09/04/2002	0	3,75	09/10/2002	10,6	2,1
10/04/2002	0	3,56	10/10/2002	0,2	1,82
11/04/2002	4,4	2,33	11/10/2002	0,2	2,38
12/04/2002	0,4	3	12/10/2002	0	2,37
13/04/2002	0	2,51	13/10/2002	0,2	2,09
14/04/2002	0	3,24	14/10/2002	0	2,24
15/04/2002	0	3,54	15/10/2002	0	2,18
16/04/2002	0	3,39	16/10/2002	3,6	1,14
17/04/2002	0	3,77	17/10/2002	0,4	2,23
18/04/2002	0	3,61	18/10/2002	0	2,94
19/04/2002	0	3,78	19/10/2002	0	4,32
20/04/2002	0	5,83	20/10/2002	0,2	3,15
21/04/2002	0	7,03	21/10/2002	5,4	2,1
22/04/2002	0	6,17	22/10/2002	0,4	1,56
23/04/2002	0	6,49	23/10/2002	3	1,94
24/04/2002	0	6,61	24/10/2002	0,2	2,19
25/04/2002	0	4,98	25/10/2002	0	2,58
26/04/2002	0	4,31	26/10/2002	0	3,18
27/04/2002	0	3,68	27/10/2002	0	3,97
28/04/2002	0	2,87	28/10/2002	0	4,86
29/04/2002	0	3,92	29/10/2002	0,4	0
30/04/2002	0	5,03	30/10/2002	0	1,82
01/05/2002	0	4,27	31/10/2002	0	1,76
02/05/2002	0	4,4	01/11/2002	0	2,12
03/05/2002	0	4,4	02/11/2002	0	1,88
04/05/2002	0	5,03	03/11/2002	0	1,78
05/05/2002	0	3,34	04/11/2002	0	1,37
06/05/2002	0	4,44	05/11/2002	0	2,1
07/05/2002	4,2	2,42	06/11/2002	0	1,67
08/05/2002	5,6	3,3	07/11/2002	0	3,87
09/05/2002	0,2	3,03	08/11/2002	0	2,38
10/05/2002	0	3,42	09/11/2002	0	1,28
11/05/2002	0	3,69	10/11/2002	0	1,21
12/05/2002	0	4,24	11/11/2002	0,2	1,4

13/05/2002	0	4,41	12/11/2002	0	1,05
14/05/2002	0	5,03	13/11/2002	18,8	1,23
15/05/2002	0	7,25	14/11/2002	30,4	1,01
16/05/2002	0	7,17	15/11/2002	7,6	1,18
17/05/2002	0	3,99	16/11/2002	0,4	1,16
18/05/2002	0	5,1	17/11/2002	0	1,11
19/05/2002	0	7,03	18/11/2002	2,2	1,03
20/05/2002	0	6,14	19/11/2002	36,6	0,78
21/05/2002	0	4,56	20/11/2002	9,8	0,99
22/05/2002	0	3,9	21/11/2002	3,8	1,03
23/05/2002	0	4,67	22/11/2002	3,2	1,02
24/05/2002	0	5,97	23/11/2002	4,2	1,03
25/05/2002	0	5,05	24/11/2002	23,4	1,25
26/05/2002	0	4,99	25/11/2002	2,4	1,04
27/05/2002	0	5	26/11/2002	0,4	0,8
28/05/2002	0	4,76	27/11/2002	4	0,86
29/05/2002	0	6,93	28/11/2002	18,8	1,02
30/05/2002	0	6,86	29/11/2002	0	1,2
31/05/2002	0	4,43	30/11/2002	0	1,14
01/06/2002	0	4,72	01/12/2002	0,2	0,8
02/06/2002	0	2,85	02/12/2002	1	1,05
03/06/2002	0	3,71	03/12/2002	0	0,87
04/06/2002	0	4,26	04/12/2002	0	0,89
05/06/2002	0	4,17	05/12/2002	0,2	1,25
06/06/2002	0	4,81	06/12/2002	0	1,64
07/06/2002	0	4,52	07/12/2002	0	1,23
08/06/2002	0	4,65	08/12/2002	0	0,69
09/06/2002	0	5,02	09/12/2002	19	0,83
10/06/2002	0	5,15	10/12/2002	7,4	0,82
11/06/2002	0	0	11/12/2002	24,4	0
12/06/2002	0	8,51	12/12/2002	0,8	1,06
13/06/2002	0	7,36	13/12/2002	5,2	1,4
14/06/2002	0	6,85	14/12/2002	9	0,94
15/06/2002	0	6,46	15/12/2002	0,2	1,08
16/06/2002	0	7,3	16/12/2002	1,8	1,73
17/06/2002	0	6,75	17/12/2002	6,6	1,3
18/06/2002	0	4,87	18/12/2002	12,2	1
19/06/2002	0	4,18	19/12/2002	0,8	0,92
20/06/2002	0	4,96	20/12/2002	0,2	0,85
21/06/2002	0	5,49	21/12/2002	0,2	1,14
22/06/2002	0	5,54	22/12/2002	0	1,49
23/06/2002	0	5,15	23/12/2002	0	0,95
24/06/2002	0	5,08	24/12/2002	0,2	0,94
25/06/2002	0	3,31	25/12/2002	0	0,84
26/06/2002	0	4,7	26/12/2002	0,2	0,93
27/06/2002	0	5,18	27/12/2002	25,2	1,14
28/06/2002	0	4,99	28/12/2002	0	1
29/06/2002	0	3,17	29/12/2002	0,2	1
30/06/2002	0	4,57	30/12/2002	1,8	0,69
01/07/2002	0	4,8	31/12/2002	0,2	0,8
02/07/2002	0	5,06			

$$ETo(anual) = \sum ETo(diaria) = 1163.15mm$$

$$Precipitacion(anual) = \sum Precipitacion(diaria) = 435.8mm$$

- **Calculo para el 2003.**

FECHA	Precipitación(mm)	Eto (mm)	FECHA	Precipitación(mm)	Eto (mm)
01/01/2003	0	0,9	03/07/2003	0	5,39
02/01/2003	0,2	0,85	04/07/2003	0	5,27
03/01/2003	0,4	0,87	05/07/2003	0	5,27
04/01/2003	7,2	0,79	06/07/2003	0	6,01
05/01/2003	4,6	0,95	07/07/2003	0	7,65
06/01/2003	0,4	1,07	08/07/2003	0	6,18
07/01/2003	10,2	0,84	09/07/2003	0	5,58
08/01/2003	8,8	0,91	10/07/2003	0	5,53
09/01/2003	6	1,07	11/07/2003	0	5,28
10/01/2003	0	1,26	12/07/2003	0	4,16
11/01/2003	0	1,1	13/07/2003	0	3,05
12/01/2003	0	1,18	14/07/2003	0	4,88
13/01/2003	0	1,31	15/07/2003	0	4,54
14/01/2003	0	1,35	16/07/2003	0	5,34
15/01/2003	0	1,27	17/07/2003	0	4,9
16/01/2003	0,2	1,1	18/07/2003	0	4,9
17/01/2003	0	0,84	19/07/2003	0	5,6
18/01/2003	0	0,9	20/07/2003	0	4,65
19/01/2003	0,2	1,18	21/07/2003	0	4,83
20/01/2003	14,8	1	22/07/2003	0	4,93
21/01/2003	5	1,05	23/07/2003	0	4,96
22/01/2003	14,8	0,63	24/07/2003	0	4,94
23/01/2003	0,4	0	25/07/2003	0	5,2
24/01/2003	0	1,82	26/07/2003	0	4,98
25/01/2003	0	1,75	27/07/2003	0	5,2
26/01/2003	0	2,21	28/07/2003	0	5,16
27/01/2003	0	1,5	29/07/2003	0	6,91
28/01/2003	0	1,44	30/07/2003	0	7,34
29/01/2003	0	1,7	31/07/2003	0	8,08
30/01/2003	0	1,59	01/08/2003	0	6,28
31/01/2003	0	1,95	02/08/2003	0	9,08
01/02/2003	0	1,77	03/08/2003	0	9,01
02/02/2003	0	1,42	04/08/2003	0	9,2
03/02/2003	0	1,49	05/08/2003	0	8,41
04/02/2003	0	1,23	06/08/2003	0	8,48
05/02/2003	0	1,4	07/08/2003	0	8,94
06/02/2003	0,2	1,27	08/08/2003	0	8,14
07/02/2003	1,4	0,86	09/08/2003	0	8,46

08/02/2003	3,4	1,49	10/08/2003	0	8,04
09/02/2003	0	1,5	11/08/2003	0	8,1
10/02/2003	0,2	1,19	12/08/2003	0	8,62
11/02/2003	0	1,62	13/08/2003	0	7,92
12/02/2003	0	1,55	14/08/2003	0	4,8
13/02/2003	0	1,49	15/08/2003	0	4,87
14/02/2003	0	1,28	16/08/2003	0	4,66
15/02/2003	0,2	1,89	17/08/2003	0	4,24
16/02/2003	0	1,78	18/08/2003	0	4,56
17/02/2003	0	1,45	19/08/2003	0	4,55
18/02/2003	0,4	1,22	20/08/2003	0	4,64
19/02/2003	16	1,4	21/08/2003	0	4,64
20/02/2003	4,6	1,5	22/08/2003	0	3,54
21/02/2003	0	2,04	23/08/2003	0	4,09
22/02/2003	10,8	1,8	24/08/2003	0	4,03
23/02/2003	0	2,49	25/08/2003	0	3,97
24/02/2003	0,2	0	26/08/2003	0	4,1
25/02/2003	5,4	1,04	27/08/2003	0	4,05
26/02/2003	11,8	1,26	28/08/2003	0	3,64
27/02/2003	0	2,02	29/08/2003	0	3,81
28/02/2003	0	1,94	30/08/2003	0	4,15
01/03/2003	0,2	2,12	31/08/2003	0	4,02
02/03/2003	0	2,2	01/09/2003	0	4,06
03/03/2003	0,2	2,58	02/09/2003	0	3,81
04/03/2003	0,2	2,52	03/09/2003	0	3,66
05/03/2003	0	1,98	04/09/2003	0	3,66
06/03/2003	0	2,18	05/09/2003	0	3,71
07/03/2003	0	1,98	06/09/2003	0	3,52
08/03/2003	0	2,59	07/09/2003	0	3,55
09/03/2003	0	3,39	08/09/2003	0	3,74
10/03/2003	0	3,7	09/09/2003	0	3,76
11/03/2003	0	4,33	10/09/2003	0	5,44
12/03/2003	0	3,94	11/09/2003	0	7,42
13/03/2003	0	2,63	12/09/2003	0	7,28
14/03/2003	0	2,56	13/09/2003	0	6,8
15/03/2003	0,2	3,08	14/09/2003	0	5,38
16/03/2003	1,8	3,24	15/09/2003	0	6,77
17/03/2003	1,2	3,33	16/09/2003	0	6,73
18/03/2003	0	2,6	17/09/2003	0	6,15
19/03/2003	0	2,52	18/09/2003	0	5,87
20/03/2003	0	2,67	19/09/2003	0	6,13
21/03/2003	0	3,34	20/09/2003	0	5,68
22/03/2003	0	3,14	21/09/2003	0	2,82
23/03/2003	0	3,03	22/09/2003	0	3,38
24/03/2003	0	3,96	23/09/2003	0	3,15
25/03/2003	0	3,65	24/09/2003	0	4,72
26/03/2003	4,4	2,77	25/09/2003	0	4,56
27/03/2003	24	1,01	26/09/2003	0	5,12
28/03/2003	9,2	1,71	27/09/2003	0	3,86
29/03/2003	7,8	1,17	28/09/2003	0	2,12
30/03/2003	0	3,14	29/09/2003	0	2,3
31/03/2003	0,2	2,71	30/09/2003	24,8	0,94

01/04/2003	0	2,18	01/10/2003	21,4	2,8
02/04/2003	0	3,36	02/10/2003	0,2	2,71
03/04/2003	0	4,36	03/10/2003	0	2,63
04/04/2003	0	4,16	04/10/2003	1,2	1,17
05/04/2003	0	4,53	05/10/2003	0	1,96
06/04/2003	0	4,91	06/10/2003	22,8	2,34
07/04/2003	0	3,68	07/10/2003	0,2	2,1
08/04/2003	0	2,96	08/10/2003	0	3,44
09/04/2003	0	3,61	09/10/2003	0	3,52
10/04/2003	0	2,52	10/10/2003	0	3,14
11/04/2003	4,2	2,01	11/10/2003	2,2	2,04
12/04/2003	0	3,73	12/10/2003	0	2,63
13/04/2003	9,8	2,29	13/10/2003	0	1,84
14/04/2003	13,2	2,72	14/10/2003	0	2,14
15/04/2003	8,2	2,06	15/10/2003	0,2	1,85
16/04/2003	0	3,49	16/10/2003	17,4	1,83
17/04/2003	0	4,11	17/10/2003	2	2,07
18/04/2003	0	3,5	18/10/2003	0	1,79
19/04/2003	7,4	3,32	19/10/2003	10	1,45
20/04/2003	0,6	3,79	20/10/2003	0,4	1,99
21/04/2003	0	4,42	21/10/2003	20	1,22
22/04/2003	34	1,76	22/10/2003	1	1,65
23/04/2003	0	3,57	23/10/2003	0	2,35
24/04/2003	0	3,84	24/10/2003	0	1,94
25/04/2003	0	3,99	25/10/2003	7,4	1,65
26/04/2003	0	2,24	26/10/2003	7,6	1,1
27/04/2003	0,2	4,77	27/10/2003	32,8	1,08
28/04/2003	0,2	2,69	28/10/2003	4,4	1,59
29/04/2003	0	3,83	29/10/2003	4,8	1,63
30/04/2003	0	3,8	30/10/2003	1,6	1,75
01/05/2003	0	3,48	31/10/2003	21,4	1,1
02/05/2003	0	4,53	01/11/2003	0	1,65
03/05/2003	0,2	5,71	02/11/2003	0	1,4
04/05/2003	0	4,46	03/11/2003	0	1,15
05/05/2003	0,4	3,12	04/11/2003	0,2	2,02
06/05/2003	1,2	4,06	05/11/2003	0	2,48
07/05/2003	0	3	06/11/2003	0	2,73
08/05/2003	0	3,49	07/11/2003	0	2,18
09/05/2003	0	4,44	08/11/2003	0	1,02
10/05/2003	0	6,37	09/11/2003	0	1,23
11/05/2003	0	5,67	10/11/2003	16,8	1,35
12/05/2003	0	6,58	11/11/2003	0,2	1,59
13/05/2003	0	6,13	12/11/2003	0	1,37
14/05/2003	0	7,1	13/11/2003	0,2	1,36
15/05/2003	0	6,01	14/11/2003	0	1,21
16/05/2003	0	4,53	15/11/2003	8,2	0,9
17/05/2003	0	4,33	16/11/2003	0	1,8
18/05/2003	0	5,53	17/11/2003	0	1,78
19/05/2003	0	6,16	18/11/2003	0	1,58
20/05/2003	0	6,98	19/11/2003	0	1,47
21/05/2003	0	7,32	20/11/2003	0,2	1,15
22/05/2003	0	8,05	21/11/2003	0	1,42

23/05/2003	0	7,43	22/11/2003	34	1,16
24/05/2003	0	4,79	23/11/2003	15,2	1,08
25/05/2003	0	6,35	24/11/2003	34,4	1,37
26/05/2003	0	5,63	25/11/2003	0	1,2
27/05/2003	0	7,53	26/11/2003	0	0,95
28/05/2003	0	7,51	27/11/2003	3	1,14
29/05/2003	0	7,5	28/11/2003	0	0,95
30/05/2003	0,2	4,29	29/11/2003	0	1,04
31/05/2003	0	3,93	30/11/2003	5,6	0,86
01/06/2003	0	4,08	01/12/2003	6,2	0,99
02/06/2003	0	4,62	02/12/2003	0	0,82
03/06/2003	0	4,91	03/12/2003	28,8	0,88
04/06/2003	0	4,24	04/12/2003	50,6	0,78
05/06/2003	0	5,15	05/12/2003	18,4	1,32
06/06/2003	0	6,91	06/12/2003	17,6	1,16
07/06/2003	0	7,44	07/12/2003	1,6	0,78
08/06/2003	0	5,47	08/12/2003	12,8	0,62
09/06/2003	0	5,76	09/12/2003	14,8	0,74
10/06/2003	0	5,59	10/12/2003	0,4	1,14
11/06/2003	0	8,33	11/12/2003	0	0,89
12/06/2003	0	8,94	12/12/2003	0	0,91
13/06/2003	0	5,51	13/12/2003	0	1,13
14/06/2003	0	4,57	14/12/2003	0,2	0,9
15/06/2003	0	4,77	15/12/2003	0	0,72
16/06/2003	0	4,54	16/12/2003	0,2	1,15
17/06/2003	0	4,46	17/12/2003	2	1,34
18/06/2003	0	7,53	18/12/2003	2,6	0,82
19/06/2003	0	9,49	19/12/2003	0	0,86
20/06/2003	0	8,11	20/12/2003	0	1,18
21/06/2003	0	6,59	21/12/2003	0	1,04
22/06/2003	0	3,9	22/12/2003	0,2	1,03
23/06/2003	0	4,7	23/12/2003	0	1,32
24/06/2003	0	4,41	24/12/2003	0	1,34
25/06/2003	0	5,31	25/12/2003	0	1,88
26/06/2003	0	5,07	26/12/2003	0	1,37
27/06/2003	0	5,2	27/12/2003	1,6	0,78
28/06/2003	0	4,75	28/12/2003	0,8	0,94
29/06/2003	0	3,57	29/12/2003	0	0,81
30/06/2003	0	4,37	30/12/2003	0	0,98
01/07/2003	0	5,28	31/12/2003	0	0,89

$$ETo(anual) = \sum ETo(diaria) = 1231.21mm$$

$$Precipitacion(anual) = \sum Precipitacion(diaria) = 737.6mm$$

- **Calculo para el 2004.**

FECHA	Precipitación (mm)	Eto (mm)	FECHA	Precipitación (mm)	Eto (mm)
01/01/2004	0,2	0,9	02/07/2004	0,2	5,42
02/01/2004	0,2	0,92	03/07/2004	0	6,43
03/01/2004	0,2	1,39	04/07/2004	0	7,34
04/01/2004	0	1,36	05/07/2004	0	5,76
05/01/2004	0	1,53	06/07/2004	0,2	5
06/01/2004	0	1,19	07/07/2004	0,2	5,58
07/01/2004	0	0,77	08/07/2004	0	5,88
08/01/2004	0,2	0,74	09/07/2004	0	6,47
09/01/2004	0	0,95	10/07/2004	0	6,14
10/01/2004	0,2	1,31	11/07/2004	0	5,06
11/01/2004	0,2	0,84	12/07/2004	0	5,23
12/01/2004	0,2	1,03	13/07/2004	0	7,93
13/01/2004	0,2	0,75	14/07/2004	0	8,02
14/01/2004	0	0,88	15/07/2004	0	7,55
15/01/2004	3	0,81	16/07/2004	0	5,98
16/01/2004	0	0,98	17/07/2004	0	4,96
17/01/2004	0,2	0,89	18/07/2004	0	4,79
18/01/2004	0	1,34	19/07/2004	0	5,01
19/01/2004	0	1,95	20/07/2004	0	4,99
20/01/2004	0	1,02	21/07/2004	0	5,08
21/01/2004	0	0,88	22/07/2004	0	4,73
22/01/2004	0,2	0,95	23/07/2004	0	4,81
23/01/2004	0	0,91	24/07/2004	0	5,53
24/01/2004	0,2	0,67	25/07/2004	0	5,18
25/01/2004	0,2	0,8	26/07/2004	0	5,49
26/01/2004	0	0,8	27/07/2004	0	5,01
27/01/2004	0	0,89	28/07/2004	0	4,79
28/01/2004	3,4	0,9	29/07/2004	0	4,59
29/01/2004	0,4	1,07	30/07/2004	0	5,16
30/01/2004	0	1,21	31/07/2004	0	6,64
31/01/2004	0	1,09	01/08/2004	0	4,29
01/02/2004	0	1,23	02/08/2004	0	4,67
02/02/2004	0	1,9	03/08/2004	0	4,71
03/02/2004	0	2,28	04/08/2004	0	4,68
04/02/2004	0	2,41	05/08/2004	0	4,71
05/02/2004	0	2,53	06/08/2004	0	6,14
06/02/2004	0	2,36	07/08/2004	0	4,83
07/02/2004	0	1,65	08/08/2004	0	4,12
08/02/2004	0	1,91	09/08/2004	0,4	3,58
09/02/2004	0	2,43	10/08/2004	0	3,36
10/02/2004	0	2,45	11/08/2004	0	4,45
11/02/2004	0	2,39	12/08/2004	0	4,8
12/02/2004	0	1,5	13/08/2004	0	4,77
13/02/2004	0	1,59	14/08/2004	0	5,17
14/02/2004	0,2	1,5	15/08/2004	0	4,7
15/02/2004	0	1,45	16/08/2004	0	4,67
16/02/2004	0	1,6	17/08/2004	0,2	3,31
17/02/2004	0	1,78	18/08/2004	0	4,22

18/02/2004	0	2,53	19/08/2004	0	4,28
19/02/2004	0	2,41	20/08/2004	0	4,46
20/02/2004	4,4	1,42	21/08/2004	0	6,45
21/02/2004	6,6	2,11	22/08/2004	0	7,48
22/02/2004	6	1,54	23/08/2004	0	5,39
23/02/2004	8,4	1,15	24/08/2004	0	4,72
24/02/2004	19,4	0,99	25/08/2004	0	4,68
25/02/2004	5,8	1,53	26/08/2004	0	2,89
26/02/2004	3,8	1,65	27/08/2004	0	3,83
27/02/2004	0	2,02	28/08/2004	0	4,07
28/02/2004	2	2,03	29/08/2004	0	3,99
29/02/2004	0,8	1,95	30/08/2004	0	3,86
01/03/2004	0,6	1,54	31/08/2004	0	3,92
02/03/2004	0	2,38	01/09/2004	0	3,77
03/03/2004	0	2,49	02/09/2004	0,6	2,48
04/03/2004	0	2,18	03/09/2004	0	3,29
05/03/2004	0,2	2,02	04/09/2004	0	3,04
06/03/2004	0,6	2,08	05/09/2004	0	3,55
07/03/2004	0	2,19	06/09/2004	0	3,57
08/03/2004	0,2	2,27	07/09/2004	0	3,53
09/03/2004	0,2	2,35	08/09/2004	0	3,7
10/03/2004	0	2,02	09/09/2004	0	3,19
11/03/2004	0	2,12	10/09/2004	0	3,67
12/03/2004	5	1,48	11/09/2004	0	3,63
13/03/2004	6	1,98	12/09/2004	0,2	3,41
14/03/2004	0	2,34	13/09/2004	0	3,43
15/03/2004	0	2,4	14/09/2004	0,2	3,03
16/03/2004	0	2,8	15/09/2004	0	3,02
17/03/2004	0	3,24	16/09/2004	0	4,85
18/03/2004	0	2,8	17/09/2004	0	5,42
19/03/2004	0	2,58	18/09/2004	0	4,75
20/03/2004	0,2	3,73	19/09/2004	0	3,37
21/03/2004	0	3,46	20/09/2004	0	5,22
22/03/2004	0	3,85	21/09/2004	0	4,6
23/03/2004	0	3,49	22/09/2004	0	4,53
24/03/2004	0	2,95	23/09/2004	0	3,64
25/03/2004	0	3,62	24/09/2004	0	2,33
26/03/2004	0	2,93	25/09/2004	0	2,45
27/03/2004	7,6	1,67	26/09/2004	0	2,5
28/03/2004	12	1,38	27/09/2004	0	5,2
29/03/2004	19,4	2,48	28/09/2004	0	5,01
30/03/2004	0,2	2,8	29/09/2004	0	3,88
31/03/2004	1,4	2,62	30/09/2004	0	3,5
01/04/2004	17,8	1,03	01/10/2004	0	4,83
02/04/2004	2,4	2,99	02/10/2004	0	5,06
03/04/2004	0	3,91	03/10/2004	0	5,48
04/04/2004	0	4,38	04/10/2004	0	4,58
05/04/2004	0	4,22	05/10/2004	0	2,9
06/04/2004	0	3,64	06/10/2004	0	2,06
07/04/2004	0	3,47	07/10/2004	0	4,11
08/04/2004	2	3,27	08/10/2004	1,2	2,76
09/04/2004	1,8	2,08	09/10/2004	1,2	2,12

10/04/2004	1	3,59	10/10/2004	6	1,81
11/04/2004	0	3,47	11/10/2004	0	2,35
12/04/2004	0	3,63	12/10/2004	0	1,99
13/04/2004	0	4,82	13/10/2004	0	2,19
14/04/2004	0	4,26	14/10/2004	0	2,35
15/04/2004	19,4	1,2	15/10/2004	0	2,15
16/04/2004	0	2,84	16/10/2004	0	2,05
17/04/2004	0	3,59	17/10/2004	0	2,15
18/04/2004	0,6	2,73	18/10/2004	5,4	2,02
19/04/2004	0	3,74	19/10/2004	22,2	1,52
20/04/2004	0	3,7	20/10/2004	0	1,8
21/04/2004	0	2,97	21/10/2004	1,4	2,01
22/04/2004	0,6	4	22/10/2004	0	1,62
23/04/2004	0,2	5,2	23/10/2004	0	2,82
24/04/2004	0	5,69	24/10/2004	0,2	1,8
25/04/2004	0	5,88	25/10/2004	1	0,81
26/04/2004	0	5,72	26/10/2004	0,2	1,58
27/04/2004	0	4,75	27/10/2004	27,4	0,8
28/04/2004	0	2,17	28/10/2004	2,4	1,45
29/04/2004	0,2	3,56	29/10/2004	6,2	1,14
30/04/2004	0,4	3,5	30/10/2004	0,2	1,3
01/05/2004	1	3,35	31/10/2004	5,2	1,51
02/05/2004	32,2	1,2	01/11/2004	0	1,39
03/05/2004	5,4	3,26	02/11/2004	0,2	1,4
04/05/2004	0	3,63	03/11/2004	0	1,14
05/05/2004	0	2,59	04/11/2004	0,2	1,15
06/05/2004	1	2,38	05/11/2004	0	1,84
07/05/2004	0	4,21	06/11/2004	0	2,4
08/05/2004	0	4,02	07/11/2004	0	2,17
09/05/2004	3	3,77	08/11/2004	0	1,56
10/05/2004	8,6	3,09	09/11/2004	0	1,27
11/05/2004	0	3,09	10/11/2004	0,2	1,76
12/05/2004	0	3,53	11/11/2004	0	2,23
13/05/2004	0	3,85	12/11/2004	1	1,78
14/05/2004	0	4,17	13/11/2004	0	1,84
15/05/2004	0	5,36	14/11/2004	0	1,13
16/05/2004	0	5,63	15/11/2004	0	2,25
17/05/2004	0	5,71	16/11/2004	0	1,43
18/05/2004	0	5,51	17/11/2004	0	1,77
19/05/2004	0	5,54	18/11/2004	0	1,45
20/05/2004	0	4	19/11/2004	0	1,03
21/05/2004	0	4,47	20/11/2004	0,2	0,86
22/05/2004	0	4,3	21/11/2004	0	0,97
23/05/2004	0	4,2	22/11/2004	0	1,62
24/05/2004	0,2	2,59	23/11/2004	0,2	1,64
25/05/2004	0	4,29	24/11/2004	0	1,7
26/05/2004	0	4,52	25/11/2004	0,2	1,87
27/05/2004	0	4,55	26/11/2004	0	1,71
28/05/2004	0	4,68	27/11/2004	0	2,05
29/05/2004	0	4,84	28/11/2004	0	1,83
30/05/2004	0	4,93	29/11/2004	0	1,23
31/05/2004	0	4,86	30/11/2004	1	1,45

01/06/2004	0	5,84	01/12/2004	9	1,07
02/06/2004	0	6,04	02/12/2004	22,2	0,91
03/06/2004	0	5,29	03/12/2004	13,4	0,63
04/06/2004	0	4,78	04/12/2004	0,2	0,7
05/06/2004	0	2,16	05/12/2004	0,2	0,81
06/06/2004	0	2,36	06/12/2004	0	0,82
07/06/2004	0	4,64	07/12/2004	0,2	0,73
08/06/2004	0	5,19	08/12/2004	0	0,72
09/06/2004	0	6,22	09/12/2004	0,2	0,7
10/06/2004	0	6,85	10/12/2004	0	0,92
11/06/2004	0	7,83	11/12/2004	0,2	1,29
12/06/2004	0	8,05	12/12/2004	0	1,92
13/06/2004	0	7,72	13/12/2004	0	2,25
14/06/2004	0	7,24	14/12/2004	0	1,81
15/06/2004	0	7	15/12/2004	0	1,37
16/06/2004	0	6,96	16/12/2004	0	1,04
17/06/2004	0	5,86	17/12/2004	0	0,74
18/06/2004	0	5,56	18/12/2004	0,2	0,96
19/06/2004	0	4,97	19/12/2004	0	0,87
20/06/2004	0	4,98	20/12/2004	0	0,91
21/06/2004	0	5,44	21/12/2004	0	1,11
22/06/2004	0	5,2	22/12/2004	1,6	1,06
23/06/2004	0	5,29	23/12/2004	0	1,61
24/06/2004	0	5,37	24/12/2004	0	1,37
25/06/2004	0	5,63	25/12/2004	0	1,06
26/06/2004	0	7,85	26/12/2004	0	1,38
27/06/2004	0	7,96	27/12/2004	0	1,37
28/06/2004	0	8,53	28/12/2004	0	0,74
29/06/2004	0	9,06	29/12/2004	1,4	1,21
30/06/2004	0	6,28	30/12/2004	0	1,98
01/07/2004	0	5,46	31/12/2004	0	1,33

$$ETo(anual) = \sum ETo(diaria) = 1167.72mm$$

$$Precipitacion(anual) = \sum Precipitacion(diaria) = 325.4mm$$

- **Calculo para el 2005.**

FECHA	Precipitación (mm)	Eto (mm)	FECHA	Precipitación (mm)	Eto (mm)
01/01/2005	0	0,8	02/07/2005	0	7,3
02/01/2005	0,2	0,8	03/07/2005	0	5,6
03/01/2005	0	1,3	04/07/2005	0	4,8
04/01/2005	0	1,8	05/07/2005	0	4,9
05/01/2005	0	1,4	06/07/2005	0	6,1
06/01/2005	0	1,4	07/07/2005	0	5,5
07/01/2005	0	1,5	08/07/2005	0	7,2
08/01/2005	0,2	1,2	09/07/2005	0	7,5
09/01/2005	0	1,5	10/07/2005	0	7,4
10/01/2005	0	1,2	12/07/2005	0	6,7
11/01/2005	0	1	13/07/2005	0	5,2
12/01/2005	0	0,9	14/07/2005	0	4,9
13/01/2005	0,2	0,8	15/07/2005	0	5,2
14/01/2005	0	1,3	16/07/2005	0	4,7
15/01/2005	0	1,4	17/07/2005	0	4,4
16/01/2005	0,2	2,2	18/07/2005	0	5,8
17/01/2005	0	2,1	19/07/2005	0	7,2
18/01/2005	0	1,1	20/07/2005	0	8
19/01/2005	0	1,9	21/07/2005	0	6,2
20/01/2005	0	2,2	22/07/2005	0	5,1
21/01/2005	0	1,3	23/07/2005	0	4,1
22/01/2005	0	0,9	24/07/2005	0	4,7
23/01/2005	0,2	0,9	25/07/2005	0,2	4,4
24/01/2005	0	0,8	26/07/2005	0	4,7
25/01/2005	0,2	2,1	27/07/2005	0	4,8
26/01/2005	0	1,6	28/07/2005	0	4,4
27/01/2005	0	1,7	29/07/2005	0	5
28/01/2005	0	1,4	30/07/2005	0	5,3
29/01/2005	0	1	31/07/2005	0	4,8
30/01/2005	0	1,8	01/08/2005	0	4,7
31/01/2005	0	1,9	02/08/2005	0	4,8
01/02/2005	0	1,7	03/08/2005	0	7,7
02/02/2005	0	1,3	04/08/2005	0	9
03/02/2005	0,2	1,7	05/08/2005	0	7,9
04/02/2005	0	1,9	06/08/2005	0	7,3
05/02/2005	0	1,2	07/08/2005	0	5,3
06/02/2005	4	1,2	08/08/2005	0	4,4
07/02/2005	9,4	0,9	09/08/2005	0	4,5
08/02/2005	0,2	1,4	10/08/2005	0	4,4
09/02/2005	0	2,2	11/08/2005	0	4,5
10/02/2005	0	2,6	12/08/2005	0	5,2
11/02/2005	0	2,5	13/08/2005	0	7,5
12/02/2005	0	2,1	14/08/2005	0	7,3
13/02/2005	0	1,4	15/08/2005	0	6,2
14/02/2005	0,2	1,9	16/08/2005	0	5,2
15/02/2005	0	2,1	17/08/2005	0	3,6
16/02/2005	0	2,8	18/08/2005	0	4,2
17/02/2005	0	2,5	19/08/2005	0	2,2

