

Universidad de **Cádiz**

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

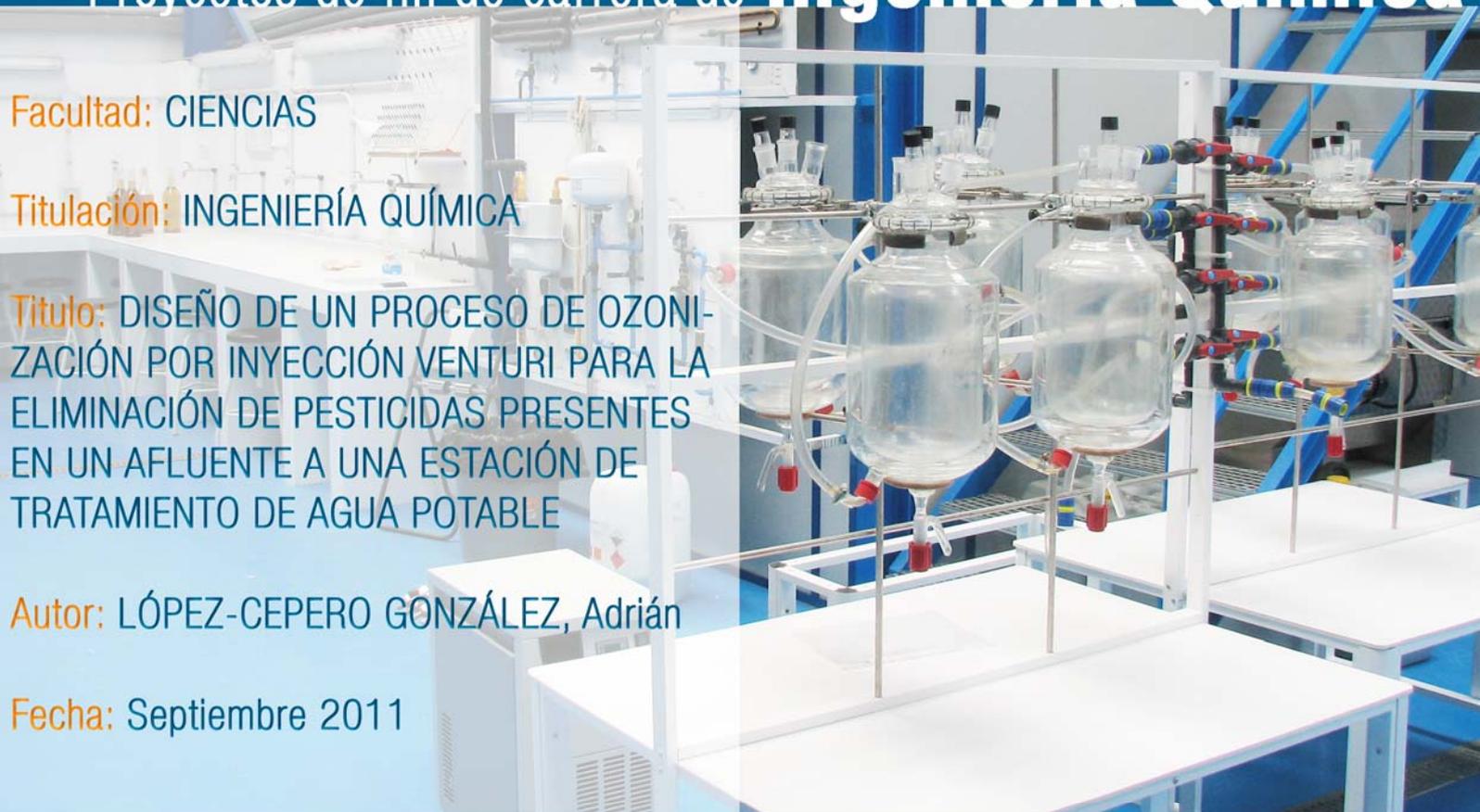
Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Titulo: DISEÑO DE UN PROCESO DE OZONIZACIÓN POR INYECCIÓN VENTURI PARA LA ELIMINACIÓN DE PESTICIDAS PRESENTES EN UN AFLUENTE A UNA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Autor: LÓPEZ-CEPERO GONZÁLEZ, Adrián