18/02/2005	0	2,1	20/08/2005	0	5
19/02/2005	0	2,1	21/08/2005	0	4,3
20/02/2005	0	1,7	22/08/2005	0	4,9
21/02/2005	0	1,9	23/08/2005	0	4,6
22/02/2005	0	1,7	24/08/2005	0	5,1
23/02/2005	0,6	1,6	25/08/2005	0	4,3
24/02/2005	0	1,3	26/08/2005	0	4,1
25/02/2005	0	1,8	27/08/2005	0	3,8
26/02/2005	0	1,7	28/08/2005	0,2	4,4
27/02/2005	27,4	1,8	29/08/2005	0	6,3
28/02/2005	65,2	0,8	30/08/2005	0	7,3
01/03/2005	7,2	1,3	31/08/2005	0	4,6
02/03/2005	0	2,1	01/09/2005	0	4,1
03/03/2005	9,4	1	02/09/2005	0	5,3
05/03/2005	0	2,3	03/09/2005	0	5,7
06/03/2005	0	2	04/09/2005	0	4,1
07/03/2005	0,2	2,7	05/09/2005	0	3,3
08/03/2005	0	2,4	06/09/2005	0	3,7
09/03/2005	0	2,8	07/09/2005	0,8	2,9
10/03/2005	1,8	2,1	08/09/2005	0,2	3,5
11/03/2005	0	2,3	09/09/2005	0	3,6
12/03/2005	0,2	1,9	10/09/2005	0	4
13/03/2005	0	2,3	11/09/2005	0	3,5
14/03/2005	0,2	2,2	12/09/2005	0	3,7
15/03/2005	0	3,1	13/09/2005	0	5,8
16/03/2005	0	3,9	14/09/2005	0	5,6
17/03/2005	0	4,4	15/09/2005	0	5,6
18/03/2005	0	4	16/09/2005	0	2,5
19/03/2005	0	3,2	17/09/2005	0	3,2
20/03/2005	0	2,6	18/09/2005	0	2,5
21/03/2005	0,4	2,6	19/09/2005	0	3,4
22/03/2005	7,2	2,2	20/09/2005	0	4,2
23/03/2005	0	2,2	21/09/2005	0	4,3
24/03/2005	0	3,2	22/09/2005	0	3,8
25/03/2005	0	3	23/09/2005	0	3,2
26/03/2005	5,6	2,2	24/09/2005	0	2,9
27/03/2005	0	2,6	25/09/2005	0	2,8
28/03/2005	0	3	26/09/2005	0	3,5
29/03/2005	0	3	27/09/2005	0	5,3
30/03/2005	0,2	3,6	28/09/2005	0	5,1
31/03/2005	0	5,3	29/09/2005	0	5,2
01/04/2005	0	4,1	30/09/2005	0	5,3
02/04/2005	1,4	3,1	01/10/2005	0	3,5
03/04/2005	0	3	02/10/2005	0	2,5
04/04/2005	0,2	3,8	03/10/2005	0	4,5
05/04/2005	0	4,3	04/10/2005	0	4,6
06/04/2005	0	4,5	05/10/2005	0	4,1
07/04/2005	0	4,1	06/10/2005	0	4,3
08/04/2005	0	2,1	07/10/2005	0	4,5
09/04/2005	0	4,7	08/10/2005	0	4,4
10/04/2005	0	4,3	09/10/2005	1	4
11/04/2005	0	4,8	10/10/2005	0,4	4

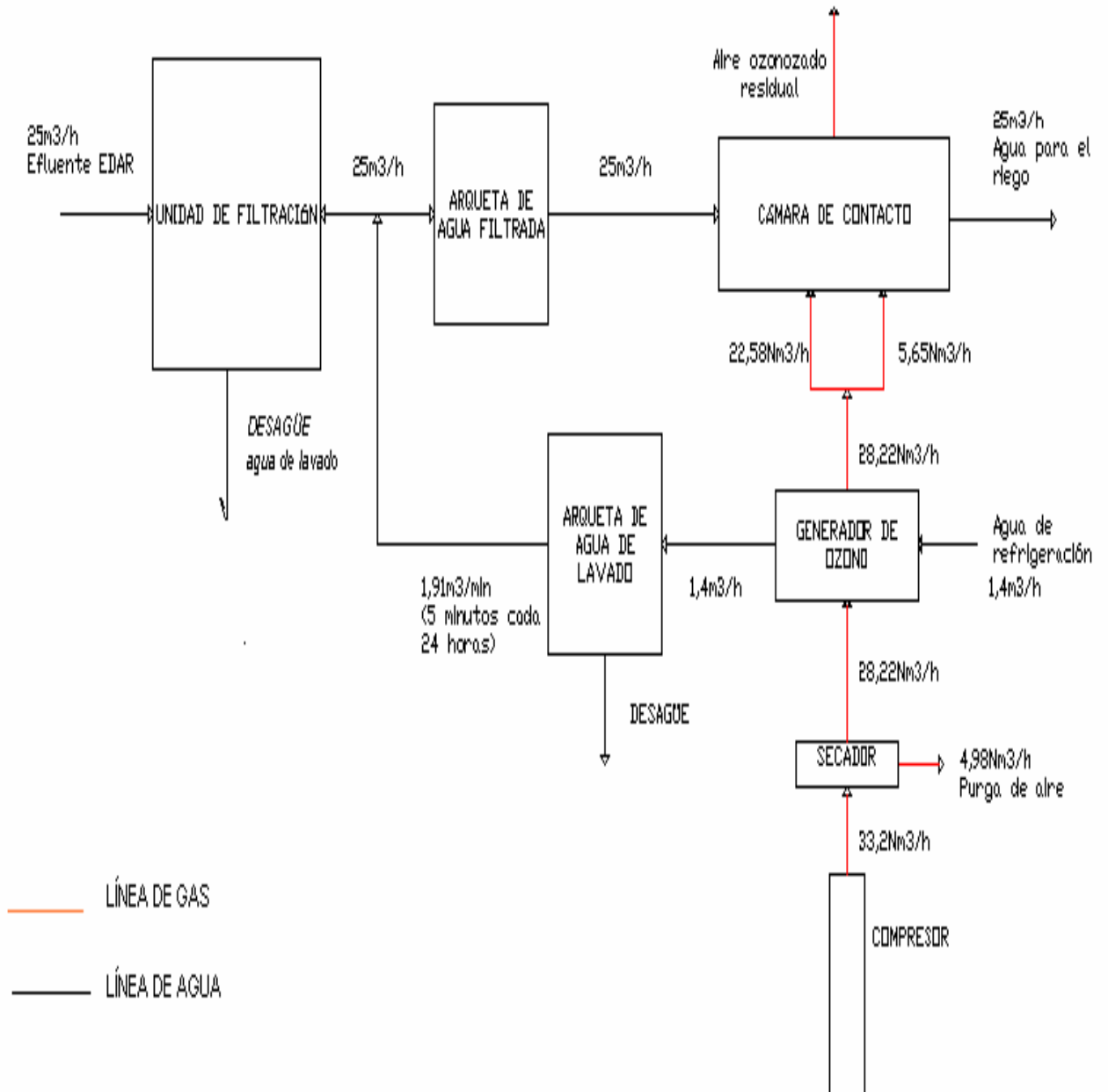
12/04/2005	0	3,7	12/10/2005	3,2	2,1
13/04/2005	0	3,7	13/10/2005	0	2,4
14/04/2005	0	3,3	14/10/2005	0	2
15/04/2005	0	4	15/10/2005	0	2,7
16/04/2005	0	4	16/10/2005	0	3,2
17/04/2005	0	4	17/10/2005	6,2	1
18/04/2005	0	2,8	18/10/2005	3,2	1,8
19/04/2005	0	3,9	19/10/2005	0	2
20/04/2005	0	3,7	20/10/2005	1,4	1,5
21/04/2005	0	3,7	21/10/2005	0,2	1,9
22/04/2005	0	3,6	22/10/2005	0	1,8
23/04/2005	0	3,4	23/10/2005	0	2
24/04/2005	0	3,9	24/10/2005	0,2	2,3
25/04/2005	0	4,3	25/10/2005	0	0,87
26/04/2005	0	5,7	26/10/2005	0	0,71
27/04/2005	0	6,1	27/10/2005	0,2	0,99
28/04/2005	0	6,6	28/10/2005	10,8	0,82
29/04/2005	0	5,1	29/10/2005	7,4	0,81
30/04/2005	0	4,4	30/10/2005	4,4	1,02
01/05/2005	0	3,3	31/10/2005	1,8	0,94
02/05/2005	0	3,7	01/11/2005	0	1,31
03/05/2005	0	4,8	02/11/2005	1,4	1,45
04/05/2005	0	4,2	03/11/2005	0	2,54
05/05/2005	0,2	4,4	04/11/2005	0	2,28
06/05/2005	0	6,1	05/11/2005	0	2,14
07/05/2005	0	4,6	06/11/2005	0	1,73
08/05/2005	0	4,4	07/11/2005	0	0,79
09/05/2005	0	4,8	08/11/2005	0,2	0,83
10/05/2005	0	4,4	09/11/2005	0	1,08
11/05/2005	0	4,5	10/11/2005	0	0,95
12/05/2005	2,6	3,6	11/11/2005	0	1,05
13/05/2005	0,4	3,4	12/11/2005	0,2	1,1
14/05/2005	0	4,6	13/11/2005	0	1,02
15/05/2005	0	5,2	14/11/2005	0	1,63
16/05/2005	1,8	4	15/11/2005	0	1,85
17/05/2005	0	4,3	16/11/2005	0	1,57
18/05/2005	0	5,3	17/11/2005	0,2	1,22
19/05/2005	0	7,2	18/11/2005	0,2	1,22
20/05/2005	0	5,8	19/11/2005	0	0,96
21/05/2005	0	4,7	20/11/2005	5,6	0,66
22/05/2005	0	4,9	21/11/2005	0	0,84
23/05/2005	0	6,9	22/11/2005	0,2	0,92
24/05/2005	0	6,8	23/11/2005	8,6	1,09
25/05/2005	0	7,3	24/11/2005	0,4	0,99
26/05/2005	0	6,9	25/11/2005	0	1,55
27/05/2005	0	5	26/11/2005	0	1,31
28/05/2005	0	5,6	27/11/2005	0,2	0,91
29/05/2005	1,2	5	28/11/2005	0,2	0,94
30/05/2005	0	4,2	29/11/2005	8,2	1,3
31/05/2005	0	6,5	30/11/2005	0	1,01
01/06/2005	0	6,5	01/12/2005	0	1,75
02/06/2005	0	7,1	02/12/2005	0	2,05

03/06/2005	0	5,3	03/12/2005	3	1,84
04/06/2005	0	5,4	04/12/2005	0	2,35
05/06/2005	0	7,5	05/12/2005	0	2,71
06/06/2005	0	7,1	06/12/2005	0,2	2,06
07/06/2005	0	7,6	07/12/2005	9,4	0,96
08/06/2005	0	8,9	08/12/2005	0,2	0,9
09/06/2005	0	8,2	09/12/2005	0	1,07
10/06/2005	0	7,1	10/12/2005	1,6	1,07
11/06/2005	0	6	11/12/2005	5,8	0,89
12/06/2005	0	4,5	12/12/2005	16,2	1,28
13/06/2005	0	4,9	13/12/2005	1,8	1,32
14/06/2005	0	5	14/12/2005	0	1,76
15/06/2005	0	5,3	15/12/2005	0	2,28
16/06/2005	0	8,4	16/12/2005	0	2,37
17/06/2005	0	9,3	17/12/2005	0	1,75
18/06/2005	0	8,6	18/12/2005	0	2,39
19/06/2005	0	8	19/12/2005	0	2,48
20/06/2005	0	8,7	20/12/2005	0	2,03
21/06/2005	0	9	21/12/2005	2	2,1
22/06/2005	0	8,6	22/12/2005	0,4	1,52
23/06/2005	0	5,3	23/12/2005	0	2,31
24/06/2005	0	4,5	24/12/2005	0	2,01
25/06/2005	0	4,8	25/12/2005	0,6	1,69
26/06/2005	0	4,8	26/12/2005	8	1,76
27/06/2005	0	3,7	27/12/2005	0	1,95
28/06/2005	0	5,3	28/12/2005	0	1,83
29/06/2005	0	5,3	29/12/2005	0	2,81
30/06/2005	0	5,3	30/12/2005	0	3,95
01/07/2005	0	5,4	31/12/2005	0	2,98

$$ETo(anual) = \sum ETo(diaria) = 1274.92 \text{ mm}$$

$$Precipitacion(anual) = \sum Precipitacion(diaria) = 265.2 \text{ mm}$$

ANEXO N°3. DIAGRAMA DE FLUJO.



ANEXO N°4. UNIDAD DE FILTRACIÓN.

4.1. Introducción.

El sistema de filtración requerido, como se recoge en la memoria descriptiva, consiste en una unidad de filtración rápida mediante lecho de arena, que esta provista con todo el equipamiento necesario para una filtración y lavado eficiente. Los principales elementos del filtro son: canal de entrada, canales de recogida del agua de lavado, sistema de drenaje, medio filtrante y tuberías.

4.2. Dimensionamiento de la unidad.

De acuerdo a las características del agua de entrada a la unidad de filtración y el objetivo de la filtración (tratamiento previo a la ozonización) se va a proyectar un filtro rápido de arena con una tasa de filtración (q_f) de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

El sistema es diseñado para un caudal máximo diario de 648 m^3 . Esto hace que el área de filtración (A) necesaria venga dada por:

$$A = \frac{Q_{md}}{q_f} = \frac{600}{240} = 2,5 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, para la filtración se utiliza un filtro rápido convencional de arena con una superficie de filtración de $2,5 \text{ m}^2$.

4.3. Características del medio filtrante.

El filtro que se proyecta es un filtro rápido convencional con lecho simple de flujo descendente. La profundidad del lecho filtrante es de 60 centímetros de arena y 20 centímetros de grava.

El medio filtrante posee las siguientes propiedades:

Tabla 4.1. Propiedades del medio filtrante.

Material	Tamaño efectivo (d_{ef}), mm	Coefficiente de Uniformidad (C_{unif})	Densidad Especifica (ρ_{ESP})	Porosidad (e)
Arena	0,45	1,7	2,65	0,40

El soporte de grava tiene un espesor de 20 cm. y está compuesto por cuatro capas, cuyas propiedades se recogen en la Tabla 4.2. Este tipo de soporte es el recomendado para el drenaje que se utiliza en el filtro (prefabricado Leopold).

Tabla 4.2. Propiedades del soporte de grava.

Capa	Tamaño, mm	Profundidad, cm	Porosidad
Fondo	12.5	5	0,5
Primera	7.5	5	0,5
Segunda	5	5	0,45
Tercera	3	5	0,45

4.4. Canal de entrada.

El caudal de agua que entra al filtro es de 25m³/h (la velocidad del flujo en el canal de entrada debe estar entre 0,3 y 0,6 m/s de acuerdo a la bibliografía consultada. Tomaremos una velocidad de diseño de 0,5 m/s, de esta forma el área del flujo será:

$$\text{Área flujo} = \frac{\text{Caudal}}{\text{velocidad}} = \frac{6,94 \times 10^{-3}}{0,5} = 0,014 \text{ m}^2.$$

El ancho de canal recomendado para el área de filtración y tasa de filtración es de 12,5cm. De esta forma la altura del agua en el canal es de:

$$\text{Altura agua} = \frac{\text{Área flujo}}{\text{Ancho}} = \frac{0,014}{0,125} = 0,112 \text{ m}.$$

4.5. Cálculos del sistema de lavado.

Para la limpieza del filtro se utiliza un sistema de lavado ascendente con agua sin agitación auxiliar. Con una velocidad ascendente de lavado alta.

a) Cálculo del caudal de lavado.

La velocidad de flujo de lavado se fija como el 10% de la velocidad de sedimentación del medio filtrante usado. Luego para conocer la velocidad de lavado es necesario calcular en primer lugar la velocidad de sedimentación de la arena.

La velocidad de sedimentación del lecho se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_s = 10 \times \text{Tamaño efectivo} \times \text{Coeficiente de uniformidad} = 10 \times 0,45 \times 1,7 = 7,65 \text{ m/min} \\ = \mathbf{0,1275 \text{ m/s}}$$

Por tanto, el flujo de agua de lavado es de 0,01275 m/s.

El caudal de agua necesario para el lavado se calcula usando la siguiente expresión:

$$Q_{\text{lav}} = \text{Área filtro} \times \text{velocidad lavado} = 2,5 \times 0,01275 = 0,062 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{lav}} = \mathbf{0,032 \text{ m}^3/\text{s} = 1,91 \text{ m}^3/\text{min}}$$

b) Cálculo de la expansión del lecho.

En primer lugar se necesita conocer la porosidad del lecho expandido (e_{eb}), que es función de la velocidad de sedimentación de las partículas (v_s) y de la velocidad de flujo de lavado (U_b).

$$e_{eb} = \left(\frac{U_b}{v_s} \right)^{0,22} = \left(\frac{0,01275}{0,1275} \right)^{0,22} = 0,6$$

La altura del lecho expandido (L_{fb}) se calcula usando la siguiente expresión:

$$L_{fb} = \frac{(1 - e)L}{1 - e_{eb}}$$

Donde: e = porosidad de la capa del lecho

L = altura de la capa en reposo, m

e_{eb} = porosidad del lecho expandido.

$$L_{fb} = \frac{(1 - 0,4)0,6}{1 - 0,6} = 0,9m$$

La altura total del lecho expandido es igual a 0,9 m. La tasa de expansión del lecho es igual a:

$$\text{Tasa de expansión} = \frac{\text{altura del lecho expandido}}{\text{altura del lecho en reposo}} = \frac{0,9}{0,6} = 1,5$$

c) Cálculo del consumo de agua.

El ciclo de lavado de la unidad de filtración consta de tres etapas:

1ª Etapa: En la que el flujo aumenta desde 0 a 1,91 m³/min. Esta etapa tiene una duración de un minuto.

2ª Etapa: En la que se mantiene el caudal de lavado a 1,91 m³/min durante 3 minutos.

3ª Etapa: En la que el caudal decrece desde 1,91 m³/min a 0 m³/min en un minuto.

En la 1ª y 3ª etapa el consumo de agua es de 1,91 m³ y en la 2ª de 5,73 m³. El volumen de agua consumido durante un ciclo de lavado en el filtro es de 9,55 m³.

d) Sistema de recolección del agua de lavado.

Para la recogida del agua de lavado el filtro dispondrá de un canal principal anexo a la celda filtrante (*ver plano N°2*).

La altura del canal de recolección respecto al lecho del filtro debe ser suficiente para evitar la pérdida del material del lecho filtrante durante el lavado. La expansión máxima del lecho durante el lavado es de 0,3m, el borde del canal debe situarse a una altura mínima de 30 cm sobre el lecho expandido.

Las dimensiones del canal de recolección de agua son las siguientes:

Ancho= 0,4 m

Profundidad=0,8 m

Largo= 1,8 m

e) Sistemas de drenajes.

El objeto de los drenes que se colocan en el fondo del filtro es doble:

1. Recolectar y extraer el agua filtrada.
2. Distribuir uniformemente el agua de lavado en el lecho filtrante.

El sistema de drenaje utilizado en el filtro son fondos cerámicos Leopold, recomendado para el lavado con agua.

f) Agua para el lavado del filtro.

Para el lavado del filtro utilizaremos el agua de refrigeración del generador de ozono. El agua utilizada para la refrigeración del generador de ozono se recoge en una arqueta desde donde se bombea para el lavado del filtro. La arqueta tendrá una capacidad mayor de 9,55 m³, el volumen de agua necesario para cada ciclo de lavado del filtro.

ANEXO N°5. GAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE OZONO.

5.1. Selección del gas de alimentación.

5.1.1. INTRODUCCIÓN.

Como se explica en el capítulo 7 de la memoria descriptiva se puede obtener ozono a partir de aire o de oxígeno puro. Actualmente la gran mayoría de los generadores de ozono que existen en el mercado están preparados para trabajar con cualquiera de las dos alimentaciones.

Cuando se utiliza oxígeno puro como alimentación, la energía consumida por el generador de ozono para producir una determinada cantidad de ozono es aproximadamente un 50% menor a la necesaria si utilizamos aire como alimentación. Otra ventaja del oxígeno respecto al aire es que no requiere preparación previa. Sin embargo, el coste del oxígeno puro es muy alto, y la producción de ozono crea una dependencia en el suministro del oxígeno que eleva los costes de explotación.

La producción de ozono a partir de aire ambiente requiere un tratamiento previo del aire de alimentación, esto eleva la inversión inicial pero utilizando aire ambiente se anula el coste del suministro del gas fuente.

A continuación, se evalúa el coste de la producción de ozono para cada una de las alimentaciones y a partir de los resultados obtenidos se elige una alimentación u otra.

5.1.2. PRODUCCIÓN DE OZONO A PARTIR DE OXÍGENO.

El mayor inconveniente que tiene la alimentación de oxígeno es el coste del suministro. El caudal mínimo de oxígeno necesario para el generador de ozono que hemos elegido para el tratamiento de ozonización es de 14 m³/h.

Para cubrir estas necesidades la mejor solución es la colocación de un tanque de almacenamiento de oxígeno en la planta, y la recarga periódica del mismo por la empresa proveedora. Hemos acudido a la empresa “Abello Linde” S.A. y el precio ofertado es de 1,05 € el m³ oxígeno. Este precio incluye todos los gastos del tanque de almacenamiento, la instalación, recarga, los equipos necesarios y mantenimiento. A partir de estos datos se puede calcular el coste de la alimentación con oxígeno, de la siguiente forma:

$$14 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,05 \text{ €/m}^3 = 14,7 \text{ €/h.}$$

De esta forma el coste del oxígeno por hora de funcionamiento del generador es de 14,7 euros.

Se ha calculado el coste en cuanto a la alimentación, ahora hay que calcular el consumo eléctrico del generador de ozono. Éste, de acuerdo a los datos del fabricante, tiene un consumo eléctrico de 3,0 kWh cuando utilizamos aire de alimentación, y 1,8 kWh cuando utilizamos oxígeno. De esta forma el gasto eléctrico teniendo en cuenta el precio del kwh (0,07 €), fijado según la tarifa industrial (R.D. 2657/96, B.O.E. 28-12-96), es de:

$$1,8 \text{ kWh} \times 0,07 \text{ €/kWh} = 0,126 \text{ €}$$

Finalmente el coste total de la generación de ozono utilizando oxígeno como alimentación es de:

$$\text{€/h} = 14,7 + 0,126 = 14,826 \text{ €/h.}$$

5.1.3. PRODUCCIÓN DE OZONO A PARTIR DE AIRE AMBIENTE.

Utilizando aire ambiente como alimentación se elimina el coste del gas de alimentación. Pero es necesario el tratamiento previo del aire.

El tratamiento del aire consta de varias etapas:

- **Compresión:** Se debe instalar un compresor para obtener el caudal de aire necesario y a la presión deseada.
- **Desecador:** Se coloca un secador para reducir la humedad del aire de alimentación hasta obtener un punto de rocío óptimo para el funcionamiento del generador de ozono.
- **Filtro de aire.** Se coloca un filtro submicrónico para eliminar las impurezas y partículas del aire de alimentación.

A continuación se determina el coste de los equipos del tratamiento del aire y se calcula el coste de la inversión inicial y de operación del sistema de generación de ozono con aire como gas de alimentación.

Coste de la inversión inicial:

Compresor (incorpora filtro de alta capacidad) = 3000€

Secador de absorción = 1500 €

Por tanto la inversión inicial es de 4500 euros.

En cuanto al coste de operación dado que la alimentación es aire ambiente, sólo se considera el consumo eléctrico de los diversos equipos que se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 5.1. Consumo eléctrico de los equipos

EQUIPO	Consumo eléctrico (kWh)
compresor	4kWh
Secador frigorífico	0,25kWh
Generador de ozono	3kWh

El consumo eléctrico del sistema es, por tanto, de 7,25 kWh teniendo en cuenta el precio del kWh (0,07 €), tenemos que:

$$7,25 \text{ kWh} \times 0,07 \text{ €/kWh} = 0,5075 \text{ €}.$$

Por lo tanto el coste de operación del sistema es de 0,5075 € a la hora.

5.1.4. COMPARACIÓN DE COSTES.

Una vez que se ha evaluado el coste de la generación de ozono a partir de cada una de la alimentaciones se debe decidir que tipo de alimentación utilizar.

El coste de operación cuando se utiliza oxígeno es mucho mas alto que para aire, pero cuando se utiliza aire se necesita una inversión inicial de 4500 euros. Lo que se hace es calcular en cuanto tiempo se amortiza esa inversión inicial igualando el coste total de la alimentación de aire con la de oxígeno. Para ello se expresa los costes de cada alimentación de la siguiente forma:

Coste en euros de alimentación de oxígeno = **14,826 t** (donde t es el tiempo en horas).

Coste en euros alimentación aire: **0,5075t +4500** (donde t es el tiempo en horas y 4500 la inversión inicial).

De esta forma igualando ambas ecuaciones y despejando t se obtiene el tiempo de amortización de la inversión inicial para la alimentación de aire.

$$14,826t = 0,5075t + 4500$$

$$t = 314 \text{ horas} = 13 \text{ días}.$$

Por lo tanto, la inversión inicial se amortiza en 13 días de funcionamiento del sistema, trabajando 24 horas diarias. Considerando que se estima un tiempo

de funcionamiento de los equipos de 10 años, la alimentación por aire ambiente resulta mucho más económica que la alimentación con oxígeno. Además los costes de explotación para el aire son del orden de 10 veces más bajo, por lo que la diferencia económica entre una alimentación y otra es muy importante. Por estos motivos se opta por el aire ambiente como alimentación para el generador de ozono.

5.2. Dimensionamiento del caudal del aire de alimentación.

Una vez que se decide utilizar aire como gas de alimentación, se determinaran los equipos necesarios para el tratamiento del aire y las características y objetivos que deben cumplir.

Se debe determinar el caudal de aire necesario para alimentar al generador de ozono, de acuerdo a la producción de ozono requerida, además mediante el tratamiento previo hay que obtener un aire que cumpla todos los requisitos para el correcto funcionamiento y rendimiento del generador de ozono.

Para el tratamiento del aire de alimentación, en primer lugar se calcula el caudal de aire necesario. Dicho cálculo se realiza según el método de cálculo propuesto en el manual de diseño de la EPA (Municipal Wastewater Disinfection, Manual Desing EPA/625/1-86/021).

La dosis de ozono que se ha determinado para la desinfección es de 14 mg/l (ver anexo n°6). Este valor realmente es la concentración de ozono que tiene el gas a la salida del ozonizador (gas ozonizado) y que entra en la cámara de contacto donde el ozono se transfiere al agua para que tenga lugar la desinfección.

Para el cálculo del caudal de alimentación se aplica la siguiente formula:

$$\text{Caudal de aire (m}^3 \text{ / h)} = \frac{\text{Caudal masico de ozono (Kg / h)}}{\text{Concentración de ozono} \left(\frac{\text{Kg de O}_3}{\text{Kg de aire}} \right) \times \frac{1 \text{ Kg de aire}}{1,21 \text{ m}^3}}$$

La concentración de ozono de diseño será:

$$14 \text{ g/m}^3 = 1.5\% \text{ en peso} = 0.015 \text{ kg de ozono/ 1 kg de aire.}$$

El caudal másico de ozono se calcula en el anexo 6 y es de 0,350 kg/h.

Sustituyendo en la ecuación:

$$\text{Caudal de aire (m}^3 \text{ / h)} = \frac{0.350 \text{ Kg / h}}{\frac{0,015 \text{ Kg de O}_3}{1 \text{ Kg de aire}} \times \frac{1 \text{ Kg de aire}}{1,21 \text{ m}^3}} = \mathbf{28,23 \text{ m}^3 \text{ / h.}}$$

El generador de ozono seleccionado puede trabajar con un caudal mínimo de de aire de 20 m³/h y un máximo de 40 m³/h.

Considerando la purga del 15% en el secador, el caudal total de aire necesario es de 33,2 m³/h.

$$\mathbf{28,23/0,85= 33,2\text{m}^3\text{/h.}}$$

Por lo tanto es necesario instalar un compresor que cubra estas necesidades de aire (las características de los todos los equipos para el tratamiento del aire de alimentación se recogen en el capítulo 9 de la memoria descriptiva).

5.3. Cálculo de la humedad del aire de alimentación.

Una vez determinado el caudal de aire necesario, se determina la humedad del mismo para poder decidir sobre la capacidad del secador.

En la tabla 5.2 se muestra la concentración de agua que contiene el aire a distintas temperatura y a presión atmosférica.

Para la determinación de la cantidad de agua del aire y la selección del secador tendremos en cuenta las siguientes consideraciones:

- La presión de operación es de 7 atmósferas, es decir el aire sale del compresor a una presión de 7 atmósferas.
- La temperatura del aire de entrada al desecador es de 35 °C.
- El caudal de gas de diseño es de 33,2 m³/h.
- La planta esta al nivel del mar, por lo que la presión absoluta es 8 atmósferas (1atm + 7atm).
- El tiempo del ciclo del desecador es de 8 horas.

Tabla 5.2. Concentración de agua en aire para temperaturas de -40 a 40 °C. (ASHRE, 1981, y Stover y col., 1986).

Temperatura del aire		Concentración de agua en el aire	
° C	° F	g/m ³	lb/1000 ft
-40	-40	0,09550	0,00596
-35	-31	0,16641	0,01039
-30	-22	0,28245	0,01764
-25	-13	0,47032	0,02937
-20	-4	0,81125	0,05067
-15	5	1,22908	0,07676
-10	14	1,93585	0,12090
-5	23	2,99424	0,18700
0	32	4,56502	0,28510
5	41	6,53290	0,40800
10	50	9,22772	0,57630
15	59	12,88165	0,80450
20	68	17,77332	1,11000
25	77	24,29181	1,51710
30	86	32,90786	2,05520
35	95	44,26037	2,76420
40	104	59,17875	3,69590

La humedad del aire a 35°C de acuerdo a la tabla 5.2 es 17.8 g/m³ a presión atmosférica, ajustándolo a la presión absoluta el contenido en agua del aire es, aproximadamente:

$$44.26 \text{ g/m}^3 \times (1\text{atm}/8\text{atm}) = 5.53 \text{ g/m}^3$$

Este valor representa la máxima concentración de agua del aire a las condiciones de 35°C y 8 atmósferas.

Por lo tanto, el caudal de agua que tiene el aire de alimentación, a la entrada del secador es de:

$$5.53 \text{ g/m}^3 \times 33.2 \text{ m}^3/\text{h} = 183.6 \text{ g/h.}$$

5.4. Descripción del tratamiento del aire de alimentación.

Para el tratamiento del aire de alimentación se utiliza un sistema de alta presión. Se va a operar con presiones comprendidas entre 5 y 7 bares.

El tratamiento consta de varias etapas:

1) En la primera etapa se va a filtrar y a comprimir el aire ambiente hasta una presión de 7 bares. Mediante la filtración se obtiene un aire limpio, esto es necesario porque las impurezas y el polvo del aire pueden causar problemas en el generador de ozono. Mediante la instalación de un compresor se obtiene el caudal de aire necesario para alimentar al generador de ozono.

Para la filtración, el compresor tiene incorporado un filtro de admisión. Capaz de retener partículas de hasta 1 micra. El compresor que se utiliza es un compresor exento de aceite para evitar la contaminación del aire. Este compresor incorpora un sistema de refrigeración por aire, de modo que

produce aire comprimido a una temperatura no muy elevada (aproximadamente 35°C).

2) En la segunda etapa del tratamiento se elimina la humedad del aire. La cantidad de humedad del gas de alimentación del generador de ozono no sólo disminuye la producción de ozono sino que también favorece la contaminación de los dieléctricos del generador. Es necesario obtener un aire con un punto de rocío como mínimo de -40°C para ello se utiliza un secador por adsorción. El secador seleccionado puede trabajar en condiciones estándar con un gas de entrada a 7 bares y a una temperatura máxima de 50°C, por lo que no es necesaria una etapa de enfriamiento del aire de salida del compresor.

El secador esta compuesto por dos torres de adsorción, el relleno de las torres de secado, donde se produce la adsorción del agua contenida en el aire, es de alúmina activada. Puesto que el adsorbente no tiene una capacidad ilimitada de adsorción, sino que se satura al cabo de cierto tiempo de trabajo, el secador se compone de dos torres gemelas, de manera que, mientras una de ellas está en operación, la otra se encuentra en fase de regeneración. De esta manera se asegura un suministro ininterrumpido de aire seco.

En el secador cuando una de las torres esta funcionando la otra torre se regenera. Para ello se toma una parte del aire seco que sale de la torre que en ese momento esta en operación y mediante este aire se elimina la humedad de la otra torre. Durante un ciclo de operación, el aire comprimido húmedo entra en la columna a través de una válvula de cuatro vías y fluye por el lecho adsorbente, el cual recoge la humedad. El aire seco sale a través de la válvula de salida. Al mismo tiempo una pequeña porción de aire seco es derivada por un orificio calibrado hacia la otra columna, que se encuentra en la fase de regeneración. Este aire de purga arrastra la humedad del adsorbente y es venteado a la atmósfera a través de una válvula de dos vías. Antes de que cambie la columna en operación, la válvula de dos vías cierra, permitiendo que la columna en regeneración alcance la presión de línea. Esto evita sacudidas en el lecho o cambios en la capacidad de salida durante el ciclo siguiente.

El funcionamiento del secador se basa en la propiedad que posee el material desecante (alúmina activada) de adsorber la humedad durante la fase de operación y luego cederla en la fase de regeneración.

ANEXO N°6. DEMANDA DE OZONO.

6.1. Introducción.

En este anexo se determina la concentración y caudal de ozono que es necesario aplicar al efluente para conseguir los objetivos de desinfección deseados. Una vez que se determina el caudal y la concentración de ozono se puede decidir sobre la elección del generador de ozono más adecuado.

6.2. Determinación de la dosis de ozono necesaria.

La dosis de ozono aplicada y la dosis de ozono transferida al agua son dos parámetros fundamentales en el diseño del proceso de ozonización

De todas la variables, la dosis de ozono transferida es probablemente la mas difícil de determinar en el diseño del proceso de ozonización. El procedimiento ideal para determinar la dosis de ozono de diseño es realizar un estudio a escala de planta piloto del agua residual a desinfectar.

En la práctica, la realización de un estudio a escala de planta piloto no es factible en este caso. Por lo que para determinar la dosis de ozono se recurre a datos de estudios de plantas pilotos publicados.

A la hora de determinar la cantidad de ozono necesaria para alcanzar un determinado nivel de desinfección se debe considerar que parte del ozono se consume en reacciones con compuestos orgánicos e inorgánicos (demanda inicial de ozono) antes de reaccionar con los microorganismos. Así que la dosis de ozono depende de la calidad del influente que en este caso es el efluente de un tratamiento secundario sometido a una filtración posterior. Además la dosis de ozono dependerá de otros factores como son el diseño y eficiencia de

la cámara de contacto, el nivel de desinfección que se desea obtener y el contenido microbiológico del influente.

De acuerdo con estudios realizados (Finch and Smith, 1989 y 1990), si se representa el logaritmo de la concentración de coliformes que sobreviven frente a la dosis de ozono, se observa que una vez satisfecha la demanda inicial de ozono la gráfica es una línea recta. La forma de la ecuación de la recta es:

$$\log (N / N_0) = n \times \log (U / q)$$

donde:

N = concentración de coliformes del efluente, CFU / 100 ml.

N₀ = concentración de coliformes del influente, CFU / 100 ml.

n = pendiente de la curva dosis-respuesta.

U = dosis de ozono utilizada (mg / l).

q = Punto de corte de la curva, representa la demanda inicial de ozono.

En esta ecuación si se determina la pendiente y el punto de corte, sustituyendo la concentración de coliformes del influente (efluente del tratamiento secundario) y la concentración de coliformes que se desea obtener en el efluente de la ozonización (< 200 CFU/ 100 ml) se puede obtener la dosis de ozono a utilizar. El mejor método para ello sería realizar un estudio a escala de planta piloto y obtener datos de N, N₀ y U para ajustar la ecuación mediante regresión lineal y así obtener n y q, es decir, la pendiente y el punto de corte de la recta. Evidentemente no es posible realizar un estudio a escala de planta piloto por lo que se acude a los resultados de diversos estudios realizados sobre efluentes de características distintas, donde se obtienen valores de n y q, a partir de estos datos se determina el valor de la pendiente y del punto de corte que se aplicaran para calcular la dosis de ozono. Los valores de n y q de los diversos estudios se recogen en la tabla 6.1.

El valor de la demanda inicial de ozono (q) depende de la calidad del agua residual. Generalmente, este valor aumentará al disminuir la calidad de ésta. En la tabla 6.1. se muestran los valores de la demanda inicial de ozono para efluentes con distinta DQO. A partir de estos valores se determina la demanda inicial de ozono para nuestro efluente.

En cuanto al valor de la pendiente dosis-respuesta (n), como se puede deducir de los resultados de los estudios a escala de planta piloto, no depende de la calidad del efluente a tratar. Este valor va estar influenciado por la eficiencia de la cámara de contacto. Cuanto mejor sea la transferencia del ozono al efluente más eficiente será la desinfección y mayor será la pendiente dosis- respuesta.

Tabla 6.1. Resultados estudios plantas pilotos.

NOMBRE DE LA PLANTA	n	q (mg/l)	DQO efluente	Referencia
Muddy Creek	-3,96	0,95	29	1
Cincinnati	-5,5	1	30	2
Indian Creek	-4,14	1,04	26	1
Loveland	-4,62	1,05	39	1
Fairfield	-4,97	1,68	39	1
Sycamore	-6,65	1,93	38	1
Mill Creek	-3,08	4,95	74	1
RCB efluente	-3,9	0,7	13	3
Lagoon efluente	-4,6	3,4	95	3
Screened efluente(fecal)	-2,9	1,8	92	3
Screened efluente(total)	-2,6	2,1	95	3
"Strong" efluente	-3,1	12,5	---	3
Marlborough (fecal)	-2.51	0.5	21	4
Marlborough (total)	-3.14	1.05	40	4
Vail	-3.15	0.79	25	5
-----	----	4.05	69	6
Moranivilliers	----	1.6	34	7
Asniersi	----	1.95	60	7
-----	-5.91	1.34	55	7

El influente del proceso de ozonización que se proyecta es un efluente secundario que se somete a una filtración, mejorando su calidad. No obstante, para el cálculo de la dosis de ozono se utilizan los datos del efluente secundario sin tener en cuenta la filtración, de esta forma se asegura que la dosis de ozono sea suficiente. La DQO media del efluente secundario es de 55 mg/l. En la tabla 6.1 se recogen valores de q para distintos efluentes, si analizamos la relación de q con la DQO de estos efluentes podemos comprobar que para efluentes con una DQO menor o igual a 60 mg/l q toma valores que se encuentran en un rango que va desde 0,5 a 1,95 mg/l, por lo que, considerando que nuestro efluente tiene una DQO de 55 mg/l, se considera para el cálculo de la dosis de ozono un valor de la demanda inicial de ozono de 2,0 mg/l.

Para el valor de la pendiente, analizando los resultados de los diversos estudios a escala de planta piloto se puede comprobar que los valores de n son muy diversos y van desde -2.51 a -6.65. A la hora de determinar el valor de n que se utiliza para calcular la dosis de ozono se va a considerar, de acuerdo a la cámara de contacto utilizada (difusor de burbujas), una eficiencia alta del 90%, por lo que se toma un valor n también alto, concretamente de -5.

Una vez determinado los valores de n y q sólo queda definir el valor de N y el de N_0 . El valor de N_0 es la concentración de coliformes del efluente secundario que de acuerdo con los resultados de la caracterización del efluente (anexo 1) es 902333 CFU / 100 ml. En cuanto el valor de N , de acuerdo a las directrices sobre reutilización contempladas, debe de ser menor de 200 CFU / 100 ml. Para asegurar que la dosis de ozono sea suficiente para alcanzar este grado de desinfección se toma 100 CFU / 100 ml como valor de N de esta forma se trabaja con un margen de seguridad respecto a la dosis de ozono.

A continuación se calcula la dosis de ozono:

$$\log (N / N_0) = n \times \log (U / q) ;$$

Despejando u :

$$U = q \times 10^{\left[\log(N/N_0)/n \right]}$$

sustituyendo $q = 2 \text{ mg/l}$, $n=5$, $N_0=902333 \text{ CFU / 100 ml.}$: $N=100 \text{ CFU / 100 ml.}$

$$U = 12.4 \text{ mg/l.}$$

La dosis de ozono (U) que se determinó y cuyo valor es 12,4 mg/l es la cantidad de ozono que es necesaria transferir al efluente secundario para alcanzar el grado de desinfección deseado. Ahora a partir de este dato y la eficiencia de la transferencia (TE) se calcula la dosis de ozono que es necesario aplicar. Para ello se considera que la eficiencia es como mínimo del 90%. Para dicho cálculo utilizamos la siguiente ecuación:

$$D = U \times 100 / TE$$

D= dosis de ozono aplicada.

U= dosis de ozono transferida.

TE= eficiencia de la transferencia.

Sustituyendo $U=12.4 \text{ mg/l}$; $TE=90$; tenemos que:

$$D = 13,8 \text{ mg/l.}$$

Se puede comprobar que esta dosis de ozono está dentro del rango determinado por la EPA (environmental protection agency) para la desinfección de agua residual mediante ozono (5-20mg/l).

REFERENCIAS.

1. Meckes, M.C., et al. Application of an Ozone disinfection Model for Municipal Waste water Effluents. JWPCF, 55(9):1158-1162, 1983.
2. Venosa, A.D., et al. Comparative Efficiencies of Ozone Utilization and Microorganism Reduction in Different Ozone Contactors. In: Progress in Wastewater Disinfection Technology- Proceedings of the National Symposium, Cincinnati, Ohio. EPA-600/9-79-018, NTIS No. PB-299338, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1979.
3. Given, P.W. and D.W. Smith. Pilot Studies on Ozone Disinfection and Transfer in Wastewater. In: Municipal Wastewater Disinfection- Proceedings of Second National Symposium, Orlando, Florida. EPA-600/9-83-009, NTIS No. PB83-263848, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1983.
4. Stover, E.L., et al. High level Ozone Disinfection of Municipal Wastewater Effluents. EPA Grant No. R804946, 1980.
5. Stover, E.L., et al. High Level Ozone Disinfection of Municipal Wastewater Effluents. EPA Grant No. R804946, 1980.
6. Water Environmental federation. Wastewater Disinfection. Manual of Practice FD-10 , Alexandria (USA), 1996.
7. "Water Research" (Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design, Pei Xua, Marie-Laure Janexb, Philippe Savoyeb, Arnaud Cockxc, Valentina Lazarovab.

6.3. Determinación del caudal de ozono necesario.

El caudal de agua que se somete a tratamiento es de 25 m³/h, y la dosis de ozono que se aplica es de 14 mg/l. El caudal de ozono necesario se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{\text{agua}} \times \text{Dosis de ozono} = \text{Caudal de ozono}$$

$$14 \text{ mg/l} = 14 \text{ g/m}^3$$

$$17 \text{ m}^3/\text{h} \times 14 \text{ g/m}^3 = \mathbf{350 \text{ g/h.}}$$

Una vez determinada la dosis de ozono y el caudal necesario podemos seleccionar un generador de ozono para cubrir las necesidades del tratamiento.

6.4. Selección del generador de ozono.

Para la selección del generador de ozono se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- Dosis de ozono = 14mg/l.
- Caudal de ozono = 350 g/h.
- La concentración de diseño para un generador de ozono, con aire como gas de alimentación, normalmente esta en un rango que va desde 12 a 24 g/m³. La concentración más utilizada es 18 g/m³. Aunque un generador de ozono puede alcanzar concentraciones mayores que las de diseño, es recomendable trabajar a concentraciones menores para maximizar la efectividad de la refrigeración.
- Es recomendable que el generador no opere a más del 75% de su potencia máxima a menos que sea necesario.

De esta forma el generador de ozono seleccionado es el modelo NPO GL 16 que tiene las siguientes características:

-Ozono

- Producción en aire 0-500 gr/h
- Concentración en aire (en % en peso) 0-7 %

- Electricidad:

- Tensión entrada (monofásica) 220 V/50 Hz.
- Tensión maniobras 24 V.
- Consumo eléctrico medio (alimentación aire) 3kwh.

-Pneumática

- Presión entrada aire/oxígeno (mín./máx.) 4/10 bar
- Presión de aire/oxígeno en dieléctricos (mín./máx.) 0,5/1,5 bar
- Caudal de aire total máximo (se incluye el gasto del secador de adsorción) 40 m³/h.

-Refrigeración

- Caudal de agua de refrigeración 1,4 m³/h.
- Presión mín. entrada agua de refrigeración 1 bar.

ANEXO N°7. CÁMARA DE CONTACTO OZONO-AGUA.

7.1. Introducción.

En este anexo, se dimensiona y diseña la cámara de contacto para la transferencia del ozono al agua.

El principal objetivo de la cámara de contacto es promover la transferencia del ozono al agua residual depurada para conseguir la desinfección. El objetivo del diseño es obtener la mayor transferencia de ozono posible.

7.2. Tiempo de contacto.

El tiempo de contacto ha sido objeto de gran controversia en la desinfección mediante ozono. Algunos estudios han mostrado que se puede obtener una desinfección efectiva con tiempos de contactos tan pequeños como un minuto, pero la mayoría de los sistemas de desinfección mediante ozono existentes tienen un tiempo de contacto que va desde 10 a 15 minutos. La eficacia de la desinfección mediante ozono depende de una buena eficiencia en la transferencia, buena mezcla y un adecuado tiempo de contacto.

Para el dimensionamiento de la cámara contacto ozono-agua se utiliza un tiempo de contacto de 15 minutos. Este tiempo esta dentro del intervalo definido por la EPA para la desinfección de aguas residuales mediante ozono (6 -15 minutos). Se ha tomado el valor más alto para asegurar que el tiempo de contacto sea suficiente para alcanzar la desinfección.

7.3. Selección del tipo de cámara de contacto.

Fundamentalmente existen tres tipos de cámaras de contacto que se clasifican según el contactor que utilizan, entendiendo como contactor el mecanismo mediante el cual el ozono se disuelve en el agua en la cámara de

contacto. Los tres tipos de cámaras de contactos son: difusor de burbujas, inyector y turbina.

De los distintos tipos de contactores se opta por el difusor de burbujas trabajando a contracorriente porque es con el que se consigue mayor eficiencia (90% -95%) en la transferencia de ozono (Venosa et al., 1978), además es el más utilizado y ofrece otras ventajas como que sus partes no se mueven por lo que requiere poco mantenimiento y no necesita ningún aporte de energía después de la compresión inicial del gas.

7.4. Volumen de la cámara de contacto.

Para determinar el volumen de la cámara de contacto se considera el caudal del líquido y el tiempo de contacto. Toda contribución del gas se considera despreciable. El volumen de la cámara se calcula a partir del caudal de agua a tratar y del tiempo de contacto.

Caudal medio a tratar Q (m³/h)	Tiempo de contacto Tc (minutos)	Volumen del tanque V=Q·Tc (m³)
25	15	6,25

De esta forma necesitamos una cámara con un volumen mínimo de 6,25 m³.

7.5. Geometría de la cámara de contacto.

Las características físicas de la cámara de contacto es el aspecto más importante en el diseño porque es el factor sobre el que podemos decidir y controlar.

Para la geometría de la cámara de contacto se tienen en cuenta las siguientes consideraciones de diseño (Municipal Wastewater Disinfection, manual design, EPA/625/1-86/021) :

- La cámara de contacto debe tener al menos 2 etapas separadas o compartimentos.
- Cada etapa debe estar claramente separada de las otras. No debe de existir intercambio entre etapas para evitar las zonas muertas.
- El flujo del agua y la corriente de ozono debe de ser a contracorriente para maximizar la eficiencia de la transferencia de ozono.

La cámara de contacto constara de dos etapas divididas por un deflector. La geometría de la cámara se muestra en la figura 7.1.

Las dimensiones de la cámara son las siguientes:

Altura total = 2,16 m.

Altura útil = 2 m.

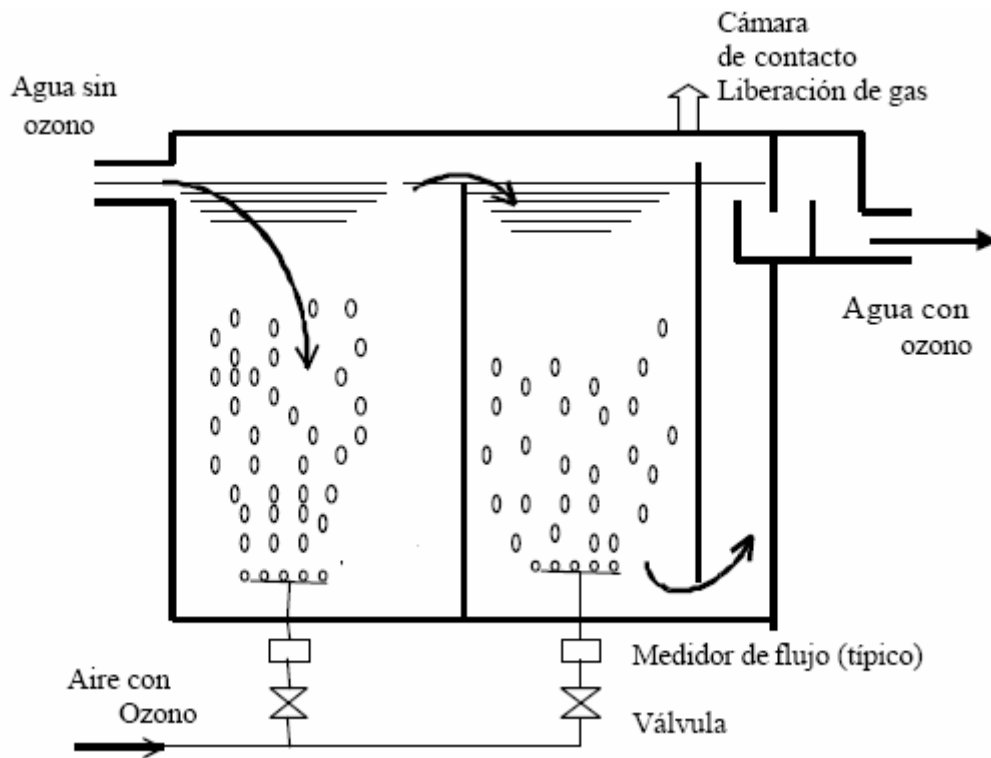
Anchura = 1,38 m.

Largo = 4,06 m.

La cámara consta de dos compartimentos separados por un deflector y un segundo deflector para la salida del agua (*Ver Plano n° 3*).

El material con el que se construye la cámara de contacto es hormigón, por ser este resistente a la corrosión por ozono y ser el más barato y adecuado para la geometría del tanque.

Fig 7.1. Cámara de contacto.



7.6. Características de los difusores.

A la hora de la elección y disposición de los difusores en la cámara de contacto se tienen en cuenta las siguientes consideraciones (Municipal Wastewater Disinfection, manual design, EPA/625/1-86/021) :

- Las burbujas formadas por el difusor deben tener un diámetro entre 2 y 3 mm.
- Cada difusor debe tener una válvula de control para el flujo de la corriente gaseosa de ozono y un medidor de flujo. La mayoría de los difusores deben situarse en la primera etapa para satisfacer la demanda inicial de ozono en esa etapa y así poder proporcionar una concentración uniforme de ozono residual a la etapa siguiente.

El caudal de diseño de aire ozonizado que sale del generador de ozono es de 28,23 Nm³/h (*anexo n°5*) de esta forma en el primer compartiendo de la cámara de contacto se introduce un caudal de 22,6 Nm³/h y en el segundo compartimiento o segunda etapa se introduce un caudal de 5,6 Nm³/h.

Se utilizan difusores de plato de acero inoxidable AISI 316, con un diámetro de 23 cm , con un flujo de 1,4 l/s por unidad. El tamaño de burbuja es de 2 a 3mm y la porosidad del 40 %.

Por lo tanto en el primer compartimiento de la cámara de contacto se disponen 5 difusores de plato y en el segundo se colocan 2 difusores.

En la cámara de contacto se coloca una válvula de presión para obtener una sobrepresión en la cámara de 0,5 bares, de esta forma se aumenta la presión parcial del ozono y se favorece la solubilidad del mismo. También se coloca una válvula de purga para la salida del aire ozonizado residual que se conduce al destructor de ozono.

7.7. Unidad de destrucción de ozono.

Por seguridad el gas a la salida de la cámara será conducido a un sistema de destrucción de ozono donde se destruirá el ozono no transferido al agua convirtiéndose a oxígeno.

El gas con ozono residual será recogido a la salida de la cámara de contacto y conducido a un destructor termico-catalítico, para reducir la concentración a un contenido mínimo de 0,06 ppm O₃ máximo.

La corriente de aire, antes de ponerse en contacto con el catalizador, será pre-calentada desde la temperatura ambiente hasta los 50-80 °C.

La pérdida de carga en el sistema se solventa con la colocación de un ventilador a la entrada del destructor.

ANEXO N°8. ESTUDIO HIDRÁULICO.

8.1. Introducción.

En este anexo se determinan las pérdidas de carga y se dimensionan las tuberías de la línea de tratamiento del agua residual depurada que se somete al tratamiento terciario. El diámetro y características de las tuberías de la línea de gas vendrán determinados por las características de los distintos equipos (compresor, secador y generador de ozono).

8.2. Sección de las tuberías.

Para realizar el cálculo de la sección de tubería se emplea la ecuación de continuidad:

$Q = A \times V$, donde Q es el caudal volumétrico (m^3/s), A es el área de sección transversal de la tubería (m^2), y v es la velocidad del fluido (m/s).

Esta expresión se desarrolla teniendo en cuenta que las tuberías son cilíndricas:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v$$

Donde D es el diámetro de la tubería (m).

De esta última expresión se puede despejar el diámetro, consiguiendo así dimensionar la tubería en función de la velocidad y el caudal que circula a través de ella.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

La selección de la velocidad más adecuada es un aspecto importante del diseño, ya que:

- Una velocidad de flujo excesiva originará elevadas pérdidas por rozamiento, lo que provocará un aumento en los costes de bombeo, y podría ocasionar erosión en los distintos elementos constituyentes del sistema de trasiego de fluidos.
- Una velocidad demasiado reducida obligaría al uso de tuberías y accesorios de gran tamaño, lo cual inflaría el presupuesto y aumentaría los costes de instalación.

En conducciones forzadas y para caudal medio se considera que las velocidades deben mantenerse entre 0,5 y 1,5 m/s. Para el cálculo de la sección se tomará una velocidad de diseño de 1 m/s. Excepto en la línea para el lavado del filtro donde la velocidad es superior.

Todas las tuberías de la línea de tratamiento conducen agua residual depurada (efluente secundario como mínimo), para el manejo del agua son aplicables muchos materiales que son estándares en la industria. El acero es el más común, barato y aplicable de los materiales que se emplean en la industria por lo que seleccionaremos el acero como material para las tuberías. Se utilizan tuberías comerciales de acero inoxidable tipo 316, con base en normas ANSI B36.10. Las tuberías de acero se fabrican con diámetros nominales y espesores de pared normalizados. Una vez calculado el diámetro interno para cada línea habrá que seleccionar el estándar comercial inmediatamente superior.

En la tabla 8.1 se muestra la selección de las tuberías constituyentes de las líneas principales del proceso.

Tabla 8.1. Tuberías constituyentes de las líneas del proceso.

Descripción de la línea		Caudal (m ³ /h)	D _{int} (mm)	D _{nominal} (in)	N° de schedule
Principio	Fin				
Arqueta de salida de la EDAR	Filtro	25	111,25	4	10S
Salida del filtro	Arqueta de agua filtrada	25	111,25	4	10S
Arqueta agua de refrigeración	Tubería de salida del filtro	114,6	111,25	4	10S
Canal de recolección del agua de lavado	desagüe	114,6	111,25	4	10S
Arqueta de bombeo	Cámara de contacto ozono-agua	25	111,25	4	10S
Cámara de contacto ozono-agua	Salida de agua para el riego	25	111,25	4	10S

8.3. Cálculos de las pérdidas de carga.

8.3.1. PÉRDIDAS DE CARGA EN CONDUCCIONES.

a) Pérdida de carga en la línea de entrada al tratamiento terciario.

La conducción del agua desde la arqueta de salida de la EDAR hasta la entrada del filtro se realiza mediante una tubería de acero comercial tipo 316 con un diámetro interior de 111,25 mm. En esta línea se disponen dos codos de 90° de radio largo y una válvula de mariposa. Teniendo en cuenta esta descripción se lleva a cabo el cálculo de las pérdidas de carga.

Para calcular la pérdida de carga a través de la tubería que va desde la arqueta de salida de la EDAR hasta la unidad de filtración se utiliza la ecuación de Fanning.

El gráfico n°1 permite calcular la rugosidad relativa (ϵ/D) a partir del diámetro (D), sabiendo que el material de la tubería y los accesorio es acero AISI 316. Para este diámetro, (ϵ/D) = 0,00043.

Es necesario calcular el número de Reynolds (Re) para obtener el valor del factor de fricción (4f) de la ecuación de Fanning.

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{10^3 \times 0,71 \times 0,11125}{1,518 \times 10^{-3}} = 5,2 \times 10^4$$

Donde: ρ = densidad del agua (Kg/m³).

v =velocidad del flujo (m/s).

μ = viscosidad del agua (N s/m²).

Haciendo uso del grafico 2 una vez conocido Re y ϵ/D , se calcula el factor de fricción (4f), que en este caso es 4f= 0,023.

La longitud total es igual a la suma de la longitud total de la tubería recta más la longitud equivalente de los dos codos de 90° y la válvula de compuerta (para determinar las longitudes equivalentes de los diversos accesorios de cada línea se utilizan los gráficos 8.3 y 8.4).

$$L_{total} = 6,38 + (2,1 \times 2) + 1,4 = 11,98 \text{ m.}$$

La pérdida de carga en la tubería es igual a:

$$hf = 4f \frac{L_{total}}{D} \frac{v^2}{2g} = 0,023 \times \frac{11,98}{0,11125} \times \frac{0,71^2}{2 \times 9,81} = 0,063 \text{ m}$$

$$h_f = 0,063 \text{ m}$$

b) Pérdida de carga en la línea de lavado del filtro.

El agua de para el lavado del filtro se impulsa desde la arqueta de recolección del agua de refrigeración del generador de ozono hasta la tubería de descarga del agua filtrada. La línea tiene una longitud total de 7,8 metros con un diámetro interior de 111,25 mm, , en los que tenemos dos codos de 90° ,una te de paso lateral y una válvula de compuerta.

El cálculo de las perdidas de carga se realiza a partir de la ecuación de Fanning de forma análoga a como se determina en el apartado anterior. De esta forma tenemos que las pérdidas de carga en esta línea es:

$$(\varepsilon/D) = 0,00043$$

$$Re = 2,4 \times 10^5$$

$$4f = 0,018$$

$$L_{total} = 7,8 + (2,1 \times 2) + 0,7 + 6,7 = 19,4 \text{ m.}$$

$$hf = 4f \frac{L_{total}}{D} \frac{v^2}{2g} = 0,018 \times \frac{19,4}{0,11125} \times \frac{3,3^2}{2 \times 9,81} = 1,7 \text{ m}$$

$$h_f = 1,7 \text{ m.}$$

c) Pérdida de carga en la línea de agua filtrada.

El agua de salida del filtro es conducida hasta la arqueta de agua filtrada. La línea tiene una longitud de 3 metros y el diámetro interior de la tubería es de 111,25 mm. En esta línea se coloca una válvula de mariposa y una te de paso directo. Usando la ecuación de Fanning, tenemos que la pérdida de carga es:

$$(\varepsilon/D) = 0,00043$$

$$Re = 5,2 \times 10^4$$

$$4f = 0,023$$

$$L_{total} = 3 + 2,1 + 1,4 = 6,5 \text{ m}$$

$$h_f = 4f \frac{L_{total}}{D} \frac{v^2}{2g} = 0,023 \times \frac{6,5}{0,11125} \times \frac{0,71^2}{2 \times 9,81} = 0,034 \text{ m}$$

$$h_f = 0,034 \text{ m.}$$

d) Pérdida de carga en la línea de entrada a la cámara de ozonización.

El agua filtrada se impulsa desde la arqueta hasta la cámara de ozonización. La línea tiene una longitud de 5,9 metros con un diámetro interior de 111,25 mm y 3 codos de 90° de radio largo y una válvula de compuerta. Las pérdidas de carga se calculan mediante la ecuación de Fanning, como en apartados anteriores. La pérdida de carga en esta línea es:

$$(\varepsilon/D) = 0,00043$$

$$Re = 5,2 \times 10^4$$

$$4f = 0,023$$

$$L_{total} = 5,7 + (2,1 \times 3) + 0,7 = 12,7 \text{ m.}$$

$$h_f = 4f \frac{L_{total}}{D} \frac{v^2}{2g} = 0,023 \times \frac{12,7}{0,11125} \times \frac{0,71^2}{2 \times 9,81} = 0,07 \text{ m}$$

$$h_f = 0,07 \text{ m}$$

8.3.2. PÉRDIDAS DE CARGA EN EL FILTRO.

a) Canal de entrada.

El caudal de agua que entra al filtro es de $25\text{m}^3/\text{h}$, la velocidad del flujo en el canal de entrada debe estar entre 0,3 y 0,6 m/s de acuerdo a la bibliografía. Tomaremos una velocidad de diseño de 0,5 m/s, de esta forma el área del flujo será:

$$\text{Área flujo} = \frac{\text{Caudal}}{\text{velocidad}} = \frac{6,94 \times 10^{-3}}{0,5} = 0,014 \text{m}^2.$$

El ancho de canal recomendado en la bibliografía para el área de filtración y tasa de filtración es de 12,5cm. De esta forma la altura del agua en el canal es de:

$$\text{Altura agua} = \frac{\text{Área flujo}}{\text{Ancho}} = \frac{0,014}{0,125} = 0,112 \text{m}.$$

Los datos calculados hasta ahora permiten calcular el diámetro equivalente del canal (De), que será usado para el cálculo de la pérdida de carga mediante la ecuación de Fanning.

$$De = 4 \times \frac{\text{Área flujo}}{\text{Perimetro mojado}} = 4 \times \frac{0,014}{(2 \times 0,112) + 0,125} = 0,16 \text{m}.$$

El grafico 8.1 permite calcular la rugosidad relativa (ϵ/D) a partir del diámetro equivalente (De), sabiendo que el material del canal de entrada es acero. De esta forma, $\epsilon/D = 0,0003$.

Para obtener el valor del factor de fricción (4f) de la ecuación de Fanning es necesario calcular el número de Reynolds (Re).

$$Re = \frac{\rho \times v \times De}{\mu} = \frac{10^3 \times 0,5 \times 0,16}{1,518 \times 10^{-3}} = 5,3 \times 10^4$$

Donde: ρ = densidad del agua (Kg/m^3).

v =velocidad del flujo (m/s).