Fecha: Septiembre 2011





MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.-ANTECEDENTES.....	1
1.1.Agentes oxidantes físico-químicos.....	3
1.2.Ozonización.....	4
2.-OBJETO Y ALCANCE.....	6
3.-SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y DEMOGRÁFICA DE LA PLANTA POTABILIZADORA.....	8
4.-MARCO LEGAL APLICABLE EN ESPAÑA.....	9
5.-REQUISITOS DEL AGUA POTABLE.....	12
5.1.Parámetros de calidad.....	13
5.2.Análisis del agua.....	19
6.-PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POR OZONIZACIÓN.....	21
6.1.Línea de tratamiento.....	21
7.-OZONIZACIÓN.....	25
7.1.Demanda de ozono.....	26
7.2.Generación de ozono.....	26
7.2.1.Consideraciones para el diseño del equipo de generación de ozono.....	28
7.2.1.1.Características físicas del generador de ozono.....	28
7.2.1.2.Suministro de energía al generador de ozono.....	29
7.2.1.3.Humedad y polvo del gas de alimentación.....	31
7.2.1.4.Refrigeración del generador de ozono.....	32
7.2.1.5.Contenido en oxígeno y caudal del gas de alimentación.....	32
7.3.Ozonización del agua.....	33
7.3.1.Características físicas y químicas del ozono.....	33
7.3.2.Mecanismo físico-químicos de los procesos de ozonización en aguas.....	34
7.4.Destrucción del ozono en exceso.....	37
8.-CARACTERÍSTICAS ANALÍTICAS DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	39
9.-CÁLCULOS DE PROCESO.....	40
9.1.Necesidades de ozono.....	42
9.1.1.Concentración residual de ozono.....	43
9.1.2.Caudal de la corriente gaseosa.....	43
9.2.Cámara de contacto de ozonización.....	44

9.2.1. Diámetro de la columna.....	45
9.2.2. Altura de la columna.....	46
9.3. Generador de ozono.....	49
10.-CÁLCULOS HIDRÁULICOS.....	51
10.1. Pérdidas de carga.....	51
10.1.1. Sistema de inyección de ozono.....	51
10.1.1.1. Diámetro de tubería.....	53
10.1.1.2. Pérdidas de carga en los tramos de tubería.....	54
10.1.1.3. Pérdidas de carga en los accesorios.....	56
10.1.1.4. Pérdida de carga total del sistema de inyección de ozono.....	57
11.-CÁLCULOS MECÁNICOS.....	58
11.1. Espesor de la columna de ozonización.....	58
11.1.1. Espesor del casco cilíndrico.....	58
11.1.2. Espesor de las tapas.....	62
11.2. Potencia de la bomba del sistema de inyección.....	64
11.3. Potencia del generador de ozono.....	66
12.-DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	68
12.1. Instalaciones auxiliares.....	68

12.1.1. Depósito criogénico de oxígeno.....	68
12.1.1.1. Descripción.....	68
12.1.1.2. Clasificación del depósito.....	69
12.1.1.3. Volumen.....	69
12.1.1.4. Presión de servicio máxima.....	70
12.1.1.5. Temperaturas de servicio.....	70
12.1.1.6. Constructor.....	71
12.1.1.7. Marca.....	71
12.1.2. Gasificador.....	71
12.1.2.1. Descripción.....	71
12.1.2.2. Materiales.....	71
12.1.2.3. Características.....	72
12.1.2.4. Constructor.....	72
12.1.2.5. Vendedor.....	73
12.2. Descripción de la unidad de Ozonización.....	73

12.2.1. Generador de ozono.....	74
12.2.1.1. Descripción.....	74
12.2.1.2. Materiales.....	74
12.2.1.3. Características.....	75
12.2.1.4. Constructor.....	75
12.2.1.5. Vendedor.....	75
12.2.2. Sistema de inyección de ozono.....	75
12.2.2.1. Descripción.....	75
12.2.2.2. Materiales.....	76
12.2.2.3. Características.....	76
12.2.2.4. Constructor.....	77
12.2.2.5. Vendedor.....	77
12.2.3. Columna de Ozonización.....	78
12.2.3.1. Descripción.....	78
12.2.3.2. Materiales.....	78
12.2.3.3. Características.....	79
12.2.3.4. Constructor.....	79
12.2.3.5. Vendedor.....	80
12.2.4. Destructor termocatalítico de ozono.....	80
12.2.4.1. Descripción.....	80
12.2.4.2. Materiales.....	81
12.2.4.3. Características.....	81
12.2.4.4. Constructor.....	81
12.2.4.5. Vendedor.....	82
12.2.5. Funcionamiento de la unidad de ozonización.....	82
13.-BIBLIOGRAFÍA.....	84