μ = viscosidad del agua ($\text{N s}/\text{m}^2$).

Haciendo uso del grafico 8.2, una vez conocidos Re y ϵ/D , se calcula el factor de fricción (4f), que en este caso es $4f=0,022$

Por último se calcula la perdida de carga (h_f) haciendo uso de la ecuación de Fanning.

$$h_f = 4f \frac{L}{De} \frac{v^2}{2g} = 0,022 \times \frac{0,7}{0,16} \times \frac{0,5^2}{2 \times 9,81} = 0,00122 m.$$

donde: 4f=factor de fricción.

L=longitud del tramo (m).

v=velocidad del flujo (m/s).

g= Constante de gravitación = $9,81 \text{ m/s}^2$.

b) Pérdida de carga en el lecho filtrante limpio.

Se usa la ecuación de Carmen-Kozeny para determinar la pérdida de carga en el lecho filtrante.

$$h_f = \frac{f}{\Phi} \frac{1-e}{e^3} \frac{L}{d} \frac{v^2}{g}$$

donde f= coeficiente de fricción.

e= porosidad.

L= espesor de la capa filtrante.

v= tasa de filtración.

d= tamaño efectivo.

Φ = factor de forma.

Los datos necesarios para el calculo son: tasa de filtración ($v=240$ m/d), densidad del agua ($\rho=1000$ kg/m³), viscosidad del agua ($\mu=1,515 \times 10^{-3}$), factor de forma ($\Phi=1,0$).

El coeficiente de fricción se calcula haciendo uso de la siguiente expresión:

$$f = 150 \frac{1-e}{\text{Re}} + 1,75$$

Donde e=porosidad

$$\text{Re} = \frac{\rho \times v \times d}{\mu} = 0,82$$

De esta forma el coeficiente de fricción es:

$$f = 150 \frac{1-0,4}{0,82} + 1,75 = 111,5$$

y la pérdida de carga es:

$$h_f = \frac{111,5 (1-0,4)}{1} \frac{0,6}{0,4^3} \frac{0,6}{0,45 \times 10^{-3}} \frac{(2,78 \times 10^{-3})^2}{9,8} = 1,1m$$

$$\mathbf{h_f = 1,1 m.}$$

c) Pérdida de carga en el soporte de grava.

Los cálculos necesarios para obtener la pérdida de carga a través de cada una de las capas del soporte de grava son análogos a los realizados para

obtener la pérdida de carga a través del lecho filtrante limpio. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 8.2. Pérdida de carga en el soporte de grava durante el lavado.

Capa	Número de Reynolds (Re)	Coefficiente de fricción (f)	Pérdida de carga (hf), m
Fondo	23,05	5,33	$1,02 \times 10^{-3}$
Primera	13,8	7,71	$2,4 \times 10^{-3}$
Segunda	9,22	10,69	$5,16 \times 10^{-3}$
Tercera	5,53	16,65	0,013

La pérdida de carga total a través del soporte de grava es de **0,021m**.

d) Pérdida en el sistema de drenaje.

El sistema de drenaje utilizado usado en el filtro son fondos cerámicos leopold, en los que la pérdida de carga se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$h_f = K_1 v^M$$

donde K_1 =Constante de pérdida de carga.

V =tasa de filtración ($240\text{m/d} = 2,78 \times 10^{-3}$).

Para este tipo de fondo el valor de K_1 es de 179,31 y el valor de M es de 1,4. La pérdida de carga a través del sistema de drenaje es, por tanto, de **0,047m**.

d) Cálculo de pérdidas de carga durante el lavado.

- Pérdida de carga a través del lecho expandido.

La pérdida de carga a través del lecho expandido durante el lavado se estima mediante la siguiente expresión:

$$h_f = L \times (1 - e) \times (\rho_{esp} - 1)$$

Donde: L= Altura de la capa en reposo.

e= porosidad.

ρ_{esp} = densidad específica.

De esta forma la pérdida de carga a través del expandido durante el lavado es:

$$h_f = 0,6 \times (1-0,4) \times (2,65-1) = \mathbf{0,59 \text{ m.}}$$

- Pérdida de carga a través de la capa de grava.

La pérdida de carga a través de la capa de grava durante el lavado se calcula de forma análoga a como se calculó la misma pérdida durante la operación de filtración, utilizándose en este caso la velocidad del flujo de lavado (0.01275 m/s). Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8.3. Pérdida de carga en el soporte de grava durante el lavado.

Capa	Numero de reynolds (Re)	Coefficiente de friccion (f)	Pérdida de carga (hf), m
Fondo	105	2,46	$6,5 \times 10^{-3}$
Primera	63	2,84	0,013
Segunda	42	3,71	0,037
Tercera	25,2	5,02	0,084

La pérdida de carga total a través del soporte de grava durante el lavado es de **0,14 m**.

- Pérdida de carga a través del sistema de drenaje.

En este caso, el cálculo de la pérdida de carga también es análogo al realizado para calcular la pérdida de carga durante la operación de filtración. La velocidad requerida en la expresión es la velocidad del flujo de lavado expresada en m/s.

$$h_f = K_1 v^M = 179,31 \times 0,01275^{1,4} = 0,4m$$

$$\mathbf{h_f = 0,4m}$$

Grafico 8.1.

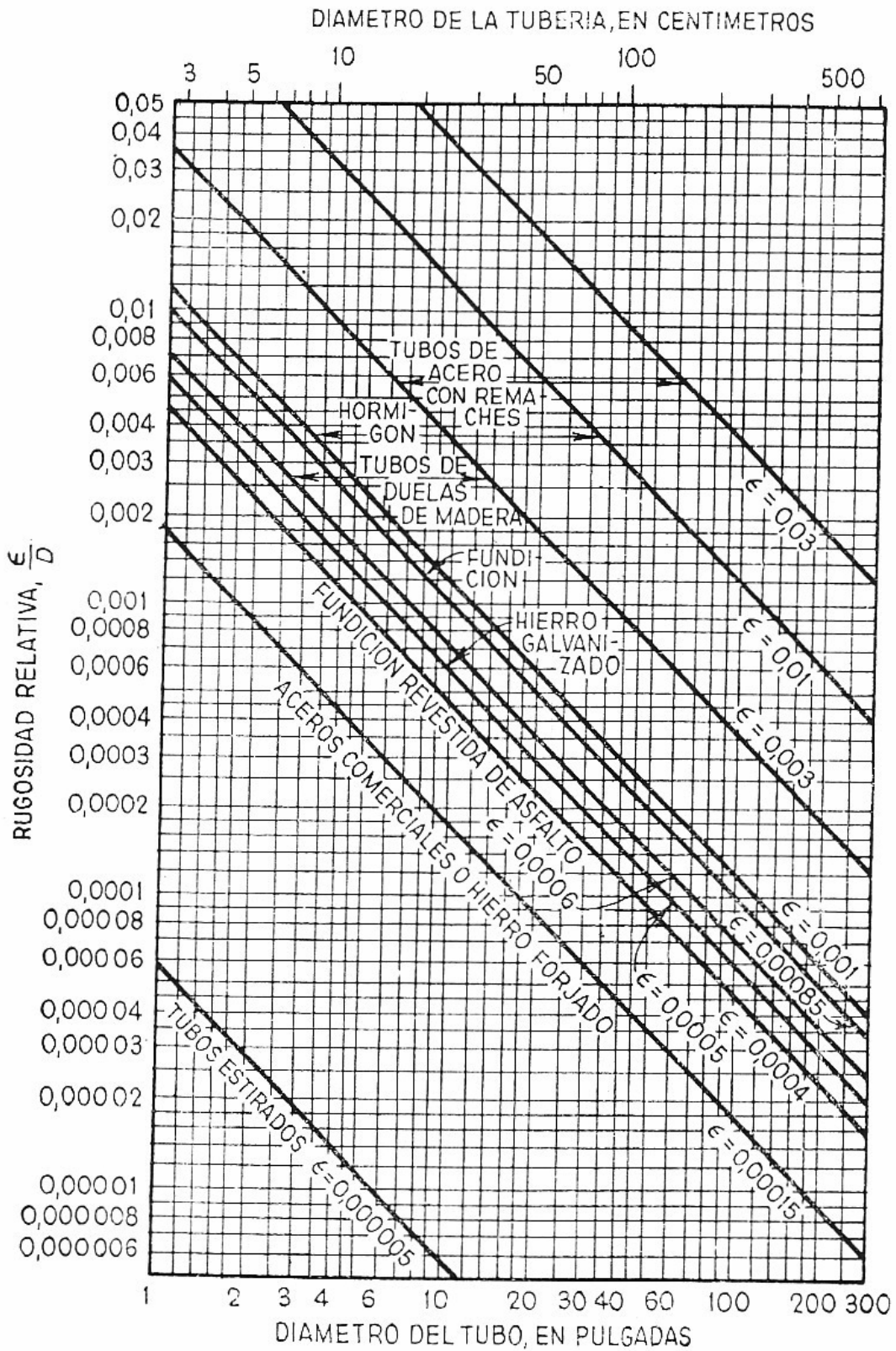


FIG. 1-3.

Grafico 8.2. Diagrama de Moody.

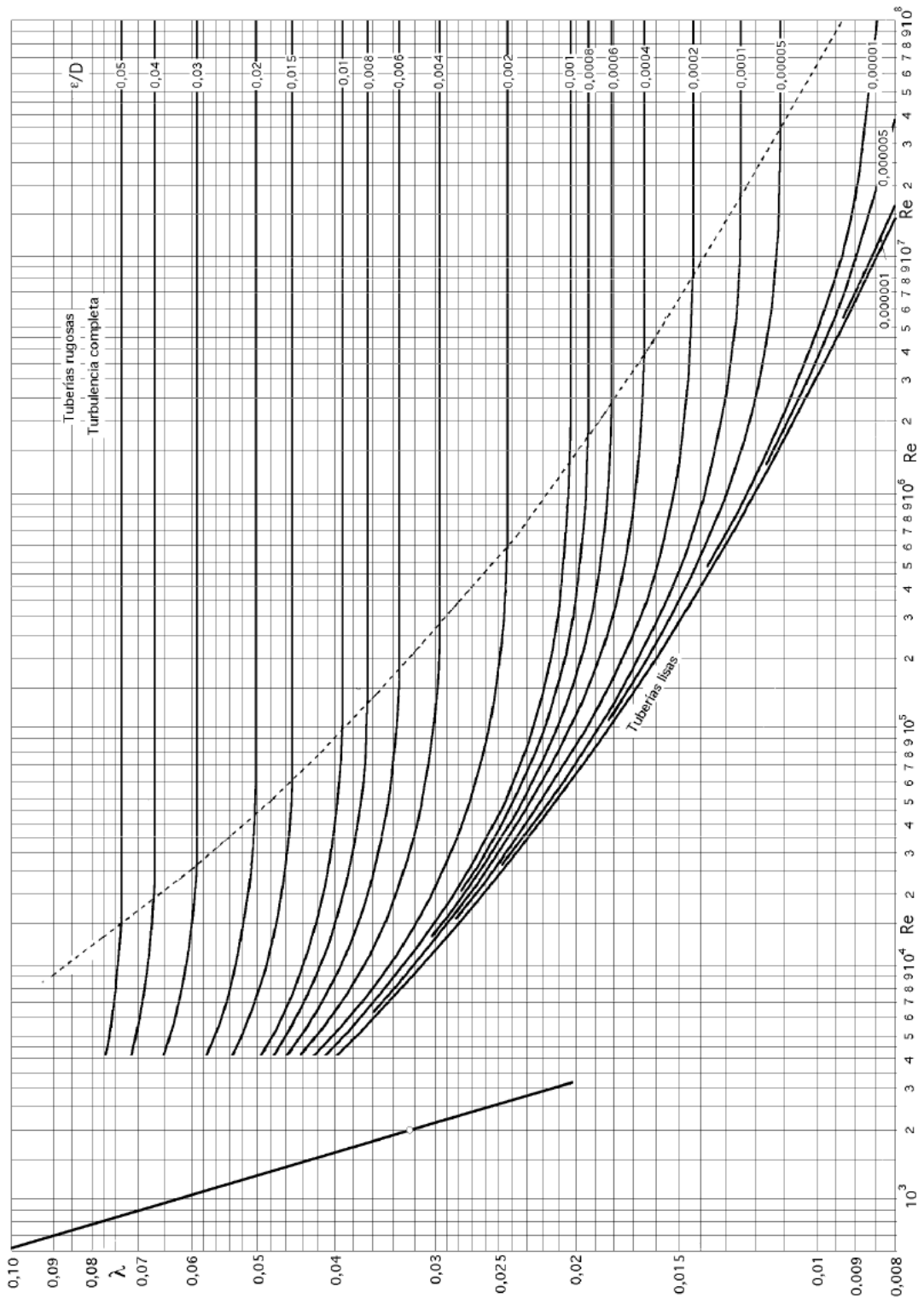


Fig IX.3.- Diagrama de Moody

Grafico 8.3. Longitud equivalente de accesorios.

ABACO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS
en metros de longitud de tubería equivalente

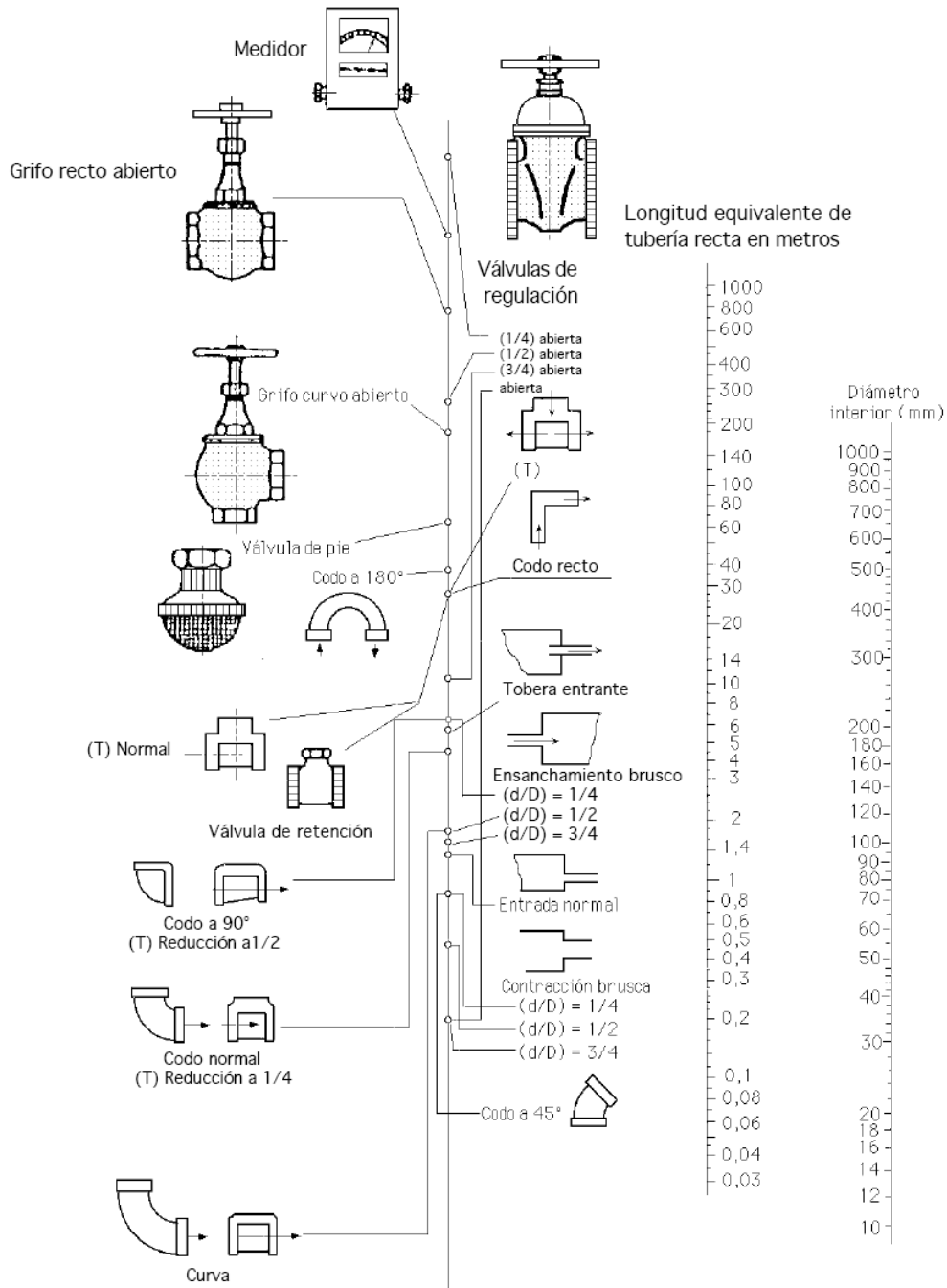


Grafico 8.4 Longitudes equivalentes.

	K	Longitud equivalente (número de diámetros)
Codos de 45°	Radio medio (33, 34, 39, 40, 41)	0,30
	Radio grande (33)	0,20
Codos de 90°	Radio medio (33, 34, 40, 41, 42, 43)	0,75
	Radio grande (33, 34, 39, 40)	0,45
	A escuadra (39, 43)	1,20
Uniones y acoplamientos (33, 41)		0,04
«Tes»	Entrada rama perpendicular (39)	1,8
	Salida rama perpendicular (39)	1,2
«Us» de retorno (180°) (33, 34, 40)		1,5

TABLA Válvulas. Constante K de la ecuación ; y longitudes equivalentes.

	K	Longitud equivalente (número de diámetros)
Válvula de compuerta (39, 41, 44):	abierta	0,17
	3/4 abierta	0,9
	1/2 abierta	4,5
	1/4 abierta	24,0
Válvula de diafragma (45):	abierta	2,3
	3/4 abierta	2,6
	1/2 abierta	4,3
	1/4 abierta	21,0
Válvula de asiento (41, 44), concavo:	abierta	6,0
	1/2 abierta	9,5
	complejo: abierta	6,0
	1/2 abierta	8,5
	plano: abierta	9,0
	3/4 abierta	13,0
Válvula de toma acodada (39, 41):	abierta	2,0
	abierta	3,0
	abierta	3,0
Válvula troncocónica (29), $\theta =$	5°	0,05
	10°	0,29
	20°	1,56
	40°	17,3
	60°	206,0

ANEXO N°9. SELECCIÓN DE BOMBAS.

9.1. Introducción.

En este anexo se determinan las bombas que son necesarias para la impulsión del agua en los distintos puntos del tratamiento terciario. Se van a incorporar dos tipos de bombas.

- Bombas sumergibles.
- Bombas centrífugas.

9.2. Bomba centrífuga en la arqueta de salida de la EDAR.

En este punto se dispone una bomba centrífuga para impulsar el caudal necesario desde la arqueta de salida de la EDAR hasta la unidad de filtración.

Para la determinación del tipo de bomba necesario en cada punto de la instalación es preciso conocer como mínimo los siguientes datos:

- Caudal "Q", ($25 \text{ m}^3/\text{h} = 0,42$).
- Altura útil "H", en m.
- NSPH

a) Altura útil (H).

La altura útil o altura efectiva que proporciona una bomba es igual a la altura teórica menos las pérdidas internas, en las que habrá que incluir pérdidas debidas a la conducción y perdidas debidas a la misma bomba.

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos de aspiración y descarga de la bomba, tendremos, que la altura efectiva es:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_{f1-2}$$

Donde;

H = altura efectiva o útil.

$P_2 - P_1$ = diferencia de presiones entre el punto de descarga y aspiración = 0

$(z_2 - z_1)$ = diferencia de cotas entre el punto de descarga y aspiración = 1,38m (altura entre la salida de la tubería de la arqueta y entrada al filtro).

$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$ = diferencia de velocidades entre la descarga y la aspiración = 0

h_{f1-2} = pérdidas de carga totales exteriores a la bomba.

Simplificando:

$$H = 1,38 + h_{f1-2}$$

Por tanto, para determinar la altura útil se debe calcular la pérdida de carga total (h_{f1-2}), que se obtiene de la suma de las pérdidas producidas en las conducciones y las pérdidas debidas a los accesorios.

Las pérdidas de carga se calculan en el anexo n°8, para la línea que va desde la arqueta al filtro la pérdida de carga es de 0,06m. Por tanto la altura útil es:

$$H = 1,38 + 0,063 = 1,44 \text{ m}$$

b) NSPH.

El concepto de altura neta positiva de aspiración (NSPH), debe diferenciarse muy claramente en dos; el NSPH requerido y el NSPH disponible.

La altura de aspiración disponible (NSPHd), es la energía del líquido en el punto de aspiración de la bomba, por encima de la energía del líquido debida a

su presión de vapor. Representa la máxima energía por unidad de peso que el fluido puede perder sin convertirse en vapor.

$$NSPHd = \frac{Pe - P_{sat}}{\rho g} + \frac{v_e^2}{2g}$$

Donde :

Pe = Presión de entrada a la bomba = $1,013 \cdot 10^5$ Pa

P_{sat} = Presión de saturación del agua a 20°C = 2336,8 Pa

ρ = Densidad del agua = 1000 kg/m³

g = gravedad = 9,8 m / s²

V_e = Velocidad de entrada a la bomba = 1 m/s

Sustituyendo:

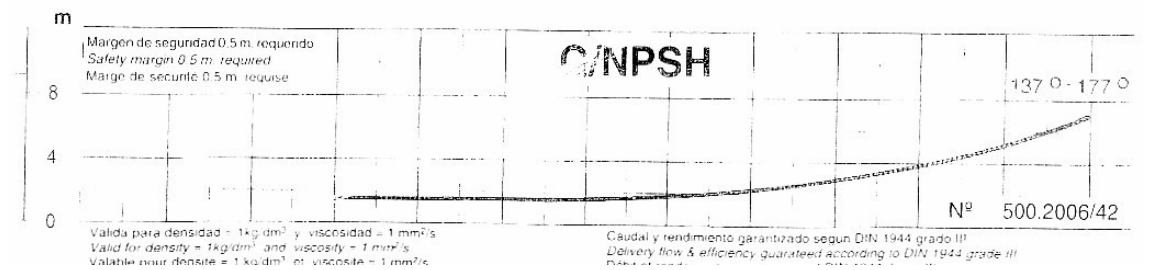
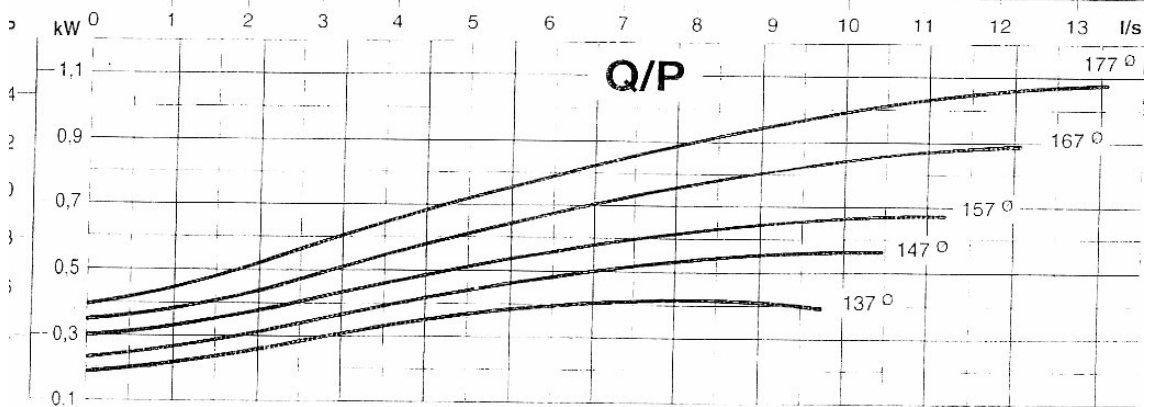
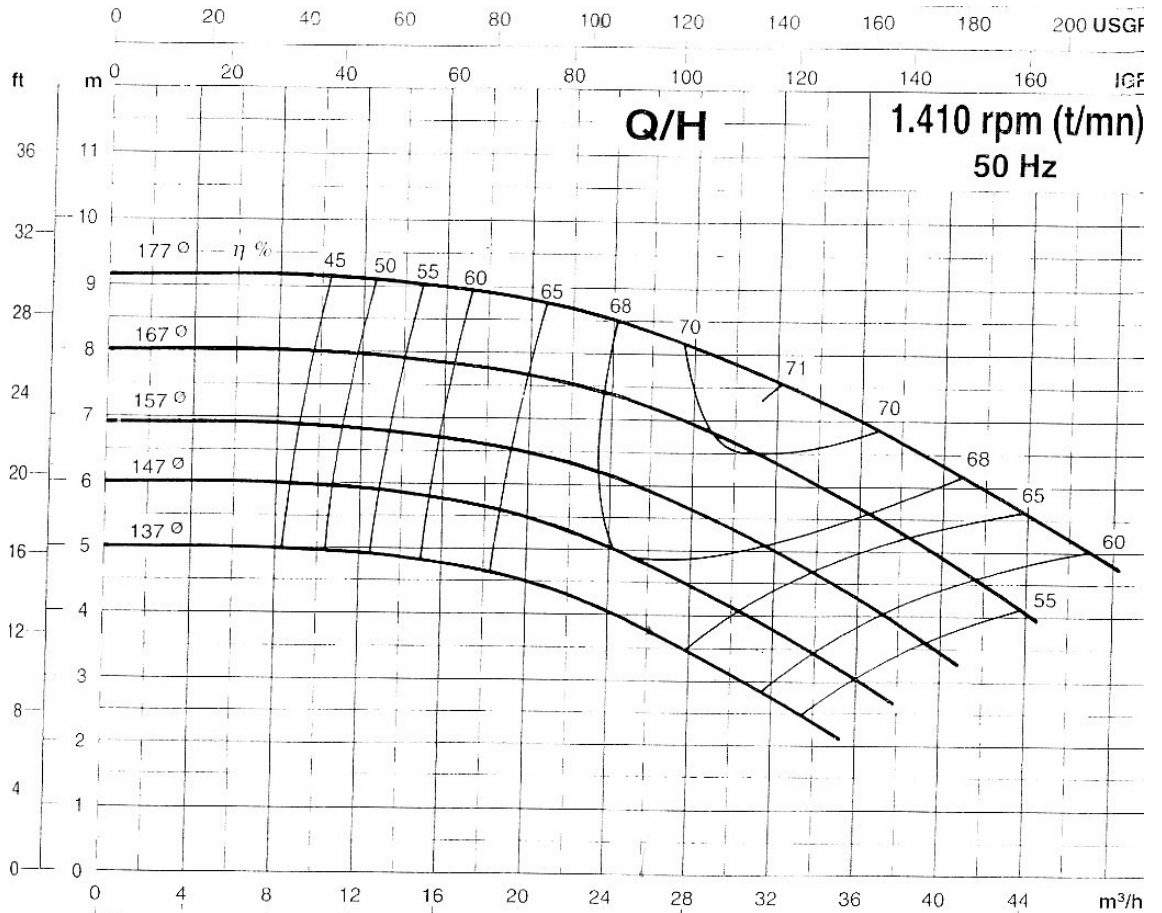
$$NSPHd = 10,16 \text{ m}$$

La altura de aspiración requerida (NSPHr), es una característica de la bomba dependiente del diseño de la misma, y la da el fabricante. Representa la energía necesaria para llenar la parte de aspiración, y vencer las pérdidas por rozamientos y aumento de la velocidad desde la conexión de aspiración de la bomba hasta el punto donde se incrementa la energía.

Para la elección de la bomba, debemos tener en cuenta que (NSPHd) > (NSPHr).

Conocido “Q_{máx}”, “H” y “NSPH” es posible elegir la bomba más apropiada empleando catálogos de fabricantes. Para esta línea se selecciona una bomba centrífuga del catalogo de bombas “Itur” con las siguientes características:

Tipo de bomba	Diámetro de rodete(mm)	Altura útil (m)	Rendimiento (%)	Potencia (kW)	NPSHr (m)
50-160.aF	137	3,75	69	0,4	2



9.3. Bombas sumergibles para el lavado del filtro.

El lavado del filtro se realiza con el agua utilizada en la refrigeración del ozonizador. Se dispone de una arqueta para recoger el agua tras el paso a través del generador de ozono en la refrigeración. Desde esta arqueta debemos impulsar el agua para el lavado del filtro. Para ello se dispone una bomba sumergible en la arqueta.

El procedimiento para la selección de la bomba es el mismo que en el apartado anterior. De esta forma tenemos los siguientes datos:

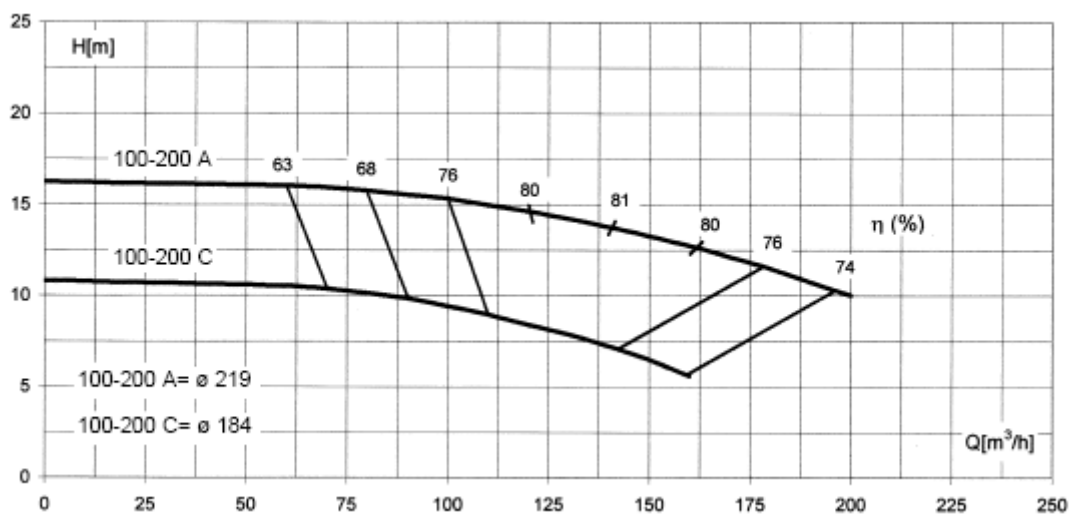
$$Q=114,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

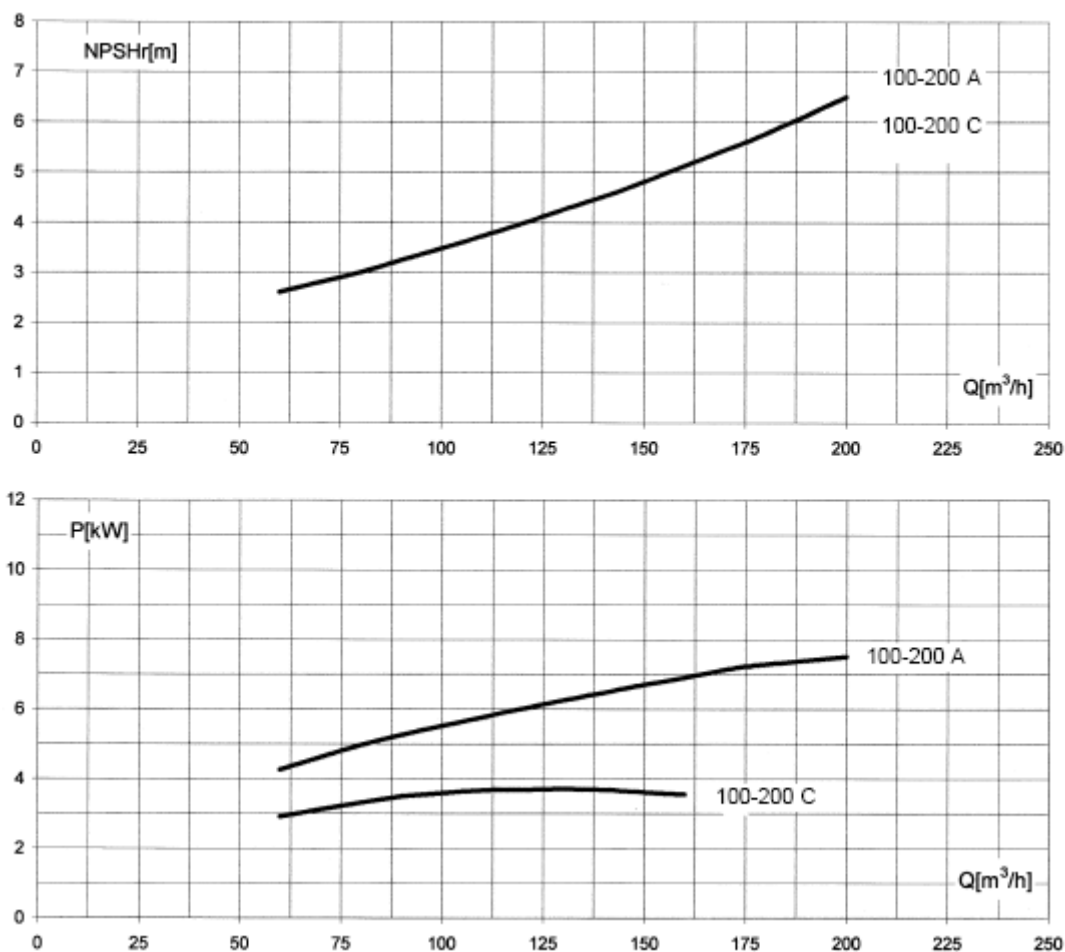
$$H= 1,8 + 2,83 = 4,63\text{m.}$$

$$\text{NSPHd} = 10,16.$$

A partir de estos datos se selecciona una bomba centrífuga sumergible monobloc del catálogo de bombas sumergible “Saer” con las siguientes características:

Tipo de bomba	Diámetro de rodete(mm)	Altura útil (m)	Rendimiento (%)	Potencia (kW)	NPSHr (m)
IR4P-100-200C	184	9	77	3,75	4





9.4. Bomba sumergible en la arqueta de agua filtrada.

En la arqueta del agua filtrada se coloca una bomba centrífuga sumergible para impulsar el agua hasta la cámara de ozonización.

El procedimiento para la selección de la bomba es el mismo que en apartados anteriores, de esta forma los datos que tenemos para esta línea de impulsión son:

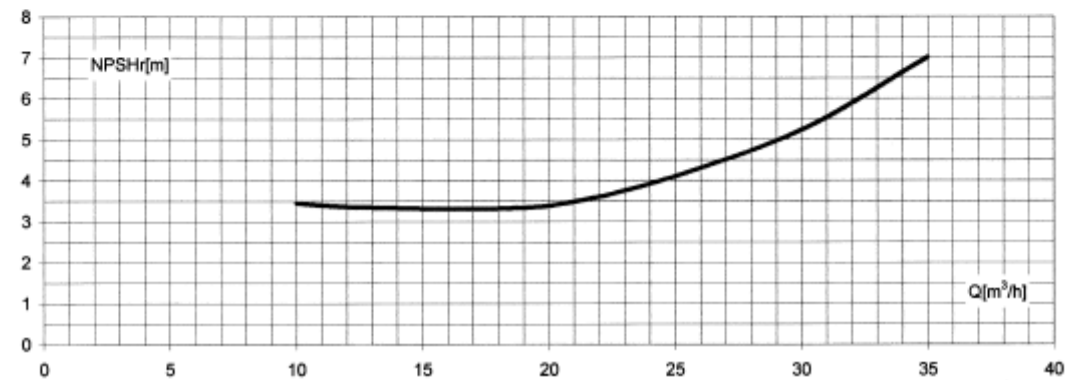
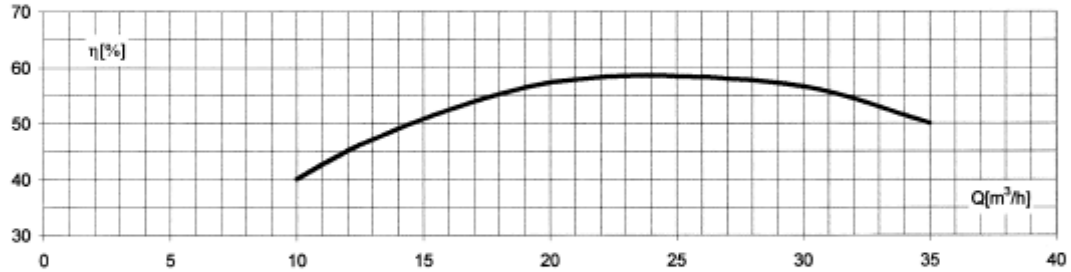
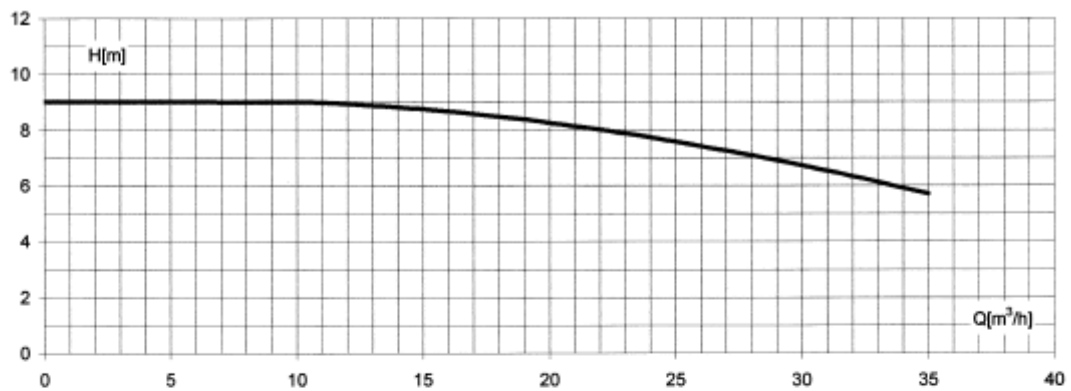
$$Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$$

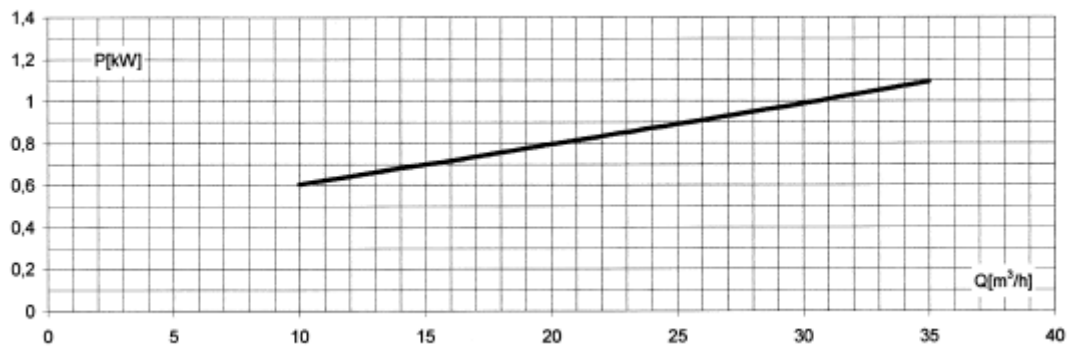
$$H= 0,07+ 2,55 = 2,62\text{m.}$$

$$\text{NSPHd} = 10,16.$$

La bomba que se selecciona es una bomba centrífuga sumergible monobloc de catalogo de bombas “Saer” con las siguientes características:

Tipo de bomba	Diámetro de rodete(mm)	Altura útil (m)	Rendimiento (%)	Potencia (kW)	NPSHr (m)
IR4P-50-160A	185	7	59	0,9	4





PLANOS.

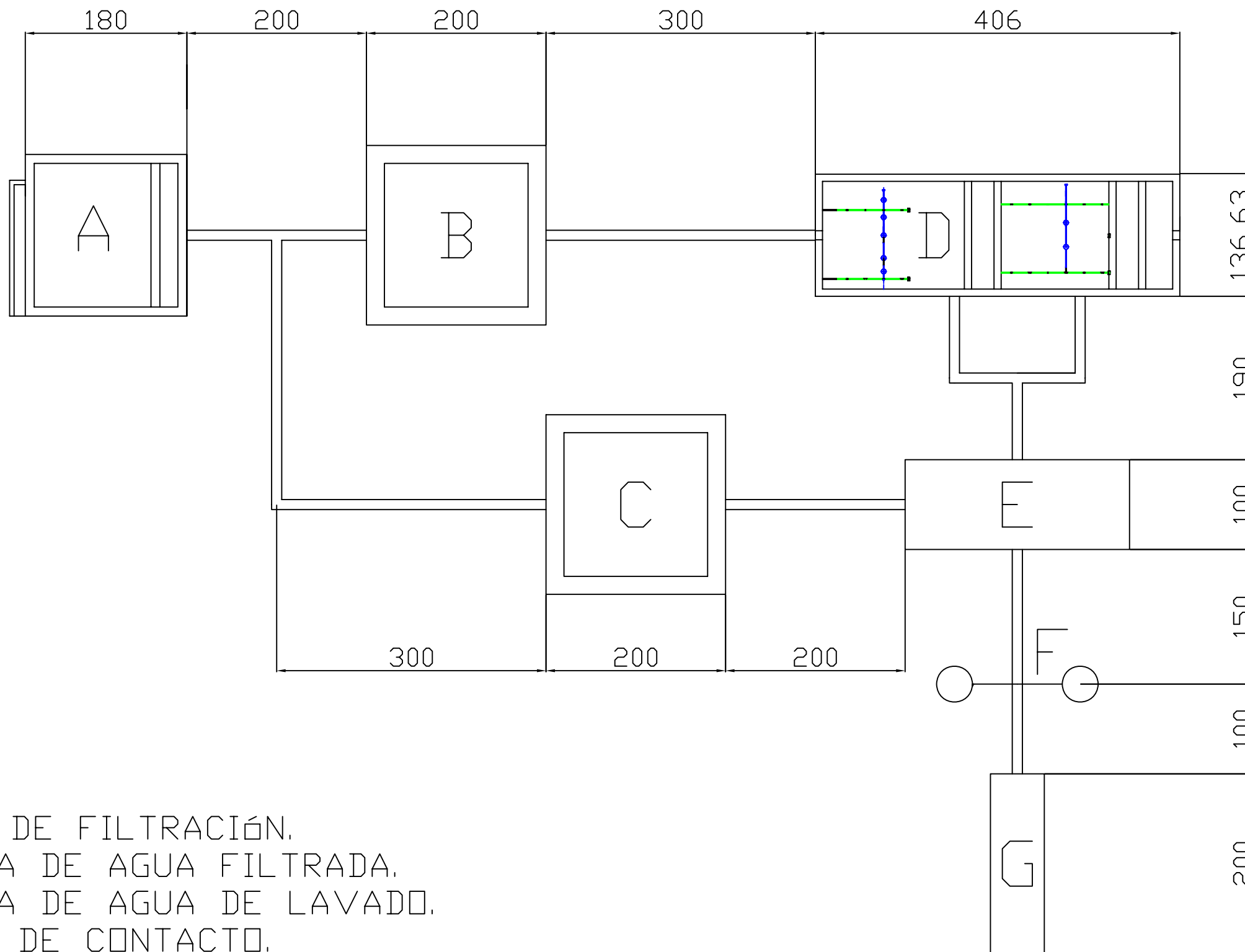
ÍNDICE.

PLANO N° 1: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LOS EQUIPOS.

PLANO N° 2: UNIDAD DE FILTRACIÓN.

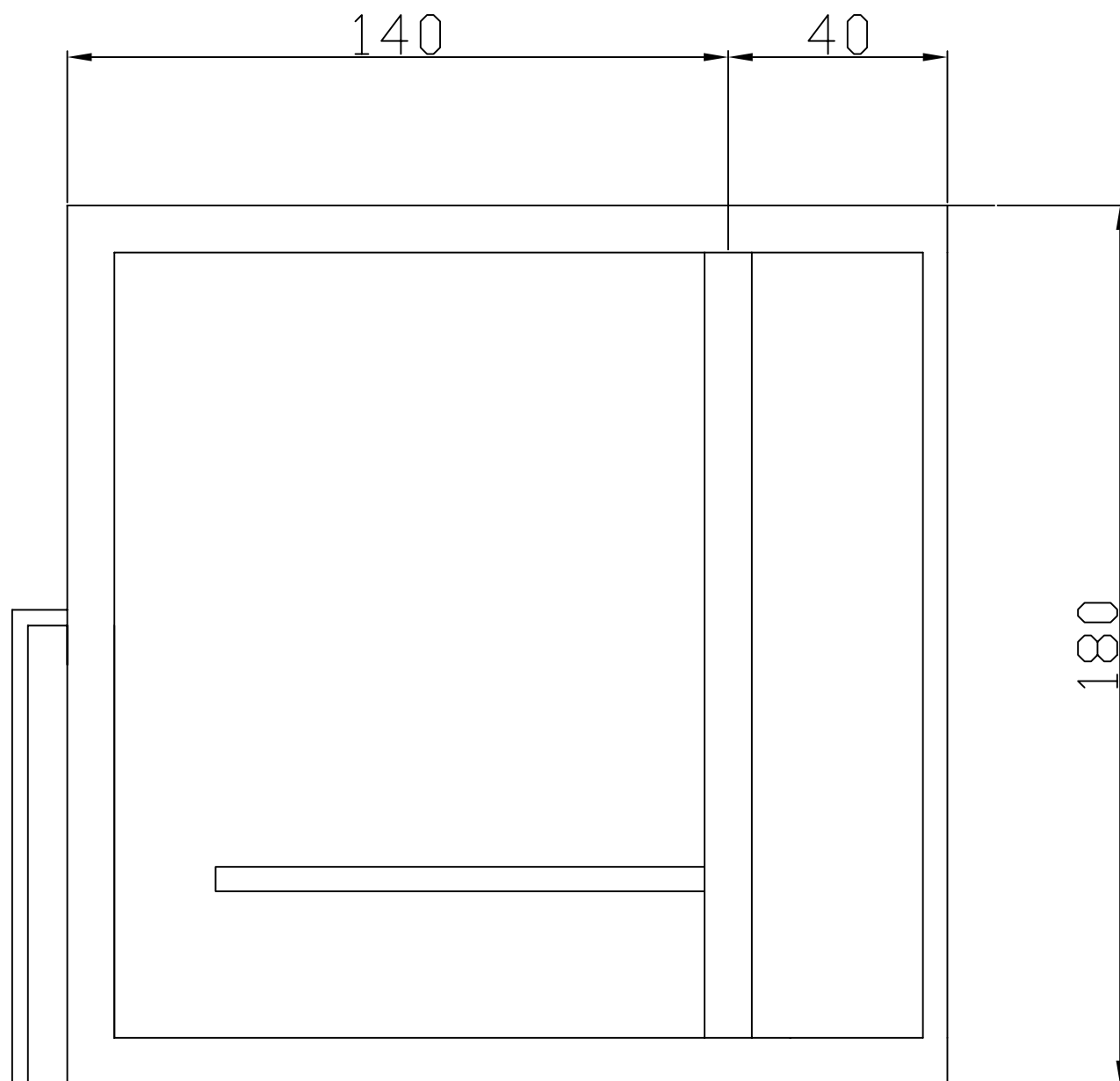
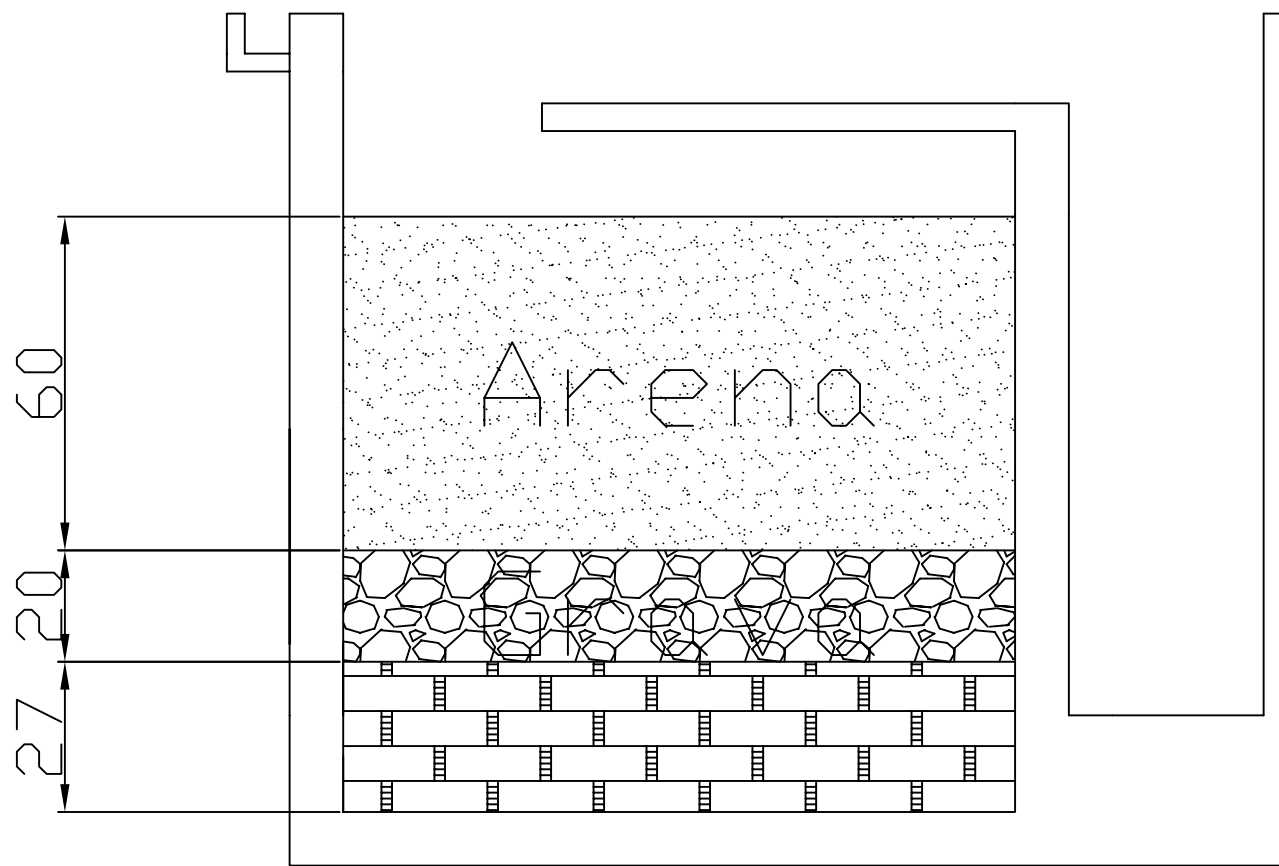
PLANO N° 3: CÁMARA DE CONTACTO.

PLANO N° 4: DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA EN 3D.



A-UNIDAD DE FILTRACIÓN.
 B-ARQUETA DE AGUA FILTRADA.
 C-ARQUETA DE AGUA DE LAVADO.
 D-CAMARA DE CONTACTO.
 E-GENERADOR DE OZONO.
 F-SECADOR DE ADSORCIÓN.
 G-COMPRESOR.

PROYECTO FIN DE CARRERA	FACULTAD DE CIENCIAS		
DISEÑO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TERCIARIO DE OZONIZACIÓN DEL AGUA DE SALIDA DE UNA E.D.A.R CONVENCIONAL PARA SU REUTILIZACIÓN EN EL RIEGO DE CAMPOS DE GOLF			
PLANO Nº1: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LOS EQUIPOS			
AUTOR JOSÉ JOAQUÍN BRENES VARD	FECHA JUNIO 2006	ESCALA (cm) 1/40	FIRMA



PROYECTO FIN DE
CARRERA

FACULTAD DE CIENCIAS

DISEÑO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TERCIARIO DE OZONIZACIÓN DEL AGUA DE SALIDA DE UNA E.D.A.R CONVENCIONAL PARA SU REUTILIZACIÓN EN EL RIEGO DE CAMPOS DE GOLF

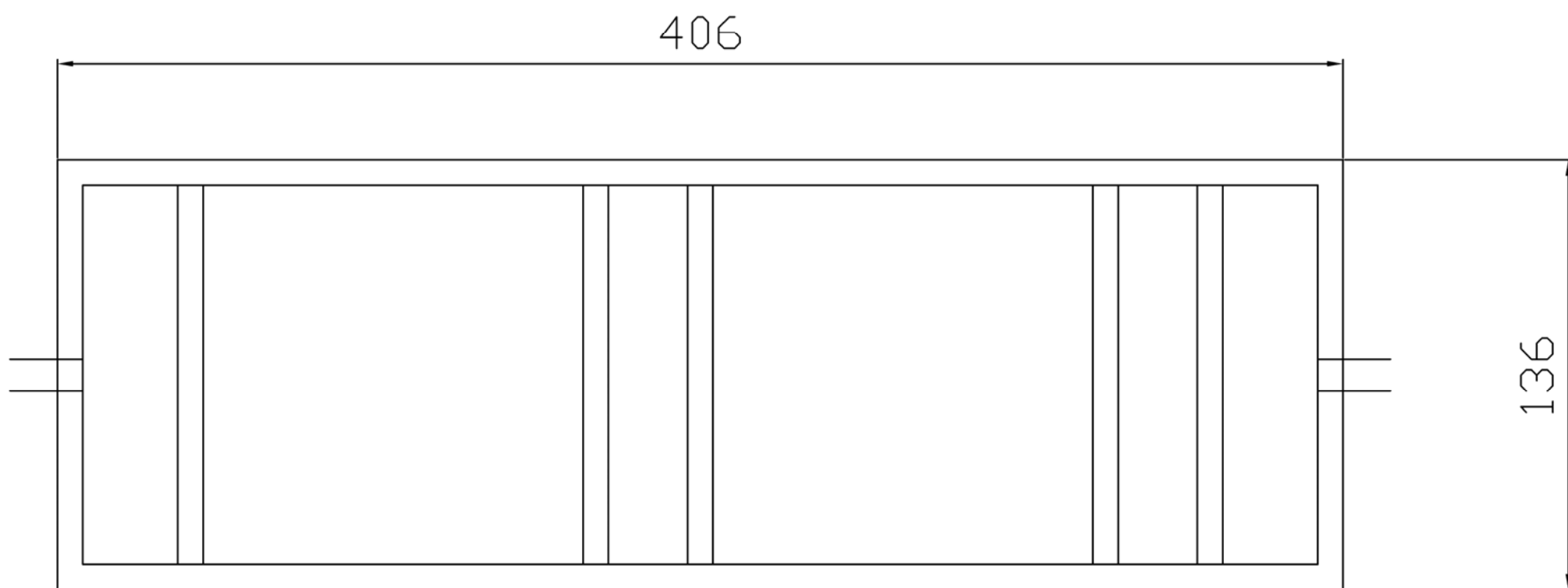
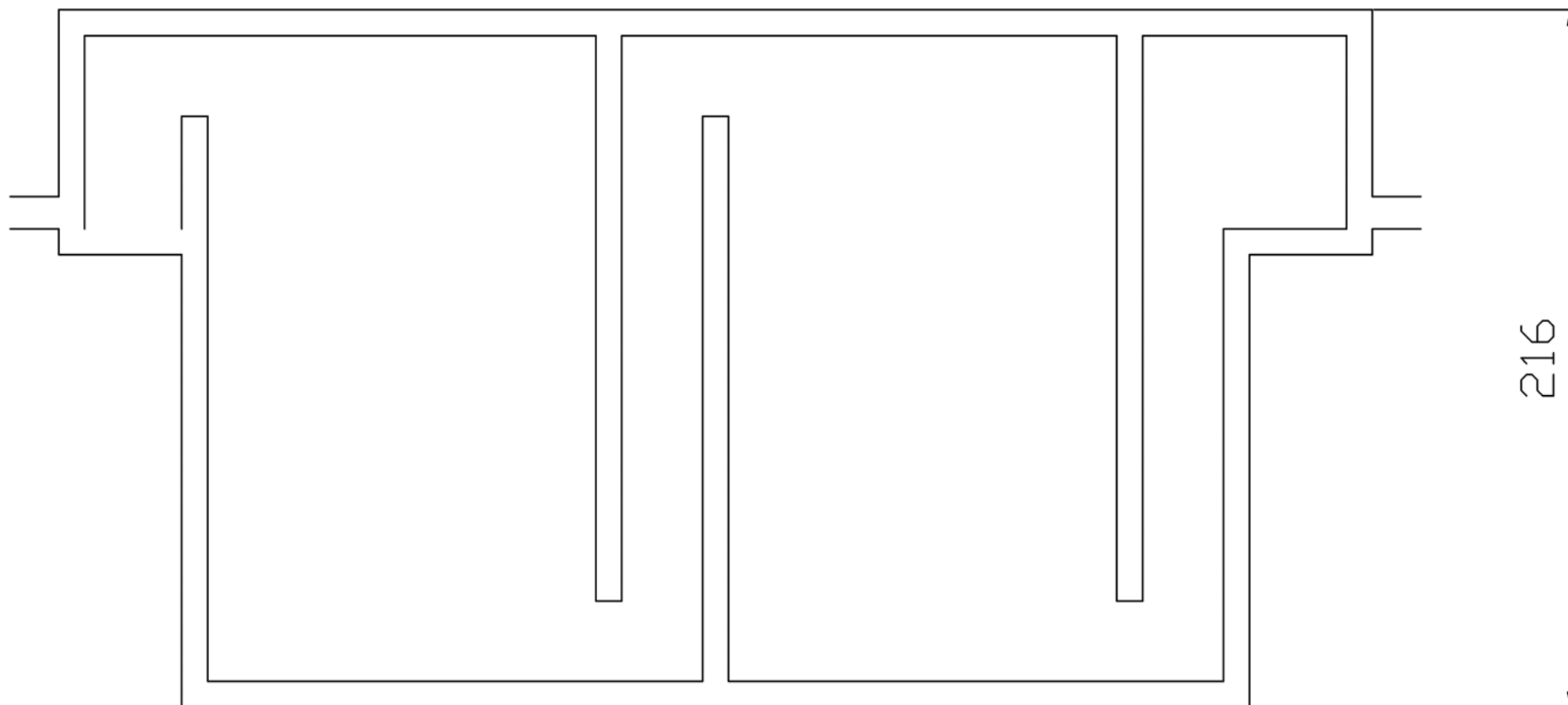
PLANO N° 2: UNIDAD DE FILTRACIÓN

AUTOR
JOSÉ JOAQUIN BRENES
VARO

FECHA
JUNIO 2006

ESCALA
1/15

FIRMA



PROYECTO FIN DE CARRERA

FACULTAD DE CIENCIAS

DISEÑO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO TERCIARIO DE OZONIZACIÓN DEL AGUA DE SALIDA DE UNA E.D.A.R CONVENCIONAL PARA SU REUTILIZACIÓN EN EL RIEGO DE CAMPOS DE GOLF

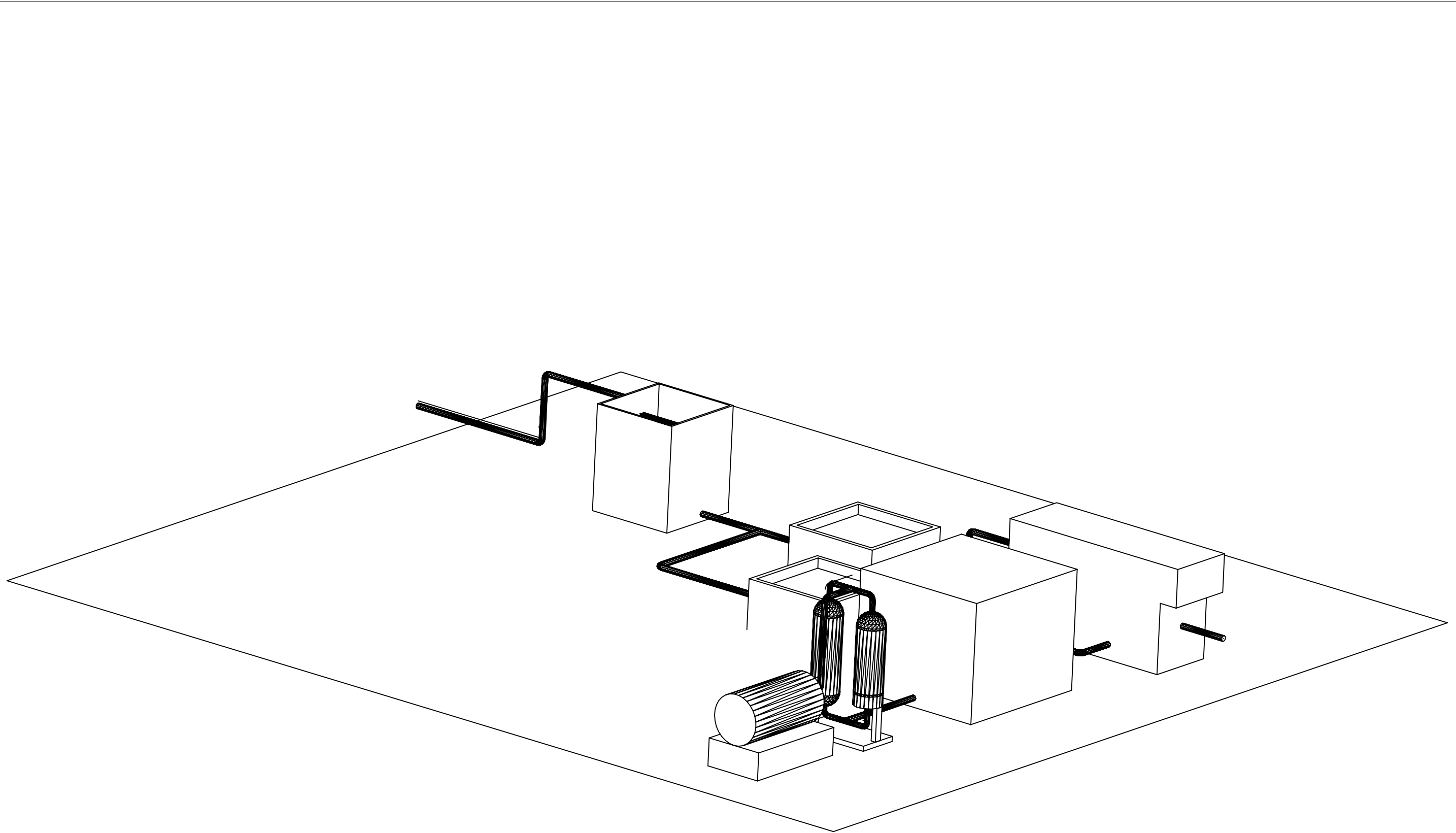
PLANO Nº 3: CÁMARA DE CONTACTO

AUTOR
JOSÉ JOAQUÍN BRENES
VARO

FECHA
JUNIO 2006

ESCALA
1/20

FIRMA



PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. APLICACION DEL PLIEGO, DEFINICION DE LAS OBRAS Y ADJUDICACIÓN... 1

ARTÍCULO 1.	OBJETO DEL PLIEGO.....	1
ARTÍCULO 2.	PROYECTO.....	1
ARTÍCULO 3.	CONCURSO.....	2
ARTÍCULO 4.	RETIRADA DE DOCUMENTACION DE CONCURSO.....	2
ARTÍCULO 5.	ACLARACIONES A LOS LICITADORES	3
ARTÍCULO 6.	PRESENTACION DE LA DOCUMENTACION DE LA OFERTA.....	3
ARTÍCULO 7.	CONDICIONES LEGALES QUE DEBE REUNIR EL CONTRATISTA PARA PODER OFERTAR.....	6
ARTÍCULO 8.	VALIDEZ DE LAS OFERTAS	7
ARTÍCULO 9.	CONTRADICIONES Y OMISIONES EN LA DOCUMENTACION.....	7
ARTÍCULO 10.	PLANOS PROVISIONALES Y DEFINITIVOS	8
ARTÍCULO 11.	ADJUDICACION DEL CONCURSO	9
ARTÍCULO 12.	DEVOLUCION DE PLANOS Y DOCUMENTACIÓN	9
ARTÍCULO 13.	PERMISOS A OBTENER POR LA EMPRESA.....	10
ARTÍCULO 14.	PERMISOS A OBTENER POR EL CONTRATISTA	13

CAPÍTULO 2. DESARROLLO DEL CONTRATO, CONDICIONES ECONOMICAS Y LEGALES..... 14

ARTÍCULO 15.	CONTRATO	14
ARTÍCULO 16.	GASTOS E IMPUESTOS	15
ARTÍCULO 17.	FIANZAS PROVISIONAL, DEFINITIVA Y FONDO DE GARANTIA.....	15
ARTÍCULO 18.	ASOCIACION DE CONSTRUCTORES	17
ARTÍCULO 19.	SUBCONTRATISTAS	17
ARTÍCULO 20.	RELACIONES ENTRE LA EMPRESA Y EL CONTRATISTA Y ENTRE LOS DIVERSOS CONTRATISTAS Y SUBCONTRATISTAS.....	18
ARTÍCULO 21.	DOMICILIOS Y REPRESENTACIONES.....	19
ARTÍCULO 22.	OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA EN MATERIA SOCIAL	20
ARTÍCULO 23.	GASTOS DE CARACTER GENERAL A CUENTA DEL CONTRATISTA..	23
ARTÍCULO 24.	GASTOS DE CARACTER GENERAL POR CUENTA DE LA EMPRESA ..	25
ARTÍCULO 25.	INDEMNIZACIONES POR CUENTA DEL CONTRATISTA	26
ARTÍCULO 26.	PARTIDAS PARA OBRAS ACCESORIAS	26
ARTÍCULO 27.	PARTIDAS ALZADAS.....	26
ARTÍCULO 28.	REVISION DE PRECIOS.....	27
ARTÍCULO 29.	REGIMEN DE INTERVENCION.....	28
ARTÍCULO 30.	RESCISION DEL CONTRATO	29
ARTÍCULO 31.	PROPIEDAD INDUSTRIAL Y COMERCIAL	32
ARTÍCULO 32.	DISPOSICIONES LEGALES.....	33
ARTÍCULO 33.	TRIBUNALES	34

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LAS OBRAS. CONDICIONES TECNICO-ECONOMICAS..... 35

ARTÍCULO 34.	MODIFICACIONES DEL PROYECTO.....	35
ARTÍCULO 35.	MODIFICACIONES DE LOS PLANOS.....	36
ARTÍCULO 36.	REPLANTEO DE LAS OBRAS	37

ARTÍCULO 37.	ACCESOS A LAS OBRAS	38
ARTÍCULO 38.	ORGANIZACION DE LAS OBRAS	39
ARTÍCULO 39.	VIGILANCIA Y POLICIA DE LAS OBRAS	40
ARTÍCULO 40.	UTILIZACION DE LAS INSTALACIONES AUXILIARES Y EQUIPOS DEL CONTRATISTA.....	40
ARTÍCULO 41.	EMPLEO DE MATERIALES NUEVOS O DE DEMOLICION PERTENECIENTES A LA EMPRESA ELECTRICA	41
ARTÍCULO 42.	USO ANTICIPADO DE LAS INSTALACIONES DEFINITIVAS	41
ARTÍCULO 43.	PLANES DE OBRA Y MONTAJE	42
ARTÍCULO 44.	PLAZOS DE EJECUCION	44
ARTÍCULO 45.	RETENCIONES POR RETRASOS EN LA EJECUCION DE LA OBRA....	45
ARTÍCULO 46.	INCUMPLIMIENTO DE LOS PLAZOS Y MULTAS.....	46
ARTÍCULO 47.	SUPRESION DE LAS MULTAS	46
ARTÍCULO 48.	PREMIOS Y PRIMAS.....	47
ARTÍCULO 49.	RETRASOS OCASIONADOS POR LA EMPRESA	47
ARTÍCULO 50.	DAÑOS Y AMPLIACION DE PLAZO EN CASO DE FUERZA MAYOR ...	48
ARTÍCULO 51.	MEDICIONES DE LAS UNIDADES DE OBRA.....	48
ARTÍCULO 52.	CERTIFICACION Y ABONO DE LAS OBRAS	50
ARTÍCULO 53.	ABONO DE UNIDADES INCOMPLETAS O DEFECTUOSAS	53
ARTÍCULO 54.	RECEPCION PROVISIONAL DE LAS OBRAS	54
ARTÍCULO 55.	PLAZO DE GARANTIA.....	55
ARTÍCULO 56.	RECEPCION DEFINITIVA DE LAS OBRAS	56
ARTÍCULO 57.	LIQUIDACION DE LAS OBRAS	56

Capítulo 1. APLICACIÓN DEL PLIEGO, DEFINICIÓN DE LAS OBRAS Y ADJUDICACIÓN

Artículo 1. OBJETO DEL PLIEGO

El presente pliego tiene por objeto la ordenación, con carácter general, de las condiciones facultativas y económicas que han de regir en los concursos y contratos destinados a la ejecución de los trabajos de obra civil, siempre que expresamente se haga mención de este pliego en los particulares de cada una de las obras.

En este último supuesto, se entiende en Contratista Adjudicatario de la obra se compromete a aceptar íntegramente todas y cada una de las cláusulas del presente Pliego General.

Artículo 2. PROYECTO

2.1.- En general, el Proyecto podrá comprender los siguientes documentos:

2.1.1.- Una Memoria que considerará las necesidades a satisfacer y los factores de carácter general a tener en cuenta. En ella se incluirán unos Anexos a la Memoria, en los que se expondrán todos los cálculos realizados, modelos empleados en ellos, simplificaciones de los modelos, así como las suposiciones que se han tenido en cuenta a la hora de efectuar los cálculos pertinentes.

2.1.2.- Los Planos de conjunto y detalle necesarios para que la planta quede perfectamente definida.

2.1.3.- El cuadro de precios, en el que se incluyen precios de la instalación, materias primas, mantenimiento de la instalación, y posibles ingresos de productos.

2.1.4.- El Pliego Particular de Condiciones Técnicas y Económicas, que incluirá la descripción de las obras e instalaciones, especificaciones de los materiales y elementos constitutivos y normas para la ejecución de los trabajos, así como las bases económicas y legales que regirán en esa obra. Las condiciones de este Pliego Particular serán preceptivas y prevalecerán sobre las del Pliego General en tanto las modifiquen o contradigan.

Artículo 3. CONCURSO

La licitación de la obra se hará por Concurso Restringido, en el que la EMPRESA convocara a las Empresas Constructoras que estime oportuno.

Los concursantes enviarán sus ofertas por triplicado, en sobre cerrado y lacrado, según se indique en la carta de petición de ofertas, a la dirección de la EMPRESA.

No se considerarán válidas las ofertas presentadas que no cumplan los requisitos citados anteriormente, así como los indicados en la Documentación Técnica enviada.

Artículo 4. RETIRADA DE DOCUMENTACIÓN DE CONCURSO

4.1.- Los Contratistas, por sí o a través de sus representantes, podrán retirar dicha documentación de las oficinas de la EMPRESA cuando ésta no les hubiese sido enviada previamente.

4.2.- La EMPRESA, se reserva el derecho de exigir para la retirada de la documentación, un depósito que será reintegrado en su totalidad a los Contratistas que no hubiesen resultado adjudicatarios de la obra, previa devolución de dicha documentación.

Artículo 5. ACLARACIONES A LOS LICITADORES

Antes de transcurrido la mitad del plazo estipulado en las bases del Concurso, los Contratistas participantes podrán solicitar por escrito a la EMPRESA las oportunas aclaraciones, en el caso de encontrar discrepancias, errores u omisiones en los Planos, Pliegos de Condiciones o en otros documentos de Concurso, o si se les presentase dudas en cuanto a su significado.

La EMPRESA, estudiará las peticiones de aclaración e información recibidas y las contestará mediante una nota que remitirá a todos los presuntos licitadores, si estimase que la aclaración solicitada es de interés general.

Si la importancia y repercusión de la consulta así lo aconsejara, la EMPRESA podrá prorrogar el plazo de presentación de ofertas, comunicándolo así a todos los interesados.

Artículo 6. PRESENTACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN DE LA OFERTA

Las Empresas que oferten en el Concurso presentarán obligatoriamente los siguientes documentos en original y dos copias:

6.1.- Cuadro de Precios nº1, consignando en letra y cifra los precios unitarios asignados a cada unidad de obra cuya definición figura en dicho cuadro. Estos precios deberán incluir el % de Gastos Generales, Beneficio Industrial y el IVA que facturarán independientemente. En caso de no coincidir

las cantidades expresadas en letra y cifra, se considerará como válida la primera. En el caso de que existiese discrepancia entre los precios unitarios de los Cuadros de Precios Números 1 y 2, prevalecerá el del Cuadro nº1.

6.2.- Cuadro de Precios nº2, en el que se especificará claramente el desglose de la forma siguiente:

6.2.1.- Mano de obra por categorías, expresando el número de horas invertido por categoría y precio horario.

6.2.2.- Materiales, expresando la cantidad que se precise de cada uno de ellos y su precio unitario.

6.2.3.- Maquinaria y medios auxiliares, indicando tipo de máquina, número de horas invertido por máquina y precio horario.

6.2.4.- Transporte, indicando en las unidades que lo precisen el precio por tonelada y kilómetro.

6.2.5.- Varios y resto de obra que incluirán las partidas directas no comprendidas en los apartados anteriores.

6.2.6.- Porcentajes de Gastos Generales, Beneficios Industrial e IVA.

6.3.- Presupuesto de Ejecución Material, obtenido al aplicar los precios unitarios a las mediciones del Proyecto. En caso de discrepancia entre los precios aplicados en el Presupuesto y los del Cuadro de Precios nº1, obligarán los de este último.

Este Presupuesto vendrá desglosado, de acuerdo a lo establecido en el artículo 2.1.3 en dos presupuestos: a) Presupuesto de Obra características y b) Presupuestos de Obra Complementarios, que en los sucesivos artículos de este Pliego recibirán esta denominación.

Las nuevas unidades de obra que aparezcan durante la ejecución de la misma con el carácter establecido se incorporarán previa aplicación de los precios correspondientes, al Presupuesto de Obras Complementarias.

6.4.- Presupuesto Total, obtenido al incrementar el Presupuesto de Ejecución Material en sus dos apartados con el % de IVA.

6.5.- Relación del personal técnico adscrito a la obra y organigrama general del mismo durante el desarrollo de la obra.

6.6.- Relación de maquinaria adscrita a la obra, expresando tipo de máquina, características técnicas fundamentales, años de uso de la máquina y estado general; asimismo relación de máquinas de nueva adquisición que se asignarán a la obra en de resultar adjudicatario. Cualquier sustitución posterior de la misma debe ser aprobada por la EMPRESA. Deberá incluirse asimismo un plan de permanencia de toda la maquinaria en obra.

6.7.- Baremos horarios de mano de obra por categorías y de maquinaria para trabajos por administración. Estos precios horarios incluirán el % de Gastos Generales y Beneficio Industrial y el IVA. que facturarán independientemente.

6.8.- Plan de obra detallado, en el que se desarrollarán en el tiempo las distintas unidades de obra a ejecutar, haciendo mención de los rendimientos medios a obtener.

6.9.- Las empresas que oferten en el Concurso, deberán presentar una fianza en euros, como garantía de mantenimiento de la oferta durante el plazo establecido en cada caso de acuerdo con el Art.9.2. Es potestativo de la EMPRESA la sustitución de la fianza en metálico por un AVAL bancario.

6.10.- Las propuestas económicas y documentación complementaria deberán venir firmadas por el representante legal o apoderado del ofertante quien, a petición de la EMPRESA, deberá probar esta extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.

6.11.- Además de la documentación reseñada anteriormente y que el Contratista deberá presentar con carácter obligatorio, la EMPRESA podrá exigir en cada caso, cualquier otro tipo de documentación, como pueden ser referencias, relación de obras ejecutadas, balances de la sociedad, etc.

Artículo 7. *CONDICIONES LEGALES QUE DEBE REUNIR EL CONTRATISTA PARA PODER OFERTAR*

7.1.-Capacidad para concurrir las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras que se hallen en plena posesión de su capacidad jurídica y de obrar.

No obstante, serán de aplicación a las Empresas extranjeras las normas de ordenación de la industria y las que regulen las inversiones de capital extranjero, así como las que dicte el Gobierno sobre concurrencia de dichas empresas, antes de la licitación de estas obras.

7.2.-Documentación justificativa para la admisión previa

7.2.1.- Documento oficial o testimonio notarial del mismo que acredite la personalidad del solicitante.

7.2.2.- Documento notarial justificativo de la representación ostentada por el firmante de la propuesta, así como documento oficial acreditativo de su personalidad.

7.2.3.- Documento que justifique haber constituido la fianza provisional en las formas que se determinan en el artículo 7 del Pliego General de Condiciones.

7.2.4.- Carnet de "Empresa con Responsabilidad".

7.2.5.- Documento acreditativo de que el interesado está al corriente en el pago del impuesto industrial en su modalidad de cuota fija o de

Licencia Fiscal, (ò compromiso, en su caso, de su matriculación en este, si resultase adjudicatario de las obras).

7.2.6.- Documento oficial acreditativo de hallarse al corriente de pago de las cuotas de la Seguridad Social y, concretamente, el de cobertura de riesgo de accidentes de trabajo.

Artículo 8. VALIDEZ DE LAS OFERTAS

No se considerará válida ninguna oferta que se presente fuera del plazo señalado en la carta de invitación, ò anuncio respectivo, ò que no conste de todos los documentos que se señalan en el artículo 7.

Los concursantes se obligan a mantener la validez de sus ofertas durante un periodo mínimo de 90 días a partir de la fecha tope de recepción de ofertas, salvo en la documentación de petición de ofertas se especifique otro plazo.

Artículo 9. CONTRADICCIONES Y OMISIONES EN LA DOCUMENTACIÓN

Lo mencionado en el Pliego General de Condiciones de cada obra y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre los Planos y

alguno de los mencionados Pliegos de Condiciones, prevalecerá lo escrito en estos últimos.

Las omisiones en los Planos y Pliegos de Condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de la obra que deban ser subsanadas para que pueda llevarse a cabo el espíritu o intención expuesto en los Planos y Pliegos de

Condiciones o que, por uso y costumbres, deben ser realizados, no sólo no exime al Contratista de la obligación de ejecutar estos detalles de obra omitidos o erróneamente descritos sino que, por el contrario, deberán ser ejecutados como si se hubiera sido completa y correctamente especificados en los Planos y Pliegos de Condiciones.

Artículo 10. PLANOS PROVISIONALES Y DEFINITIVOS

10.1.- Con el fin de poder acelerar los trámites de licitación y adjudicación de las obras y consecuente iniciación de las mismas, la EMPRESA, podrá facilitar a los contratistas, para el estudio de su oferta, documentación con carácter provisional. En tal caso, los planos que figuren en dicha documentación no serán válidos para construcción, sino que únicamente tendrán el carácter de informativos y servirán para formar ideas de los elementos que componen la obra, así como para obtener las mediciones aproximadas y permitir el estudio de los precios que sirven de base para el presupuesto de la oferta. Este carácter de planos de información se hará constar expresamente y en ningún caso podrán utilizarse dichos planos para la ejecución de ninguna parte de la obra.

10.2.- Los planos definitivos se entregaran al CONTRATISTA con antelación suficiente a fin de no retrasar la preparación y ejecución de los trabajos.

Artículo 11. ADJUDICACIÓN DEL CONCURSO

11.1.- La EMPRESA procederá a la apertura de las propuestas presentadas por los licitadores y las estudiará en todos sus aspectos. La EMPRESA tendrá alternativamente la facultad de adjudicar el Concurso a la propuesta más ventajosa, sin atender necesariamente al valor económico de la misma, o declarar desierto el concurso. En este último caso la EMPRESA, podrá libremente suspender definitivamente la licitación de las obras o abrir un nuevo concurso pudiendo introducir las variaciones que estime oportunas, en cuanto al sistema de licitación y relación de Contratistas ofertantes.

11.2.- Transcurriendo el plazo indicado en el Art. 9.2 desde la fecha límite de presentación de oferta, sin que la EMPRESA, hubiese comunicado la resolución del concurso, podrán los licitadores que lo deseen, proceder a retirar sus ofertas, así como las fianzas depositadas como garantía de las mismas.

11.3.- La elección del adjudicatario de la obra por parte de la EMPRESA es irrevocable y, en ningún caso, podrá ser impugnada por el resto de los contratistas ofertantes.

11.4.- La EMPRESA comunicará al ofertante seleccionado la adjudicación de las obras, mediante una carta de intención. En el plazo máximo de un mes a partir de la fecha de esta carta, el CONTRATISTA a simple requerimiento de la EMPRESA se prestará a formalizar en contrato definitivo. En tanto no se firme este y se constituya la fianza definitiva, la EMPRESA, retendrá la fianza provisional depositada por el CONTRATISTA, a todos los efectos dimanantes del mantenimiento de la oferta.

Artículo 12. DEVOLUCIÓN DE PLANOS Y DOCUMENTACIÓN

12.1.- Los Planos, Pliegos de Condiciones y demás documentación del concurso, entregado por la EMPRESA a los concursantes, deberá ser devuelto después de la adjudicación del concurso, excepto por lo que respecta al

ADJUDICATARIO, que deberá conservarla sin poder reclamar la cantidad abonada por dicha documentación.

12.2.- El plazo para devolver la documentación será de 30 días, a partir de la notificación a los concursantes de la adjudicación del concurso y su devolución tendrá lugar en las mismas oficinas de donde fue retirada

12.3.- La EMPRESA, a petición de los concursantes no adjudicatarios, devolverá la documentación correspondiente a las ofertas en un plazo de 30 días, a partir de haberse producido dicha petición.

12.4.- La no devolución por parte de los contratistas no adjudicatarios de la documentación del concurso dentro del plazo, lleva implícita la pérdida de los derechos de la devolución del depósito correspondiente a la referida documentación, si lo hubiese.

Artículo 13. PERMISOS A OBTENER POR LA EMPRESA

13.1.- será responsabilidad de la EMPRESA, la obtención de los permisos oficiales que más adelante se relacionan, siendo a su cargo todos los gastos que se ocasionen por tal motivo.

- Concesión de Aprovechamientos.
- Autorización de Instalaciones.
- Aprobación de Proyectos de Replanteo.
- Declaración de Utilidad Pública.
- Declaración de Urgente Ocupación.

13.2.- Autorizaciones especiales para la construcción y montaje de la instalación.

- Licencia Municipal de Obras.
- Licencia de Apertura, Instalación y Funcionamiento.
- Autorización para vallas.
- Permiso de Obras Públicas para el transporte de piezas de grandes dimensiones pertenecientes al equipo definitivo de la instalación. (podrá ser responsabilidad del Contratista si así lo estipulase el contrato).
- Solicitud de Puesta en Servicio.

13.3.- Autorizaciones especiales para la construcción y montaje de líneas.

- Licencia municipal.
- Autorizaciones para cruces de carreteras, cauces públicos, cañadas, líneas telefónicas y telegráficas, montes públicos y, en general, cuanto dependa de los Organismos Oficiales.
- Permisos de propietarios de fincas afectadas.
- Permiso de Obras Públicas para el transporte de piezas de grandes dimensiones pertenecientes al equipo definitivo de la instalación. (podrá ser responsabilidad del Contratista si así lo estipulase el contrato).
- Solicitud de Puesta en Servicio.

13.4.- Autorizaciones especiales para la construcción y montaje.

- Apertura del Centro de trabajo. (Igual responsabilidad incumbe al Contratista, por lo que a él respecta).
- Licencia Municipal de Obras.
- Autorización del Servicio de Pesca, cuando se prevea alteración en el curso de las aguas.
- Enlace de pistas definitivas con carreteras con la aprobación de las Jefaturas de Obras Públicas ò Diputaciones.
- Aprobación de Proyectos de Sustitución de Servidumbres.
- Autorizaciones que deban ser concedidas por Confederaciones Hidrográficas, Comisaría de Aguas, Servicio de Vigilancia de Presas, Servicio Geológico, MOPU y restantes Organismos Oficiales en relación directa con el Proyecto.
- Tramitación de expropiaciones de terrenos ocupados por las instalaciones y obras definitivas.

En el caso en que la EMPRESA, así lo estimase oportuno, podrá tramitar la expropiación de los terrenos necesarios para las instalaciones provisionales del contratista, siendo de cuenta de este los gastos que tales expropiaciones originen.

- Reconocimiento final de la obra y puesta en marcha mediante Acta que levantaran conjuntamente los representantes de Industria y Obras Públicas.
- Alta en Contribución Urbana y Licencia Fiscal.

- Permiso de Obras Públicas para el transporte de piezas de grandes dimensiones pertenecientes al equipo definitivo de la instalación. (podrá ser responsabilidad del Contratista si así lo estipulase el contrato).

Artículo 14. PERMISOS A OBTENER POR EL CONTRATISTA

Serán a cuenta y cargo del Contratista, además de los permisos inherentes a su condición de tal, la obtención de los permisos que se relacionan:

- Apertura del Centro del Trabajo.
- Permiso para el transporte de obreros.
- Autorización de barracones, por Obras Públicas ò Diputación, siempre que se encuentren en la zona de influencia de carreteras y, en cualquier caso la licencia municipal.
- Autorización para la instalación y funcionamiento de escuelas, botiquines y economatos.
- Alta de talleres en Industria y Hacienda.
- Autorización de Industria para las instalaciones Eléctricas provisionales.
- Permiso de Obras Públicas para el transporte de piezas de grandes dimensiones pertenecientes al equipo definitivo de la instalación. (podrá ser responsabilidad del Contratista si así lo estipulase el contrato).

Capítulo 2. DESARROLLO DEL CONTRATO, CONDICIONES ECONÓMICAS Y LEGALES

Artículo 15. CONTRATO

15.1.- A tenor de lo dispuesto en el artículo 12.4 el CONTRATISTA, dentro de los treinta días siguientes a la comunicación de la adjudicación y a simple requerimiento de la EMPRESA, depositará la fianza definitiva y formalizará el Contrato en el lugar y fecha que se le notifique oficialmente.

15.2.- El Contrato, tendrá carácter de documento privado,. pudiendo ser elevado a público, a instancias de una de las partes, siendo en este caso a cuenta del CONTRATISTA los gastos que ello origine.

15.3.- Una vez depositada la fianza definitiva y firmado el Contrato, la EMPRESA procederá, a petición del interesado, a devolver la fianza provisional, si la hubiera.

15.4.- Cuando por causas imputables al CONTRATISTA, no se pudiera formalizar el Contrato en el plazo, la EMPRESA podrá proceder a anular la adjudicación, con incautación de la fianza provisional.

15.5.- A efectos de los plazos de ejecución de las obras, se considerará como fecha de comienzo de las mismas la que se especifique en el Pliego Particular de Condiciones y en su defecto la de la orden de comienzo de los trabajos. Esta orden se comunicará al CONTRATISTA en un plazo no superior a 90 días a partir de la fecha de la firma del contrato.

15.6.- El Contrato, será firmado por parte del CONTRTISTA, por su representante legal o apoderado, quien deberá poder probar este extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.

Artículo 16. GASTOS E IMPUESTOS

Todos los gastos e impuestos de cualquier orden, que por disposición del Estado, Provincia o Municipio se deriven del contrato, y estén vigentes en la fecha de la firma del mismo, serán por cuenta del contratista con excepción del IVA.

Las modificaciones tributarias establecidas con posterioridad al contrato afectarán al sujeto pasivo directo, sin que las partes puedan repercutirlas entre sí. En ningún caso podrá ser causa de revisión de precios la modificación del sistema tributario vigente a la firma del contrato.

Artículo 17. FIANZAS PROVISIONAL, DEFINITIVA Y FONDO DE GARANTÍA

17.1.- Fianza provisional. La fianza provisional del mantenimiento de la ofertas se constituirá por los contratistas ofertantes por la cantidad que se fije en las bases de licitación.

Esta fianza se depositará al tomar parte en el concurso y se hará en efectivo.

Por lo que a plazo de mantenimiento, alcance de la fianza y devolución de la misma se refiere, se estará a lo establecido en los artículos 6, 8 y 11 del presente Pliego General.

17.2.- Fianza definitiva. A la firma del contrato, el CONTRATISTA deberá constituir la fianza definitiva por un importe igual al 5% del Presupuesto Total de adjudicación.

En cualquier caso la EMPRESA se reserva el derecho de modificar el anterior porcentaje, estableciendo previamente en las bases del concurso el importe de esta fianza.

La fianza se constituirá en efectivo ò por Aval Bancario realizable a satisfacción de la EMPRESA. En el caso de que el Aval Bancario sea prestado por varios Bancos, todos ellos quedarán obligados solidariamente con la EMPRESA y con renuncia expresa a los beneficios de división y exclusión.

El modelo de Aval Bancario será facilitado por la EMPRESA debiendo ajustarse obligatoriamente el CONTRATISTA a dicho modelo.

La fianza tendrá carácter de irrevocable desde el momento de la firma del contrato, hasta la liquidación final de las obras y será devuelta una vez realizada esta.

Dicha liquidación seguirá a la recepción definitiva de la obra que tendrá lugar una vez transcurrido el plazo de garantía a partir de la fecha de la recepción provisional. Esta fianza inicial responde del cumplimiento de todas las obligaciones del contratista, y quedará a beneficio de la EMPRESA en los casos de abandono del trabajo o de rescisión por causa imputable al CONTRATISTA.

17.3.- Fondo de garantía. Independientemente de esta fianza, la EMPRESA retendrá el 5% de las certificaciones mensuales, que se irán acumulando hasta constituir un fondo de garantía.

Este fondo de garantía responderá de los defectos de ejecución o de la mala calidad de los materiales, suministrados por el CONTRATISTA, pudiendo la EMPRESA realizar con cargo a esta cuenta las reparaciones necesarias, en caso de que el CONTRATISTA no ejecutase por su cuenta y cargo dicha reparación.

Este fondo de garantía se devolverá, una vez deducidos los importes a que pudiese dar lugar el párrafo anterior, a la recepción definitiva de las obras.

Artículo 18. ASOCIACIÓN DE CONSTRUCTORES

18.1.- Si las obras licitadas se adjudicasen en común a un grupo o asociación de constructores, la responsabilidad será conjunta y solidaria, con relación al compromiso contraído por el grupo o asociación.

18.2.- Los componentes del grupo o asociación delegarán en uno de ellos, a todos los efectos, la representación ante la EMPRESA. Esta delegación se realizará por medio de un representante responsable provisto de poderes, tan amplios como proceda, para actuar ante la EMPRESA en nombre del grupo o asociación.

18.3.- La designación de representante, para surtir efecto, deberá ser aceptada y aprobada por la EMPRESA por escrito.

Artículo 19. SUBCONTRATISTAS

El CONTRATISTA podrá subcontratar o destajar cualquier parte de la obra, previa autorización de la Dirección de la misma, para lo cual deberá informar con anterioridad a esta, del alcance y condiciones técnico-económicas del Subcontrato.

La EMPRESA, a través de la Dirección de la Obra, podrá en cualquier momento requerir del CONTRATISTA la exclusión de un Subcontratista por considerar al mismo incompetente, o que no reúne las necesarias condiciones, debiendo el CONTRATISTA tomar las medidas necesarias para la rescisión de este Subcontrato, sin que por ello pueda presentar reclamación alguna a la EMPRESA.

En ningún caso podrá deducirse relación contractual alguna entre los Subcontratistas o destajistas y la EMPRESA, como consecuencia de la ejecución por aquellos de trabajos parciales correspondientes al Contrato principal, siendo siempre responsable el CONTRATISTA ante la EMPRESA de todas las actividades del Subcontratista y de las obligaciones derivadas del cumplimiento de las condiciones expresadas en este Pliego.

Los trabajos específicos que requieran una determinada especialización y que no estuviesen incluidos en el Presupuesto del Contrato, bien por que aún estando previstos en la Memoria y/o Planos de Concurso, no se hubiese solicitado para ellos oferta económica, bien por que su necesidad surgiese a posteriori durante la ejecución del Contrato, podrán ser adjudicados por la EMPRESA ELECTRICA directamente a la Empresa que libremente elija, debiendo el CONTRATISTA prestar las ayudas necesarias para la realización de los mismos.

Artículo 20. RELACIONES ENTRE LA EMPRESA Y EL CONTRATISTA Y ENTRE LOS DIVERSOS CONTRATISTAS Y SUBCONTRATISTAS

20.1.- El CONTRATISTA está obligado a suministrar, en todo momento, cualquier información relativa a la realización del contrato, de la que la EMPRESA ELECTRICA juzgue necesario tener conocimiento. Entre otras razones por la posible incidencia de los trabajos confiados al CONTRATISTA, sobre los de otros Contratistas y suministradores.

20.2.- El CONTRATISTA debe ponerse oportunamente en relación con los demás contratistas y suministradores, a medida que estos sean designados por la EMPRESA, con el fin de adoptar de común acuerdo las medidas pertinentes para asegurar la coordinación de los trabajos, el buen orden de la obra, y la seguridad de los trabajadores.

20.3.- Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre su uso suplementario y el reparto de los gastos correspondientes. Repartirán también entre ellos, proporcionalmente a su utilización, las cargas relativas a los caminos de acceso.

20.4.- La EMPRESA deberá estar permanentemente informada de los acuerdos tomados al amparo del párrafo anterior, para en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomar la resolución que proceda, o designar el árbitro a quien haya de someterse dichas diferencias. La decisión del árbitro designado por la EMPRESA es obligatorio para los interesados. En ningún caso en la EMPRESA deberá encontrarse durante los trabajos, en presencia de una situación de hecho que tuviese lugar por falta de información por parte del CONTRATISTA.

20.5.- Cuando varios contratistas trabajen en la misma obra, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que pudiera derivarse de su propia actuación.

Artículo 21. DOMICILIOS Y REPRESENTACIONES

21.1.- El CONTRATISTA está obligado, antes de iniciarse la obras objeto del contrato a constituir un domicilio en la proximidad de las obras, dando cuenta a la EMPRESA del lugar de ese domicilio.

21.2.- Seguidamente a la notificación del contrato, la EMPRESA comunicará al CONTRATISTA su domicilio a efectos de la ejecución del contrato, así como nombre de su representante.

21.3.- Antes de iniciarse las obras objeto del contrato, el CONTRATISTA designará su representante a pie de obra y se lo comunicará por escrito a la EMPRESA especificando sus poderes, que deberán ser lo suficientemente

amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la representación de la EMPRESA. En ningún caso constituirá motivo de excusa para el CONTRATISTA la ausencia de su representante a pie de obra.

21.4.- El CONTRATISTA está obligado a presentar a la representación de la EMPRESA antes de la iniciación de los trabajos, una relación comprensiva del personal facultativo responsable de la ejecución de la obra contratada y a dar cuenta posteriormente de los cambios que en el mismo se efectúen, durante la vigencia del contrato.

21.5.- La designación del representante del CONTRATISTA, así como la del personal facultativo, responsable de la ejecución de la obra contratada, requiere la conformidad y aprobación de la EMPRESA quien por motivo fundado podrá exigir el CONTRATISTA la remoción de su representante y la de cualquier facultativo responsable.

Artículo 22. OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA EN MATERIA SOCIAL

El CONTRATISTA estará obligado al cumplimiento de las disposiciones vigentes en materia laboral, de seguridad social y de seguridad y higiene en el trabajo.

En lo referente a las obligaciones del CONTRATISTA en materia de seguridad e higiene en el trabajo, estas quedan detalladas de la forma siguiente:

22.1.- El CONTRATISTA es responsable de las condiciones de seguridad e higiene en los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre estas materias, en las medidas que dicte la Inspección de Trabajo y demás organismos competentes, así como las

normas de seguridad complementarias que correspondan a las características de las obras contratadas.

22.2.- A tal efecto el CONTRATISTA debe establecer un Plan de Seguridad, Higiene y Primeros Auxilios que especifique con claridad las medidas prácticas que, para la consecución de las precedentes prescripciones, estime necesario tomar en la obra.

Este Plan debe precisar las formas de aplicación de las medidas complementarias que correspondan a los riesgos de la obra con el objeto de asegurar eficazmente:

- La seguridad de su propio personal, del de la EMPRESA y de terceros.
- La Higiene y Primeros Auxilios a enfermos y accidentados.
- La seguridad de las instalaciones.

El Plan de seguridad así concebido debe comprender la aplicación de las Normas de Seguridad que la EMPRESA prescribe a sus empleados cuando realizan trabajos similares a los encomendados al personal del CONTRATISTA, y que se encuentran contenidas en las Prescripciones de Seguridad y Primeros Auxilios redactadas por U.N.E.S.A.

El Plan de Seguridad, Higiene y Primeros Auxilios deberá ser comunicado a la EMPRESA en el plazo de tres meses a partir de la firma del contrato. El incumplimiento de este plazo puede ser motivo de resolución del contrato.

La adopción de cualquier modificación o ampliación al plan previamente establecido, en razón de la variación de las circunstancias de la obra, deberá ser puesta inmediatamente en conocimiento de la EMPRESA.

22.3.- Los gastos originados por la adopción de las medidas de seguridad, higiene y primeros auxilios son a cargo del CONTRATISTA y se considerarán incluidos en los precios del contrato.

Quedan comprendidas en estas medidas, sin que su enumeración las limite:

- La formación del personal en sus distintos niveles profesionales en materia de seguridad, higiene y primeros auxilios, así como la información al mismo mediante carteles, avisos o señales de los distintos riesgos que la obra presente.
- El mantenimiento del orden, limpieza, comodidad y seguridad en las superficies o lugares de trabajo, así como en los accesos a aquellos.
- Las protecciones y dispositivos de seguridad en las instalaciones, aparatos y maquinas, almacenes, polvorines, etc., incluidas las protecciones contra incendios.
- El establecimiento de las medidas encaminadas a la eliminación de factores nocivos, tales como polvos, humos, gases, vapores, iluminación deficiente, ruidos, temperatura, humedad, y aireación deficientes, etc.
- El suministro a los operarios de todos los elementos de protección personal necesarios, así como de las instalaciones sanitarias, botiquines, ambulancias, que las circunstancias hagan igualmente necesarias. Asimismo, el CONTRATISTA debe proceder a su costa al establecimiento de vestuarios, servicios higiénicos, servicio de comedor y menaje, barracones, suministro de agua, etc., que las características en cada caso de la obra y la reglamentación determinen.

22.4.- Los contratistas que trabajan en una misma obra deberán agruparse en el seno de un Comité de Seguridad, formado por los representantes de las empresas, Comité que tendrá por misión coordinar las medidas de seguridad, higiene y primeros auxilios, tanto a nivel individual como colectivo.

De esta forma, cada contratista debe designar un representante responsable ante el Comité de Seguridad. Las decisiones adoptadas por el Comité se aplicarán a todas las empresas, incluso a las que lleguen con posterioridad a la obra.

Los gastos resultantes de esta organización colectiva se prorratearán mensualmente entre las empresas participantes, proporcionalmente al número de jornales, horas de trabajo de sus trabajadores, o por cualquier otro método establecido de común acuerdo.

El CONTRATISTA remitirá a la representación de la EMPRESA, con fines de información copia de cada declaración de accidente que cause baja en el trabajo, inmediatamente después de formalizar la dicha baja. Igualmente por la Secretaría del Comité de Seguridad previamente aprobadas por todos los representantes.

El incumplimiento de estas obligaciones por parte del CONTRATISTA o la infracción de las disposiciones sobre seguridad por parte del personal técnico designado por él, no implicará responsabilidad alguna para la EMPRESA.

Artículo 23. GASTOS DE CARÁCTER GENERAL A CUENTA DEL CONTRATISTA

23.1.- Se entiende como tales los gastos de cualquier clase ocasionados por la comprobación del replanteo de la obra, los ensayos de materiales que deba realizar por su cuenta el CONTRATISTA; los de montaje y retirada de las

construcciones auxiliares, oficinas, almacenes y cobertizos pertenecientes al CONTRATISTA; los correspondientes a los caminos de servicio, señales de tráfico provisionales para las vías públicas en las que se dificulte el tránsito, así como de los equipos necesarios para organizar y controlar este en evitación de accidentes de cualquier clase; los de protección de materiales y la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los reglamentos vigentes para el almacenamiento de explosivos y combustibles; los de limpieza de los espacios interiores y exteriores; los de construcción, conservación y retirada de pasos, caminos provisionales y alcantarillas; los derivados de dejar tránsito a peatones y vehículos durante la ejecución de las obras; los de desviación de alcantarillas, tuberías, cables eléctricos y, en general, de cualquier instalación que sea necesario modificar para las instalaciones provisionales del CONTRATISTA; los de construcción, conservación, limpieza y retirada de las instalaciones sanitarias provisionales y de limpieza de los lugares ocupados por las mismas; los de retirada al fin de la obra de instalaciones, herramientas, materiales, etc., y limpieza general de la obra.

23.2.- Salvo que se indique lo contrario, será de cuenta del CONTRATISTA el montar, conservar y retirar las instalaciones para el suministro del agua y de la energía eléctrica necesaria para las obras y la adquisición de dichas aguas y energía.

23.3.- Serán de cuenta del CONTRATISTA los gastos ocasionados por la retirada de la obra, de los materiales rechazados, los de jornales y materiales para las mediciones periódicas para la redacción de certificaciones y los ocasionados por la medición final; los de pruebas, ensayos, reconocimientos y tomas de muestras para las recepciones parciales y totales, provisionales y definitivas, de las obras; la corrección de las deficiencias observadas en las pruebas, ensayos, etc., y los gastos derivados de los asientos o averías, accidentes o daños que se produzcan en estas pruebas y la reparación y conservación de las obras durante el plazo de garantía.

23.4.- además de los ensayos a los que se refiere los apartados 23.1 y 23.3 de este artículo, serán por cuenta del CONTRATISTA los ensayos que realice directamente con los materiales suministrados por sus proveedores antes de su adquisición e incorporación a la obra y que en su momento serán controlados por la EMPRESA para su aceptación definitiva. Serán así mismo de su cuenta aquellos ensayos que el CONTRATISTA crea oportuno realizar durante la ejecución de los trabajos, para su propio control.

23.5.- Por lo que a gastos de replanteo se refiere y a tenor de lo dispuesto en el artículo 37 "Replanteo de las obras", serán por cuenta del CONTRATISTA todos los gastos de replanteos secundarios necesarios para la correcta ejecución de los trabajos, a partir del replanteo principal definido en dicho artículo 36 y cuyos gastos correrán por cuenta de la EMPRESA.

23.6.- En los casos de resolución del Contrato, cualquiera que sea la causa que lo motive, serán de cuenta del CONTRATISTA los gastos de jornales y materiales ocasionados por la liquidación de las obras y los de las Actas Notariales que sean necesario levantar, así como los de retirada de los medios auxiliares que no utilice la EMPRESA o que le devuelva después de utilizados.

Artículo 24. GASTOS DE CARÁCTER GENERAL POR CUENTA DE LA EMPRESA

Serán por cuenta de la EMPRESA los gastos originados por la inspección de las obras del personal de la EMPRESA o contratados para este fin, la comprobación o revisión de las certificaciones, la toma de muestras y ensayos de laboratorio para la comprobación periódica de calidad de materiales y obras realizadas, salvo los indicados en el artículo 23, y el transporte de los materiales suministrados por la EMPRESA, hasta el almacén de obra, sin incluir su descarga ni los gastos de paralización de vehículos por retrasos en la misma. Así mismo, serán a cargo de la EMPRESA los gastos de primera

instalación, conservación y mantenimiento de sus oficinas de obra, residencias, poblado, botiquines, laboratorios, y cualquier otro edificio e instalación propiedad de la EMPRESA y utilizados por el personal empleado de esta empresa, encargado de la dirección y vigilancia de las obras.

Artículo 25. INDEMNIZACIONES POR CUENTA DEL CONTRATISTA

Será de cuenta del CONTRATISTA la reparación de cualquier daño que pueda ocasionar sus instalaciones y construcciones auxiliares en propiedades particulares; los producidos por la explotación de canteras, la extracción de tierras para la ejecución de terraplenes; los que se originen por la habilitación de caminos y vías provisionales y, finalmente, los producidos en las demás operaciones realizadas por el CONTRATISTA para la ejecución de las obras.

Artículo 26. PARTIDAS PARA OBRAS ACCESORIAS

Las cantidades calculadas para obras accesorias, que como consecuencia de su escasa o nula definición, figuren en el presupuesto general con una partida alzada, no se abonará por su monto total.

En consecuencia estas obras accesorias se abonarán a los precios unitarios del Contrato y conforme a las unidades y medidas que se obtengan de los proyectos que se realicen para ellas y de su medición final.

Artículo 27. PARTIDAS ALZADAS

Las partidas alzadas consignadas en los presupuestos para obras o servicios se abonarán por su importe una vez realizados totalmente dichos trabajos.

Quedan excluidas de este sistema de abono, las obras accesorias que se liquidarán conforme a lo indicado en el artículo 26.

Artículo 28. REVISIÓN DE PRECIOS

28.1.- La EMPRESA adopta para las revisiones de los precios el sistema de fórmulas polinómicas vigentes para las obras del Estado y Organismos Autónomos, establecido por el Decreto-Ley 2/1964 de 4 de febrero (B.O.E. de 6-II-64), especialmente en lo que a su artículo 4º se refiere.

28.2.- En el Pliego Particular de Condiciones de la obra, se establecerá la fórmula o fórmulas poli nómicas a emplear, adoptando de entre todas las reseñadas en el Decreto-Ley 3650/1970 de 19 de diciembre (B.O.E. 29-XII-70) la que más se ajuste a las características de la obra contratada.

Si estas características así lo aconsejan, la EMPRESA se reserva el derecho de establecer en dicho Pliego nuevas fórmulas, modificando los coeficientes o las variables de las mismas.

28.3.- Para los valores actualizados de las variables que inciden en la fórmula, se tomarán para cada mes los que faciliten el Ministerio de Hacienda una vez publicados en el B.O.E. Los valores iniciales corresponderán a los del mes de la fecha del Contrato.

28.4.- Una vez obtenido el índice de revisión mensual, se aplicará al importe total de la certificación correspondiente al mes de que se trate, siempre y cuando la obra realizada durante dicho periodo, lo haya sido dentro del programa de trabajo establecido.

En el caso de que las obras se desarrollen con retraso respecto a dicho programa, las certificaciones mensuales producidas dentro del plazo se revisarán por los correspondientes índices de revisión hasta el mes previsto

para la terminación de los trabajos. En este momento, dejarán de actualizarse dicho índice y todas las certificaciones posteriores que puedan producirse, se revisarán con este índice constante.

28.5.- Los aumentos de presupuesto originados por las revisiones de precios oficiales, no se computarán a efectos de lo establecido en el artículo 35, "Modificaciones del proyecto".

28.6.- Si las obras a realizar fuesen de corta duración, la EMPRESA podrá prescindir de la cláusula de revisión de precios, debiéndolo hacer constar así expresamente en las bases del Concurso.

Artículo 29. RÉGIMEN DE INTERVENCIÓN

29.1.- Cuando el CONTRATISTA no de cumplimiento, sea a las obligaciones o disposiciones del Contrato, sea a las órdenes de servicio que les sean dadas por la EMPRESA, esta le requerirá a cumplir este requisito de órdenes en un plazo determinado, que, salvo en casos de urgencia, no será nunca menor de 10 días a partir de la notificación de requerimiento.

29.2.- Pasado este plazo, si el CONTRATISTA no ha ejecutado las disposiciones dadas, la EMPRESA podrá ordenar a título provisional el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del CONTRATISTA.

29.3.- Se procederá inmediatamente, en presencia del CONTRATISTA, o habiéndole convocado debidamente, a la comprobación de las obras ejecutadas, de los materiales acopiados así como al inventario descriptivo del material del CONTRATISTA, y a la devolución a este de la parte de materiales que no utilizara la EMPREAS para la terminación de los trabajos.

29.4.- La EMPRESA tiene por otra parte, la facultad, sea de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, en principio sobre petición de ofertas, por cuenta y riesgo del CONTRATISTA incumplidor, sea de ejercitar el derecho de rescisión pura y simple del contrato, sea de prescribir la continuación de la intervención.

29.5.- Durante el periodo de Régimen de intervención, el CONTRATISTA podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes de la EMPRESA.

29.6.- El CONTRATISTA podrá, por otra parte, ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

29.7.- Los excedentes de gastos que resulte de la intervención o del nuevo contrato serán deducidos de las sumas, que puedan ser debidas al CONTRATISTA, sin perjuicios de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes.

29.8.- Si la intervención o el nuevo contrato supone, por el contrario una disminución de gastos, el CONTRATISTA no podrá pretender beneficiarse en ninguna parte de la diferencia, que quedará a favor de la EMPRESA.

Artículo 30. RESCISIÓN DEL CONTRATO

30.1.- Cuando a juicio de la EMPRESA el incumplimiento por parte del CONTRATISTA de alguna de las cláusulas del Contrato, pudiera ocasionar graves trastornos en la realización de las obras, en el cumplimiento de los plazos, o en su aspecto económico, la EMPRESA podrá decidir la resolución del Contrato, con las penalidades a que hubiera lugar. así mismo, podrá proceder la resolución con pérdida de fianza y garantía suplementaria si la hubiera, de producirse alguno de los supuestos siguientes.

30.1.1.- Cuando no se hubiese efectuado el montaje de las instalaciones y medios auxiliares o no se hubiera aportado la maquinaria relacionada en la oferta o su equivalente en potencia o capacidad en los plazos previstos incrementados en un 25%, o si el CONTRATISTA hubiese sustituido dicha maquinaria en sus elementos principales sin la previa autorización de la EMPRESA.

30.1.2.- Cuando durante un periodo de tres meses consecutivos y considerados conjuntamente, no se alcanzase un ritmo de ejecución del 50% del programa aprobado para la Obra característica.

30.1.3.- Cuando se cumpla el plazo final de las obras y falte por ejecutar más del 20% de presupuesto de Obra característica tal como se define en el artículo 6.3. La imposición de las multas establecidas por los retrasos sobre dicho plazo, no obligará a la EMPRESA a la prórroga del mismo, siendo potestativo por su parte elegir entre la resolución o la continuidad del Contrato.

30.2.- será así mismo causa suficiente para la rescisión, alguno de los hechos siguientes:

30.2.1.- La quiebra, fallecimiento o incapacidad del CONTRATISTA. En este caso, la EMPRESA podrá optar por la resolución del Contrato, o por que se subroguen en el lugar del CONTRATISTA los indicios de la quiebra, sus causahabientes o sus representantes.

30.2.2.- La disolución, por cualquier causa, de la sociedad, si el CONTRATISTA fuera una persona jurídica.

30.2.3.- Si el CONTRATISTA es una agrupación temporal de empresas y alguna de las integrantes se encuentra incluida en alguno de los supuestos previstos en alguno de los apartados 31.2. la EMPRESA

estará facultada para exigir el cumplimiento de las obligaciones pendientes del Contrato a las restantes empresas que constituyen la agrupación temporal o para acordar la resolución del Contrato. Si la EMPRESA optara en ese momento por la rescisión, esta no producirá pérdida de la fianza, salvo que concurriera alguna otra causa suficiente para declarar tal pérdida.

30.3- Procederá asimismo la rescisión, sin pérdida de fianza por el CONTRATISTA, cuando se suspenda la obra comenzada, y en todo caso, siempre que por causas ajenas al CONTRATISTA, no sea posible dar comienzo a la obra adjudicada, dentro del plazo de 3 meses, a partir de la fecha de adjudicación.

30.4.- En el caso de que se incurriese en las causas de resolución del Contrato conforme a las cláusulas de este Pliego General de Condiciones, o del Particular de la obra, la EMPRESA se hará cargo de las obras en la situación en que se encuentren, sin otro requisito que el del levantamiento de un Acta Notarial o simple, si ambas partes prestan su conformidad, que refleje la situación de la obra, así como de acopios de materiales, maquinaria y medios auxiliares que el CONTRATISTA tuviese en ese momento en el emplazamiento de los trabajos. Con este acto de la EMPRESA el CONTRATISTA no podrá poner interdicto ni ninguna otra acción judicial, a la que renuncie expresamente.

30.5.- Siempre y cuando el motivo de la rescisión sea imputable al CONTRATISTA, este se obliga a dejar a disposición de la EMPRESA hasta la total terminación de los trabajos, la maquinaria y medios auxiliares existentes en la obra que la EMPRESA estime necesario, pudiendo el CONTRATISTA retirar los restantes.

La EMPRESA abonará por los medios, instalaciones y maquinas que decida deben continuar en obra, un alquiler igual al estipulado en el baremo

para trabajos por administración, pero descontando los porcentajes de gastos generales y beneficio industrial del CONTRATISTA.

30.6.- El CONTRATISTA se compromete como obligación subsidiaria de la cláusula anterior, a conservar la propiedad de las instalaciones, medios auxiliares y maquinaria seleccionada por la EMPRESA o reconocer como obligación preferente frente a terceros, la derivada de dicha condición.

30.7.- La EMPRESA comunicará al CONTRATISTA, con treinta días de anticipación, la fecha en que desea reintegrar los elementos que venía utilizando, los cuales dejará de devengar interés alguno a partir de su devolución, o a los 30 días de la notificación, si el CONTRATISTA no se hubiese hecho cargo de ellos.

En todo caso, la devolución se realizará siempre a pie de obra, siendo por cuenta del CONTRATISTA los gastos de su traslado definitivo.

30.8.- En los contratos rescindidos, se procederá a efectos de garantías, fianzas, etc. a efectuar las recepciones provisionales y definitivas de todos los trabajos ejecutados por el CONTRATISTA hasta la fecha de la rescisión.

Artículo 31. PROPIEDAD INDUSTRIAL Y COMERCIAL

31.1.- Al suscribir el Contrato, el CONTRATISTA garantiza a la EMPRESA contra toda clase de reclamaciones que se refieran a suministros y materiales, procedimientos y medios utilizados para la ejecución de las obras y que procedan de titulares (JOE) de patentes, licencias, planos, modelos, marcas de fábrica o comercio.

En el caso de que fuera necesario, corresponde al CONTRATISTA la obtención de las licencias o a utilizaciones precisas y soportar la carga de los derechos e indemnizaciones correspondientes.

31.2.- En caso de acciones dirigidas contra la EMPRESA por terceros titulares de licencias, autorizaciones, planos, modelos, marcas de fábrica o de comercio utilizadas por el CONTRATISTA para la ejecución de los trabajos, el CONTRATISTA responderá ante la EMPRESA del resultado de dichas acciones estando obligado además a prestarle su plena ayuda en el ejercicio de las excepciones que competan a la EMPRESA.

Artículo 32. DISPOSICIONES LEGALES

- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo y Plan Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (O.M. 9-III-71).
- Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Decreto 432/71 de 11-III-71).
- Reglamento de Seguridad e Higiene en la Industria de la construcción (O.M. 20-V-52).
- Reglamento de los Servicios Médicos de Empresa (O.M. 21-XI-59).
- Ordenanza de Trabajo de la construcción, Vidrio y Cerámica (O.M. 28-VIII-70).
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (O.M. 20-IX-73).
- Reglamento de líneas Aéreas de Alta Tensión (O.M. 28-XI-68).
- Normas Para Señalización de Obras en las Carreteras (O.M. 14-III-60).
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción y Estatuto de los Trabajadores.

- Obligatoriedad de la Inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo en los Proyectos de Edificación y Obras Públicas (Real Decreto 555/1986, 21-II-86).
- Cuantas disposiciones legales de carácter social, de protección a la industria nacional, etc., rijan en la fecha en que se ejecuten las obras.
- Reglamento sobre Condiciones técnicas y garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones Eléctricas y Centros de Transformación (real Decreto 3275/1982 de 12-XI-82).
- Viene también obligado al cumplimiento de cuanto la Dirección de Obra le dicte encaminado a garantizar la seguridad de los obreros y de la obra en general. En ningún caso dicho cumplimiento eximirá de responsabilidad al CONTRATISTA.

Artículo 33. TRIBUNALES

El CONTRATISTA renuncia al fuero de su propio domicilio y se compromete a sustanciar cuantas reclamaciones origine el Contrato ante los tribunales.

Capítulo 3. DESARROLLO DE LAS OBRAS. **CONDICIONES TÉCNICO-ECONÓMICAS**

Artículo 34. MODIFICACIONES DEL PROYECTO

34.1.- La EMPRESA podrá introducir en el proyecto, antes de empezar las obras o durante su ejecución, las modificaciones que sean precisas para la normal construcción de las mismas, aunque no se hayan previsto en el proyecto y siempre que no varíen las características principales de las obras.

También podrá introducir aquellas modificaciones que produzcan aumento o disminución y aún supresión de las unidades de obra marcadas en el presupuesto, o sustitución de una clase de fábrica por otra, siempre que esta sea de las comprendidas en el contrato.

Cuando se trate de aclarar o interpretar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o dibujos, las órdenes o instrucciones se comunicarán exclusivamente por escrito al CONTRATISTA, estando obligado este a su vez a devolver una copia suscribiendo con su firma el enterado.

34.2.- Todas estas modificaciones serán obligatorias para el CONTRATISTA, y siempre que, a los precios del Contrato, sin ulteriores omisiones, no alteren el Presupuesto total de Ejecución Material contratado en más de un 35%, tanto en más como en menos, el CONTRATISTA no tendrá derecho a ninguna variación en los precios ni a indemnización de ninguna clase.

Si la cuantía total de la certificación final, correspondiente a la obra ejecutada por el CONTRATISTA, fuese a causa de las modificaciones del Proyecto, inferior al Presupuesto Total de Ejecución Material del Contrato en un

porcentaje superior al 35%, el CONTRATISTA tendrá derecho a indemnizaciones.

Para fijar su cuantía, el contratista deberá presentar a la EMPRESA en el plazo máximo de dos meses a partir de la fecha de dicha certificación final, una petición de indemnización con las justificaciones necesarias debido a los posibles aumentos de los gastos generales e insuficiente amortización de equipos e instalaciones, y en la que se valore el perjuicio que le resulte de las modificaciones introducidas en las previsiones del Proyecto. Al efectuar esta valoración el CONTRATISTA deberá tener en cuenta que el primer 35% de reducción no tendrá repercusión a estos efectos.

Si por el contrario, la cuantía de la certificación final, correspondiente a la obra ejecutada por el CONTRATISTA, fuese, a causa de las modificaciones del Proyecto, superior al Presupuesto Total de Ejecución Material del Contrato y cualquiera que fuere el porcentaje de aumento, no procederá el pago de ninguna indemnización ni revisión de precios por este concepto.

34.3.- No se admitirán mejoras de obra más que en el caso de que la Dirección de la Obra haya ordenado por escrito, la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, o salvo que la Dirección de Obra, ordene también por escrito la ampliación de las contratadas. Se seguirá el mismo criterio y procedimiento, cuando se quieran introducir innovaciones que supongan una reducción apreciable en las unidades de obra contratadas.

Artículo 35. MODIFICACIONES DE LOS PLANOS

35.1.- Los planos de construcción podrán modificar a los provisionales de concurso, respetando los principios esenciales y el CONTRATISTA no puede por ello hacer reclamación alguna a la EMPRESA.

35.2.- El carácter complejo y los plazos limitados de que se dispone en la ejecución de un Proyecto, obligan a una simultaneidad entre las entregas de las especificaciones técnicas de los suministradores de equipos y la elaboración de planos definitivos de Proyecto.

Esta simultaneidad implica la entrega de planos de detalle de obra civil, relacionada directamente con la implantación de los equipos, durante todo el plazo de ejecución de la obra.

La EMPRESA tomará las medidas necesarias para que estas modificaciones no alteren los planos de trabajo del CONTRATISTA entregando los planos con la suficiente antelación para que la preparación y ejecución de estos trabajos se realice de acuerdo con el programa previsto.

El CONTRATISTA por su parte no podrá alegar desconocimiento de estas definiciones de detalle, no incluidas en el proyecto base, y que quedará obligado a su ejecución dentro de las prescripciones generales del Contrato.

35.3.- El CONTRATISTA deberá confrontar, inmediatamente después de recibidos, todos los planos que le hayan sido facilitados, debiendo informar por escrito a la EMPRESA en el plazo máximo de 15 días y antes de proceder a su ejecución, de cualquier contradicción, error u omisión que lo exigiera técnicamente incorrectos.

Artículo 36. REPLANTEO DE LAS OBRAS

36.1.- La EMPRESA entregará al CONTRATISTA los hitos de triangulación y referencias de nivel establecidos por ella en la zona de obras a realizar. La posición de estos hitos y sus coordenadas figurarán en un plano general de situación de las obras.

36.2.- Dentro de los 15 días siguientes a la fecha de adjudicación el CONTRATISTA verificará en presencia de los representantes de la EMPRESA el plano general de replanteo y las coordenadas de los hitos, levantándose el Acta correspondiente.

36.3.- La EMPRESA precisará sobre el plano de replanteo las referencias a estos hitos de los ejes principales de cada una de las obras.

36.4.- El CONTRATISTA será responsable de la conservación de todos los hitos y referencias que se le entreguen. Si durante la ejecución de los trabajos, se destruyese alguno, deberá reponerlos por su cuenta y bajo su responsabilidad.

El CONTRATISTA establecerá en caso necesario, hitos secundarios y efectuará todos los replanteos precisos para la perfecta definición de las obras a ejecutar, siendo de su responsabilidad los perjuicios que puedan ocasionarse por errores cometidos en dichos replanteos.

Artículo 37. ACCESOS A LAS OBRAS

37.1.- Los caminos y accesos provisionales a los diferentes tajos de obra, serán construidos por el CONTRATISTA por su cuenta y cargo.

37.2.- Para que la EMPRESA apruebe su construcción en el caso de que afecten a terceros interesados, el CONTRATISTA habrá debido llegar a un previo acuerdo con estos.

37.3.- Los caminos y accesos estarán situados en la medida de lo posible, fuera del lugar de emplazamiento de las obras definitivas. En el caso de que necesariamente hayan de transcurrir por el emplazamiento de obras definitivas, las modificaciones posteriores, necesarias para la ejecución de los trabajos, serán a cargo del CONTRATISTA.

37.4.- Si los mismos caminos han de ser utilizados por varios Contratistas, estos deberán ponerse de acuerdo entre sí sobre el reparto de sus gastos de construcción y conservación.

37.5.- La EMPRESA se reserva el derecho de transitar libremente por todos los caminos y accesos provisionales de la obra, sin que pueda hacerse repercutir sobre ella gasto alguno en concepto de conservación.

Artículo 38. ORGANIZACIÓN DE LAS OBRAS

38.1.- El CONTRATISTA tendrá un conocimiento completo de la disposición de conjunto de los terrenos, de la importancia y situación de las obras objeto de contrato, de las zonas reservadas para la obra, de los medios de acceso, así como de las condiciones climáticas de la región, especialmente del régimen de las aguas y de la frecuencia e importancia de las crecidas de los ríos, que puedan afectar a los trabajos.

38.2.- La EMPRESA pondrá gratuitamente a disposición del CONTRATISTA, mientras duren los trabajos, todos los terrenos cuya ocupación definitiva sea necesaria para la implantación de las obras objeto del contrato.

38.3.- También pondrá la EMPRESA gratuitamente a disposición del CONTRATISTA, los terrenos de su propiedad y que puedan ser adecuados para las obras auxiliares e instalaciones.

38.4.- En el plazo de un mes a partir de la fecha del Contrato, se determinarán contradictoriamente los terrenos afectados por los párrafos 2 y 3 que se representarán en el plano de la zona.

En caso de desavenencia en esta determinación contradictoria, será vinculante el plano previo incorporado al Pliego de Condiciones Particulares.

38.5.- La obligación de la EMPRESA en cuanto entrega de los terrenos necesarios queda limitada a los que figuran y se reseñan en el plano de referencia que, al mismo tiempo, definirá lo que se entiende por zona de obras.

38.6.- Si por conveniencia del CONTRATISTA este deseara disponer de otros terrenos distintos de los figurados y reseñados en el plano antes citado, será de su cargo su adquisición o la obtención de las autorizaciones pertinentes, debiendo el contratista someter previamente a la conformidad de la EMPRESA las modalidades de adquisición o de obtención de la autorización respectiva.

Artículo 39. VIGILANCIA Y POLICÍA DE LAS OBRAS

39.1.- El CONTRATISTA es responsable del orden, limpieza y condiciones sanitarias de las obras objeto de contrato. deberá adoptar a este respecto, a su cargo y bajo su responsabilidad, las medidas que le sean señaladas por las autoridades competentes y con la representación de la EMPRESA.

39.2.- En caso de conflicto de cualquier clase, que pudiera implicar alteraciones del orden público, corresponde al CONTRATISTA la obligación de ponerse en contacto con las autoridades competentes y convenir con ellos y disponer las medidas adecuadas para evitar incidentes.

Artículo 40. UTILIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES AUXILIARES Y EQUIPOS DEL CONTRATISTA

El CONTRATISTA deberá poder facilitar a la EMPRESA, todos los medios auxiliares que figuran en el programa o tengan servicio en la obra. Para ello la EMPRESA comunicará por escrito al CONTRTISTA las instalaciones o equipos o maquinas que desea utilizar y fecha y duración de la prestación.

Cuando razonablemente no haya inconveniente para ello, no se perturbe la organización y desarrollo de los trabajos, o exista una causa grave de fuerza mayor, el CONTRATISTA deberá atender la solicitud de la EMPRESA, abonándose las horas de utilización conforme a los baremos de administración aprobados.

En todo caso, el manejo y entretenimiento de las maquinas e instalaciones será realizado por personal del CONTRATISTA.

Artículo 41. EMPLEO DE MATERIALES NUEVOS O DE DEMOLICIÓN PERTENECIENTES A LA EMPRESA ELÉCTRICA

Cuando fuera de las previsiones del Contrato, la EMPRESA juzgue conveniente emplear materiales nuevos o de recuperación que le pertenezcan, el CONTRATISTA no podrá oponerse a ello y las condiciones que regulen este suministro serán establecidas de común acuerdo o, en su defecto, se establecerá mediante Arbitraje de Derecho Privado.

Artículo 42. USO ANTICIPADO DE LAS INSTALACIONES DEFINITIVAS

42.1.- La EMPRESA se reserva el derecho de hacer uso de las partes terminadas de la obra contratada, antes de que los trabajos prescritos en el contrato se hayan terminado en su totalidad, bien por necesidades de servicio, bien para permitir la realización de otros trabajos que no forman parte del contrato.

42.2.- Si la EMPRESA desee hacer uso del citado derecho, se lo comunicará al CONTRATISTA con una semana de antelación a la fecha de utilización. El uso de este derecho por parte de la EMPRESA no implica recepción provisional de la zona afectada.

Artículo 43. PLANES DE OBRA Y MONTAJE

43.1.- Independientemente del plan de trabajos que los Contratistas ofertantes deben presentar con sus ofertas, de acuerdo a lo establecido en el artículo 6, el CONTRATISTA presentará con posterioridad a la firma del Contrato, un plan más detallado que el anterior.

La EMPRESA indicará el plazo máximo a partir de la formalización del Contrato, en el que debe presentarlo y tipo de programa exigido.

De no indicarse el plazo, se entenderá establecido éste en un mes.

43.2.- Este Plan, que deberá ser lo más completo, detallado y razonado posible, respetará obligatoriamente los plazos parciales y final fijados en el Concurso, y deberá venir acompañado del programa de certificaciones mensuales.

Tanto el Plan de Obra como el programa de Certificaciones mensuales, deberán destacar individualmente cada una de las unidades correspondientes a la Obra característica.

Las unidades de Obra Complementaria podrán agruparse tanto en uno como en otro documento, dentro de bloques homogéneos cuya determinación quedará a juicio del CONTRATISTA. En el caso de que éste, decidiera proponer un adelanto en alguno de los plazos fijados, deberá hacerlo como una variante suplementaria, justificando expresamente en este caso todas las repercusiones económicas a que diese lugar.

43.3.- El Plan de Obra deberá ser aprobado oficialmente por la EMPRESA adquiriendo desde este momento el carácter de documento contractual. No

podrá ser modificado sin autorización expresa de la EMPRESA y el CONTRATISTA vendrá obligado a respetarlo en el desarrollo de los trabajos.

En caso de desacuerdo sobre el Plan de Obra, una vez rechazado por la EMPRESA el tercero consecutivo se someterá la controversia a arbitraje, siendo desempeñado por un solo árbitro, que habrá de ser el profesional competente y habilitado, según la índole del tema considerado, designado por el Colegio Profesional correspondiente.

43.4.- En este Plan, el CONTRATISTA indicará los medios auxiliares y mano de obra que ofrece emplear en la ejecución de cada una de las unidades de Obra característica, con indicación expresa de los rendimientos a obtener. Las unidades de Obra complementaria podrán agruparse a estos efectos, en bloques homogéneos, iguales a los indicados en el artículo 43.2.

Los medios ofrecidos, que han de ser como mínimo los de la propuesta inicial, salvo que la EMPRESA, a la vista del Plan de Obra, autorice otra cosa, quedarán afectos a la obra y no podrán ser retirados o sustituidos salvo aprobación expresa de la Dirección de la misma.

La aceptación del Plan y relación de medios auxiliares propuestos por el CONTRATISTA no implica exención alguna de responsabilidad para el mismo en el caso de incumplimiento de los plazos parciales, o final convenido.

43.5.- Si el desarrollo de los trabajos no se efectuase de acuerdo al Plan aprobado y ello pudiera dar lugar al incumplimiento de plazos parciales o final, la EMPRESA podrá exigir del CONTRATISTA la actualización del Plan vigente, reforzando las plantillas de personal, medios auxiliares e instalaciones necesarias a efectos de mantener los plazos convenidos y sin que el CONTRATISTA pueda hacer recaer sobre la EMPRESA las repercusiones económicas que este aumento de medios puede traer consigo. El Plan de Obra actualizado sustituirá a todos los efectos contractuales al anteriormente vigente, con la salvedad que se indica en el apartado siguiente.

43.6.- En cualquier caso, la aceptación por parte de la EMPRESA de los Planes de Obra actualizados que se vayan confeccionando para adecuar el desarrollo real de los trabajos al mantenimiento de los plazos iniciales, no liberará al CONTRATISTA de las posibles responsabilidades económicas en que incurra por el posible incumplimiento de los plazos convenidos.

43.7.- El desarrollo de todas las obras habrá de subordinarse al montaje de las instalaciones para cuyo servicio se construyen.

Esta circunstancia ya se tiene en cuenta al establecer los plazos de cada obra que se fijan en su correspondiente Pliego Particular, por lo que en ningún caso pueden ser causa de concesión de prórroga las interferencias que al curso de la obra pueda originar el montaje, siempre y cuando el suministro de equipos y el propio montaje se mantengan en líneas generales dentro de los plazos y planes previstos, conforme a lo indicado en los artículos 47 y 50 del presente Pliego.

Artículo 44. PLAZOS DE EJECUCIÓN

44.1.- La EMPRESA se establecerá los plazos parciales y plazo final de terminación, a los que el CONTRATISTA deberá ajustarse obligatoriamente.

44.2.- Los plazos parciales corresponderán a la terminación y puesta a disposición de determinados elementos, obras o conjuntos de obras, que se consideren necesario para la prosecución de otras fases de la construcción o del montaje.

Estas obras o conjunto de obras que condicionan un plazo parcial, se definirán bien por un estado de dimensiones, bien por la posibilidad de prestar en ese momento y sin restricciones, el uso, servicio o utilización que de ellas se requiere.

44.3.- En consecuencia, y a efectos del cumplimiento del plazo, la terminación de la obra y su puesta a disposición, será independiente del importe de los trabajos realizados a precio de Contrato, salvo que el importe de la Obra característica realizada supere como mínimo en un 10% el presupuesto asignado para esa parte de la obra.

Para valorar a estos efectos la obra realizada, no se tendrá en cuenta los aumentos del coste producidos por revisiones de precios y sí únicamente los aumentos reales del volumen de obra.

44.4.- En el caso de que el importe de la Obra característica realizada supere en un 10% al presupuesto para esa parte de obra, los plazos parciales y final se prorrogarán en un plazo igual al incremento porcentual que exceda de dicho 10%.

Artículo 45. RETENCIONES POR RETRASOS EN LA EJECUCIÓN DE LA OBRA

45.1.- Los retrasos sobre el plan de obra y programa de certificaciones imputables al CONTRATISTA, tendrán como sanción económica para cada mes la retención por la EMPRESA, con abono a una cuenta especial denominada "Retenciones", del 50% de la diferencia entre el 90% de la Obra característica que hasta ese mes debería haberse justificado y la que realmente se haya realizado. Para este cómputo de obra realizada no se tendrá en cuenta la correspondiente a Obras complementarias.

45.2.- El CONTRATISTA que en meses sucesivos realizase Obra característica por un valor superior a lo establecido en el Plan de trabajos para esos meses, tendrá derecho a recuperar de la cuenta de "Retenciones" la parte proporcional que le corresponda.

46.3.- Cuando se alcance el plazo total previsto para la ejecución de la obra con un saldo acreedor en la cuenta de "Retenciones" quedará éste bloqueado a disposición de la EMPRESA para responder de las posibles multas y sanciones correspondientes a una posible rescisión. En el momento de la total terminación y liquidación de la obra contratada, se procederá a saldar esta cuenta abonando al CONTRATISTA el saldo acreedor si lo hubiere o exigiéndole el deudor si así resultase.

Artículo 46. INCUMPLIMIENTO DE LOS PLAZOS Y MULTAS

46.1.- En el caso de incumplimiento de los plazos fijados por causas directamente imputables al CONTRATISTA, satisfará éste las multas que se indiquen en el Pliego Particular de la obra, con cargo a las certificaciones, fondo de retenciones o fianza definitiva, sucesivamente, sin perjuicio de la responsabilidad por daños.

46.2.- Si el retraso producido en el cumplimiento de los plazos ocasionara a su vez retrasos en otros contratistas, lesionando los intereses de estos, la EMPRESA podrá hacer repercutir sobre el CONTRATISTA las indemnizaciones a que hubiera lugar por tales perjuicios.

46.3.- En el caso de que los retrasos se produzcan por causas imputables a la EMPRESA en los suministros a que venga obligada la Empresa, por órdenes expresas de la Dirección de Obra o por demoras en los montajes de maquinaria o equipos, se prorrogarán los plazos en un tiempo igual al estimado por la EMPRESA como retraso producido, de acuerdo con lo establecido en el artículo 49.

Artículo 47. SUPRESIÓN DE LAS MULTAS

Cuando la EMPRESA advierta la posibilidad de que un retraso en la ejecución de las obras o en el montaje, no va a repercutir en la puesta en

marcha de la instalación ni causar perjuicios a terceros, podrá acordar libremente la supresión de multas, o la ampliación de los plazos de ejecución.

En este último caso, la EMPRESA podrá diferir a la nueva fecha de terminación, y en el supuesto de que ésta tampoco se cumpla, la aplicación de las multas establecidas.

Artículo 48. PREMIOS Y PRIMAS

48.1.- En el Pliego Particular de Condiciones de la Obra, la EMPRESA podrá establecer premios en el caso de cumplimiento de los plazos parciales y total contratados y/o un sistema de primas para premiar los posibles adelantos sobre dichos plazos de terminación de obras.

La EMPRESA especificará las condiciones que deberán concurrir para que el CONTRATISTA pueda obtener dichos premios y/o primas.

48.2.- La EMPRESA podrá supeditar el pago de los premios, siempre que así lo indique expresamente, al cumplimiento estricto de los plazos, incluso en el caso de retrasos producidos por causas no imputables al CONTRATISTA o de fuerza mayor.

Artículo 49. RETRASOS OCASIONADOS POR LA EMPRESA

Los retrasos que pudieran ocasionar la falta de planos, demoras en el suministro de materiales que deba ser realizado por la EMPRESA, o interferencias ocasionadas por otros Contratistas, serán valorados en tiempo por la Dirección de la Obra, después de oír al CONTRATISTA, prorrogándose los plazos conforme a dicha estimación.

Para efectuar ésta, la Dirección tendrá en cuenta la influencia sobre la parte de obra realmente afectada, y la posibilidad de adelantar la ejecución de

obras y unidades de obras, cuya realización estuviese prevista para fecha posterior.

Artículo 50. DAÑOS Y AMPLIACIÓN DE PLAZO EN CASO DE FUERZA MAYOR

50.1.- Cuando se produjeran daños en las obras por causa de fuerza mayor, si su prevención o minoración hubiera correspondido a las partes, la que hubiese sido negligente soportara sus consecuencias.

Si fuese por completo ajena a la actuación del CONTRATISTA el riesgo sobre la obra ejecutada será soportado por la EMPRESA en cuanto a las unidades de que se hubiese hecho previa medición, según se determina en el artículo 52.

50.2.- Si por causa de fuerza mayor no imputable al CONTRATISTA hubiese de sufrir demora el curso de la obra, lo pondrá en conocimiento de la EMPRESA con la prontitud posible, concretando el tiempo en que estima necesario prorrogar los plazos establecidos, la EMPRESA deberá manifestar su conformidad o reparos a la procedencia y alcance de la prórroga propuesta en un plazo igual al que hubiese mediado entre el hecho originario y la comunicación del CONTRATISTA.

Artículo 51. MEDICIONES DE LAS UNIDADES DE OBRA

51.1- Servirán de base para la medición y posterior abono de las obras los datos del replanteo general y los replanteos parciales que haya exigido el curso de la obra; los vencimientos y demás partes ocultas de las obras, tomados durante la ejecución de los trabajos y autorizados con las firmas del CONTRATISTA y del Director de la Obra; la medición que se lleve a efecto de las partes descubiertas de las obras de fábrica y accesorias y, en general, los que convengan al procedimiento consignado en el Pliego oficial.

51.2.- En ningún caso podrá alegar el CONTRATISTA los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas cuando se hallen en contradicción con las normas establecidas a estos efectos en el Pliego Particular de la obra, o en su defecto, con las establecidas en el presente Pliego de Condiciones Generales.

51.3.- Las mediciones con los datos recogidos de los elementos cualitativos que caracterizan las obras ejecutadas, los acopios realizados, o los suministros efectuados, constituyen comprobación de un cierto estado de hecho y se recogerán por la EMPRESA en presencia del CONTRATISTA. La ausencia del CONTRATISTA, aún habiendo sido avisado previamente, supone su conformidad a los datos recogidos por la EMPRESA.

En caso de presencia del CONTRATISTA las mediciones serán avaladas con la firma de ambas partes.

51.4.- El CONTRATISTA no podrá dejar de firmar las mediciones. En caso de negarse a hacerlo, podrá levantarse acta notarial a su cargo. Si las firmara con reservas, dispondrá de un plazo de 10 días a partir de la fecha de redacción de las mismas para formular por escrito sus observaciones. Pasado ese plazo, las mediciones se suponen aceptadas sin reserva alguna.

En el caso de la firma con reserva, se redactará un acta en la que se hará constar los motivos de disconformidad, acta que se unirá a la correspondiente medición.

51.5.- En el caso de reclamación del CONTRATISTA las mediciones se tomarán a petición propia o por iniciativa de la EMPRESA, sin que estas comprobaciones prejuzguen, en ningún caso, el reconocimiento de que las reclamaciones están bien fundamentadas.

51.6.- El CONTRATISTA está obligado a exigir a su debido tiempo la toma contradictoria de mediciones para los trabajos, prestaciones y suministros que no fueran susceptibles de comprobación o de verificaciones ulteriores, a falta de lo cual, salvo pruebas contrarias que deben proporcionar a su costa, prevalecerán las decisiones de la EMPRESA con todas sus consecuencias.

Artículo 52. CERTIFICACIÓN Y ABONO DE LAS OBRAS

52.1.- Las unidades de obra se medirán mensualmente sobre las partes realmente ejecutadas con arreglo al Proyecto, modificaciones posteriores y órdenes de la Dirección de Obra, y de acuerdo con los artículos del Pliego de Condiciones.

La medición de la obra realizada en un mes se llevará a cabo en los ocho primeros días siguientes a la fecha de cierre de certificaciones. Dicha fecha se determinará al comienzo de las obras.

Las valoraciones efectuadas servirán para la redacción de certificaciones mensuales al origen, de las cuales se tendrá el líquido de abono.

Corresponderá a la EMPRESA en todo caso, la redacción de las certificaciones mensuales.

52.2.- Las certificaciones y abonos de las obras, no suponen aprobación ni recepción de las mismas.

52.3.- Las certificaciones mensuales se deben entender siempre como abonos a buena cuenta, y en consecuencia, las mediciones de unidades de obra y los precios aplicados no tienen el carácter de definitivos, pudiendo surgir modificaciones en certificaciones posteriores y definitivamente en la liquidación final.

52.4.- Si el CONTRATISTA rehusase firmar un certificación mensual o lo hiciese con reservas por no estar conforme con ella, deberá exponer por escrito y en el plazo máximo de diez días, a partir de la fecha de que se le requiera para la firma, los motivos que fundamenten su reclamación e importe de la misma. La EMPRESA considerará esta reclamación y decidirá si procede atenderla.

Los retrasos en el cobro, que pudieran producirse como consecuencia de esta dilación en los trámites de la certificación, no se computarán a efectos de plazo de cobro ni de abono de intereses de demora.

52.5.- Terminado el plazo de diez días, señalado en el epígrafe anterior, o si hubiese variado la obra en forma tal que les fuera imposible recomprobar la medición objeto de discusión, se considerará que la certificación es correcta, no admitiéndose posteriormente reclamación alguna en tal sentido.

52.6.- Tanto en las certificaciones, como en la liquidación final, las obras serán en todo caso abonadas a los precios que para cada unidad de obra figuren en la oferta aceptada, o a los precios contradictorios fijados en el transcurso de la obra, de acuerdo con lo provisto en el epígrafe siguiente.

52.7.- Los precios de unidades de obra, así como los de los materiales, maquinaria y mano de obra que no figuren entre los contratados, se fijaran contradictoriamente entre el Director de Obra y el CONTRATISTA, o su representante expresamente autorizado a estos efectos.

Estos precios deberán ser presentados por el CONTRATISTA debidamente descompuestos, conforme a lo establecido en el artículo 6 del presente Pliego.

La Dirección de Obra podrá exigir para su comprobación la presentación de los documentos necesarios que justifique la descomposición del precio presentado por el CONTRATISTA.

La negociación del precio contradictorio será independiente de la ejecución de la unidad de obra de que se trate, viniendo obligado el CONTRATISTA a realizarla, una vez recibida la orden correspondiente. A falta de acuerdo se certificará provisionalmente a base de los precios establecidos por la EMPRESA.

52.8.- Cuando circunstancias especiales hagan imposible el establecer nuevos precios, o así le convenga a la EMPRESA, corresponderá exclusivamente a esta Sociedad la decisión de abonar estos trabajos en régimen de Administración, aplicando los baremos de mano de obra, materiales y maquinaria, aprobados en el Contrato.

52.9.- Cuando así lo admita expresamente el Pliego de Condiciones Particulares de la obra, o la EMPRESA acceda a la petición en este sentido formulada por el CONTRATISTA, podrá certificarse a cuenta de acopios de materiales en la cuantía que determine dicho Pliego, o en su defecto la que estime oportuno la Dirección de Obra.

Las cantidades abonadas a cuenta por este concepto se deducirán de la certificación de la unidad de obra correspondiente, cuando dichos materiales pasen a formar parte de la obra ejecutada.

En la liquidación final no podrán existir abonos por acopios, ya que los excesos de materiales serán siempre por cuenta del CONTRATISTA.

El abono de cantidades a cuenta en concepto de acopio de materiales no presupondrá, en ningún caso, la aceptación en cuanto a la calidad y demás especificaciones técnicas de dicho material, cuya comprobación se realizará en el momento de su puesta en obra.

52.10.- Del importe de la certificación se retraerá el porcentaje fijado en el artículo 17.3. para la constitución del fondo de garantía.

52.11.- Las certificaciones por revisión de precios, se redactarán independientemente de las certificaciones mensuales de obra ejecutada, ajustándose a las normas establecidas en el artículo 29.

52.12.- El abono de cada certificación tendrá lugar dentro de los 120 días siguientes de la fecha en que quede firmada por ambas partes la certificación y que obligatoriamente deberá figurar en la antefirma de la misma. El pago se efectuará mediante transferencia bancaria, no admitiéndose en ningún caso el giro de efectos bancarios por parte del CONTRATISTA.

Si el pago de una certificación no se efectúa dentro del plazo indicado, se devengarán al CONTRATISTA, a petición escrita del mismo, intereses de demora.

Estos intereses se devengarán por el periodo transcurrido del último día del plazo tope marcado (120 días) y la fecha real de pago. siendo el tipo de interés, el fijado por el Banco de ESPAÑA, como tipo de descuento comercial para ese periodo.

Artículo 53. ABONO DE UNIDADES INCOMPLETAS O DEFECTUOSAS

53.1.- La Dirección de Obra, determinará si las unidades que han sido realizadas en forma incompleta o defectuosa, deben rehacerse o no. Caso de rehacerse el CONTRATISTA vendrá obligado a ejecutarlas, siendo de su cuenta y cargo dicha reparación, en el caso de que ya le hubiesen sido abonadas.

De no haberlo sido, se certificará la obra como realizada una sola vez.

53.2.- Cuando existan obras defectuosas o incompletas que la EMPRESA considere, que a pesar de ello puedan ser aceptables para el fin previsto, se abonarán teniendo en cuenta la depreciación correspondiente a las deficiencias observadas. En el Pliego de Condiciones Particulares se fijan resistencias, densidades, grados de acabado, tolerancias en dimensiones, etc. Se podrá hacer una proporcionalidad con las obtenidas, siempre que sean admisibles, o bien fijar de entrada una depreciación en los precios de un 10% para obras defectuosas pero aceptables.

Artículo 54. RECEPCIÓN PROVISIONAL DE LAS OBRAS

54.1.- A partir del momento en que todas las obras que le han sido encomendadas, hayan sido terminadas, el CONTRATISTA lo pondrá en conocimiento de la EMPRESA, mediante carta certificada con acuso de recibo.

La EMPRESA procederá entonces a la recepción provisional de esas obras, habiendo convocado previamente al CONTRATISTA por escrito, al menos con 15 días de anticipación.

Si el CONTRATISTA no acude a la convocatoria, se hará mención de su ausencia en el Acta de Recepción.

54.2.- Del resultado del reconocimiento de las obras, se levantará un Acta de recepción en la que se hará constar el estado final de las obras y las deficiencias que pudieran observarse.

El Acta será firmada conjuntamente por el CONTRATISTA y la Dirección de la obra.

54.3.- Si el reconocimiento de las obras fuera satisfactorio se recibirán provisionalmente las obras, empezando a contar desde esta fecha el plazo de garantía.

Si por el contrario se observara deficiencias y no procediese efectuar la recepción provisional, se concederá al CONTRATISTA un plazo breve para que corrija los defectos observados, transcurrido el cual deberá procederse a un nuevo reconocimiento.

Si transcurrido el plazo concedido al CONTRATISTA, no se hubieran subsanado dichos defectos, la EMPRESA podrá proceder a su realización, bien directamente, bien por medio de otros contratistas, con cargo al fondo de garantía y si este no bastase, con cargo a la fianza definitiva.

Una vez terminados los trabajos de reparación, se procederá a recibir provisionalmente las obras.

Artículo 55. PLAZO DE GARANTÍA

Una vez terminadas las obras, se efectuará la recepción provisional de las mismas, tal como se indica en el artículo 54, a partir de cuyo momento comenzará a contar el plazo de garantía, al final del cual se llevará a cabo la recepción definitiva.

Durante este plazo, será de cuenta del CONTRATISTA la conservación y reparación de las obras, así como todos los desperfectos que pudiesen ocurrir en las mismas, desde la terminación de estas, hasta que se efectúe la recepción definitiva, excepción hecha de los daños que se deriven del mal trato o uso inadecuado de las obras por parte de la EMPRESA.

Si el CONTRATISTA incumpliese lo estipulado en el párrafo anterior, la EMPRESA podrá encargar a terceros la realización de dichos trabajos o ejecutarlos directamente por Administración, deduciendo su importe del fondo de garantía y si no bastase, de la fianza definitiva, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho la EMPRESA en el caso de que el monto del

fondo de garantía y de la fianza no bastasen para cubrir el importe de los gastos realizados en dichos trabajos de reparación.

Artículo 56. RECEPCIÓN DEFINITIVA DE LAS OBRAS

56.1.- Una vez transcurrido el plazo de garantía se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras de un modo análogo al indicado en el artículo 54 para la recepción provisional.

56.2.- En el caso de que hubiese sido necesario conceder un plazo para subsanar los defectos hallados, el CONTRATISTA no tendrá derecho a cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía, debiendo continuar encargado de la conservación de las obras durante esa ampliación.

56.3.- Si la obra se arruinase con posterioridad a la recepción definitiva por vicios ocultos de la construcción debidos a incumplimiento doloso del Contrato por parte del CONTRATISTA, responderá éste de los daños y perjuicios en el término de 15 años.

Transcurrido este plazo, quedará totalmente extinguida la responsabilidad del CONTRATISTA.

Artículo 57. LIQUIDACIÓN DE LAS OBRAS

Una vez efectuada la recepción provisional se procederá a la medición general de las obras que han de servir de base para la valoración de las mismas.

La liquidación de las obras se llevará a cabo después de la recepción definitiva, saldando las diferencias existentes por los abonos a cuenta y descontando el importe de las reparaciones u obras de conservación que haya habido necesidad de efectuar durante el plazo de garantía, en el caso de que el

CONTRATISTA no las haya realizado por su cuenta. Después de realizada la liquidación, se saldarán el fondo de garantía y la fianza definitiva, tanto si ésta última se ha constituido Aval Bancario.

También se liquidará, si existe, la cuenta especial de retenciones por retrasos durante la ejecución de las obras.

Junio de 2.006

Fdo: José Joaquín Brenes Varo

PRESUPUESTO.

ÍNDICE

1.OBJETIVO.....	1.
2. PRESUPUESTOS PARCIALES.....	2.
2.1. OBRA CIVIL.....	2.
2.2 EQUIPOS.....	2.
2.2.1. Generador de ozono.....	2.
2.2.2. Destructor de ozono residual.....	3.
2.2.3. Compresor de aire.....	3.
2.2.4. Secador de aire.....	3.
2.2.5. Difusor de ozono.....	3.
2.2.6. Unidad de filtración.....	4.
2.2.7. Bombas.....	4.
2.2.8. Medidor de ozono.....	4.
2.2.9. Medidor de nivel.....	5.
2.2.10. Medidor de presión.....	5.
2.2.11. Controlador eléctrico.....	5.
2.3. TUBERÍAS Y ACCESORIOS.....	6.
2.3.1. Línea desde la salida de la EDAR a la unidad de filtración.....	6.
2.3.2. Línea de agua de lavado del filtro.....	6.
2.3.3. Línea de agua filtrada.....	7.
2.3.4. Línea desde la arqueta de agua filtrada a la cámara de contacto.....	7.
2.3.5. Línea de salida de la cámara de contacto.....	7.
2.3.6. Línea de desagüe del agua de lavado.....	8.
2.3.7. Línea de gas.....	8.
3.PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	9.
4.PRESUPUESTO DE EJECUCION POR CONTRATA.....	9.
5.COSTES DE EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	10.

1. OBJETIVO

El objetivo del presente documento es recoger el presupuesto general de ejecución del proyecto “Diseño del proceso de tratamiento terciario de ozonización al agua de salida de una EDAR convencional para su reutilización en el riego de campos de golf”, teniendo en cuenta el presupuesto de los equipos e instalaciones.

Para el cálculo de dicho presupuesto se determina el Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.) que incluye la obra civil y el precio de los equipos, a este precio se le añade el Beneficio Industrial y obtenemos el Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.). Sumándole el IVA del 16% al P.E.C. obtenemos el presupuesto total del proyecto.

El valor obtenido refleja el precio real de ejecución del proyecto estimado con un margen de un 20% tanto por exceso como por defecto.

Para la realización del presupuesto se han utilizado precios actuales y precios antiguos. Los precios antiguos se han actualizado aplicando los índices de Marschall y Swift. La mayor parte de los precios han sido tomados de catálogos comerciales de los fabricantes.

En el último apartado del presupuesto se estiman los costes anuales de explotación y mantenimiento del tratamiento terciario.

2. PRESUPUESTOS PARCIALES.

2.1. *Obra civil.*

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
ARQUETA DE AGUA FILTRADA 2 X 2 X 2,5 m ³ Hormigón liso	1	1.075,00	1075,00
ARQUETA DE AGUA DE LAVADO 2 x 2 x 3 m ³ Hormigón liso	1	1.290,36	1290,36
CÁMARA DE CONTACTO 2,16 X 1,38 X 4,06 m ³ Hormigón liso	1	6.550,00	6550,00
EDIFICIO GENERADOR DE OZONO	1	7.600,00	7.600,00
CASETA BOMBA CENTRÍFUGA	1	3.122,00	3.122,00

2.2. *Equipos.*

2.2.1. GENERADOR DE OZONO.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
GENERADOR DE OZONO MOD. NPO GL 16	1	30.000,00	30.000,00

2.2.2. DESTRUCTOR DE OZONO RESIDUAL.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
DESTRUCTOR TERMICO- CATALITICO MOD COD 1,5	1	1.795,00	1.795,00

2.2.3. COMPRESOR DE AIRE.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
COMPRESOR DE AIRE MOD. OZO-BK	1	3.000,00	3.000,00

2.2.4. SECADOR DE AIRE.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
SECADOR POR ADSORCION MOD. Heatless HM4	1	1.500,00	1.500,00

2.2.5. DIFUSOR DE OZONO.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
DIFUSOR DE DISCO (ACERO AISI 316) MOD AS-100SM	7	59,50	416,50

2.2.6. UNIDAD DE FILTRACIÓN.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
FILTRO DE ARENA POR GRAVEDAD (área de filtración =2,5 m ²)	1	7.252,00	7.252,00

2.2.7. BOMBAS.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
BOMBA CENTRIFUGA "ITUR" MOD 50-160.aF	1	2.905,5	2905,5
BOMBA SUMERGIBLE "SAER" MOD IR4P-100-200C	1	2.521,40	2521,40
BOMBA SUMERGIBLE "SAER" MOD IR4P-50-160A	1	1.955,75	1955,75

2.2.8. MEDIDOR DE OZONO.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
MEDIDOR DE ALTA CONCENTRACIÓN MOD. HC -500	1	2.995,00	2995,00
MEDIDOR DE OZONO DISUELTO MOD. A 15/64	1	4.196,00	4196,00
MEDIDOR DE FUGAS MOD. TOS3	1	1.995,00	1995,00

2.2.9. MEDIDOR DE NIVEL.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
INDICADOR DE NIVEL MOD. LEVEL STAR	2	792,55	1585,10

2.2.10. MEDIDOR DE PRESIÓN.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
DP CELL TIPO ELÉCTRICO	1	240,40	240,40
MANÓMETRO	1	95,50	95,50

2.2.11. CONTROLADOR ELÉCTRICO.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
CONTROLADOR ELÉCTRICO MOD. 53EL	3	697,50	2092,50

2.3. Tuberías y accesorios.

2.3.1. LÍNEA DESDE SALIDA DE LA EDAR A LA UNIDAD DE FILTRACIÓN.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
METRO LINEAL TUBERÍA DE ACERO AISI 316 SH 10S DN 4"	6,38	23,77 / m	151,65
CODOS DE 90, 4" ACERO AISI 316 SH 10S DN 4"	2	21,5	43,00
ELECTROVÁLVULA DN (4")	1	508,25	508,25
VÁLVULA DE MARIPOSA DN (4")	1	74,25	74,25
MEDIDOR MAGNÉTICO	1	1.250,00	1250,00

2.3.2 LÍNEA DE AGUA DE LAVADO DEL FILTRO.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
METRO LINEAL TUBERÍA DE ACERO AISI 316 SH 10S DN 4"	7,8	23,77 / m	184,40
CODOS DE 90, 4" ACERO AISI 316 SH 10S DN 4"	3	21,5	64,50
ELECTROVÁLVULA DN (4")	1	480,88	480,88
VÁLVULA DE COMPUERTA	1	55,19	55,19

2.3.3. LÍNEA DE AGUA FILTRADA.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
METRO LINEAL TUBERÍA DE ACERO AISI 316 SH 10S DN 4"	3	23,77 / m	71,31
ELECTROVÁLVULA DN (4")	1	508,25	508,25
VÁLVULA DE MARIPOSA DN (4")	1	74,25	74,25
TE RECTA DN 4 " ACERO AISI 316	1	34,19	34,19

2.3.4. LÍNEA DESDE LA ARQUETA DE AGUA FILTRADA A LA CÁMARA DE CONTACTO.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
METRO LINEAL TUBERÍA DE ACERO AISI 316 SH 10S DN 4"	5,9	23,77 / m	140,24
CODOS DE 90, 4" ACERO AISI 316 SH 10S DN 4"	3	21,5	64,5
ELECTROVÁLVULA DN (4")	1	480,88	480,88
VÁLVULA DE COMPUERTA DN (4")	1	55,19	55,19

2.3.5. LÍNEA DE SALIDA DE LA CÁMARA DE CONTACTO.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
METRO LINEAL TUBERÍA DE ACERO AISI 316 SH 10S DN 4"	5,9	23,77 / m	140,24
MEDIDOR MAGNÉTICO	1	1.250,00	1250,00

2.3.6. LÍNEA DE DESAGÜE AGUA DE LAVADO.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
METRO LINEAL TUBERÍA DE ACERO AISI 316 SH 10S DN 4"	4	23,77 / m	95,08
VÁLVULA DE COMPUERTA DN (4")	2	55,19	110,38

2.3.7 LÍNEA DE GAS.

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
METRO LINEAL TUBERÍA DE ACERO AISI 304	4,5	8,90/ m	40,05
CODOS DE 90, 1/2" ACERO AISI 304	4	17,25	69,00
ELECTROVÁLVULA DN (1/2")	2	425,35	850,70
VÁLVULA DE BOLA DN (1/2")	2	74,25	148,50
ROTÁMETRO MOD. OZONO FLOWMETER	2	495,50	991,00
TE RECTA DN 1/2 " AISI 304	1	19,25	19,25
VÁLVULA DE PURGA DE GAS EN CÁMARA DE CONTACTO	1	85,50	85,50
VÁLVULA DE SUB/SOBRE PRESIÓN EN CÁMARA DE CONTACTO	1	189,75	189,75

3. PRESUPUESTO GENERAL DE EJECUCION MATERIAL.

Apartado 2: Obra civil..... 19.637,36 €

Apartado 3: Equipos..... 64.545,65 €

Apartado 4: Tuberías y accesorios..... 8.230,38 €

Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.).....92.413,39 €

Asciende el PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL a la cantidad de “NOVENTA Y DOS MIL CUATROCIENTOS TRECE EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS” (92.413,39 €).

4.PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.)..... 92.413,39 €

Gastos Generales y Beneficio Industrial (15%).....13.862,01 €

I.V.A. (16%).....17.004,54 €

Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.).....**123279,94 €**

Asciende el PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA a la cantidad de “CIENTO VEINTITRÉS MIL DOSCIENTOS SETENTA Y NUEVE EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS” (123279,94 €).

5.COSTES DE EXPLOTACION Y MANTEMIENTO.

La depuración de agua residual urbana que se lleva a cabo en la EDAR de Conil de la Frontera está afectada de un coste de explotación y mantenimiento anual necesario para que se pueda llevar a cabo la actividad depurativa.

El nuevo tratamiento terciario que se incorpora a las instalaciones existentes supone un coste de explotación y mantenimiento anual añadido.

El coste de explotación y mantenimiento anual de las nuevas instalaciones se estima a continuación a partir de las distintas partidas que lo componen. Este coste se determina para el estado de precios actual y para el caudal medio actual.

CONCEPTO	UNIDAD DEL CONCEPTO	COSTE UNITARIO	Nº UNIDADES	COSTE ANUAL
Personal	operario	1.350 €/mes	Jornada completa	16.200 €
	analista	1.450 €/mes	Jornada completa	17.400 €
Energia electrica	Equipos e instalaciones	0,07€/kWh	151548kh	10.608,36 €
Mantenimiento	Mantenimiento correctivo y preventivo de equipos, repuestos en stock, subcontratas, etc	----	----	6.500,65 €
COSTE DE EXPLOTACIÓN Y MANTEMIENTO ANUAL DEL TRATAMIENTO TERCIARIO				50.709,01€

Junio de 2.006

Fdo: José Joaquín Brenes Varo