ÍNDICE DE LOS ANEXOS

ANEXOS.....	87
ANEXO - CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE.....	88
RESUMEN SEMANAL DEL ESTADO DE LOS EMBALSES.....	89
ANEXO - ANÁLISIS DEL AGUA.....	90
PARÁMETOS QUÍMICOS QUE SE CONTROLAN SEGÚN LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.....	91
ANEXO - CATEGORÍAS DE AGUAS SUPERFICIALES.....	92
AGUAS SUPERFICIALES SUSCEPTIBLES DE SER DESTINADAS AL CONSUMO HUMANO.....	93
ANEXO - FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA GENERACIÓN DE OZONO.....	96
FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA GENERACIÓN DE OZONO.....	97
ANEXO - GENERADOR DE OZONO.....	99
ESQUEMA DE CONEXIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN GENERADOR DE OZONO.....	100
FORMAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA AL GENERADOR DE OZONO.....	101
CONTROL DE VOLTAJE Y FRECUENCIA.....	102
ANEXO - TIPOS DE GENERADORES DE OZONO.....	103
TIPOS DE GENERADORES DE OZONO.....	104
TUBO HORIZONTAL, CONTROL DEL VOLTAJE, REFRIGERADO MEDIANTE AGUA.....	106
TUBO VERTICAL, CONTROL DEL VOLTAJE, REFRIGERADO MEDIANTE AGUA.....	107
TUBO VERTICAL, CONTROL DE LA FRECUENCIA, DOBLE REFRIGERACION.....	108
PLATO BAJO, CONTROL DE LA FRECUENCIA, REFRIGERADO POR AIRE.....	109
ANEXO - HIPÓTESIS DE CÁLCULO.....	110
COLUMNA DE OZONIZACIÓN.....	111
CÁLCULOS DE PROCESO.....	112
ANEXO - CÁLCULOS MECÁNICOS.....	116
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	117
PRESIÓN DE LOS FLUIDOS. CARGA ESTÁTICA.....	118
TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS.....	119
DIMENSIONES DE LAS CABEZAS.....	120
ESPESORES MÍNIMOS DE PARED DEL RECIPIENTE.....	121

DEMOSTRACIÓN CONDICIONES ESPESOR CASCO CILÍNDRICO.....	122
DEMOSTRACIÓN CONDICIONES ESPESOR CABEZAS HEMIESFÉRICAS.....	123
ANEXO - CÁLCULOS HIDRÁULICOS.....	124
ANEXO INJECTOR VENTURI MAZZEI.....	125
PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS.....	126
PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS.....	127
FACTOR DE FRICCIÓN.....	129
POTENCIA DE LA BOMBA.....	130
PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA.....	131
CURVA DE RENDIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE OZONO.....	132
ANEXO - DIAGRAMA DE PROCESO.....	133

1.- ANTECEDENTES

Es conocido que tanto las aguas de los ríos como la de los lagos y mares contienen una gran variedad de compuestos contaminantes que provienen de la industria, la agricultura, núcleos de población, etc. Estos contaminantes pueden llegar al agua potable suministrada a los ciudadanos si no han contado con un tratamiento previo adecuado para su total eliminación. Hasta hace unos años los vertidos de carácter industrial en los ríos eran la primordial preocupación de los expertos. Hoy en día, los investigadores dirigen su mirada hacia otros campos; la causa ha sido el impacto directo que ejercen los vertidos que reciben los ríos desde los núcleos de población. Estudios recientes indican que la cafeína es una de las principales sustancias de carácter antropogénico que se encuentra presente en el medio acuático, por su elevada solubilidad, su bajo coeficiente de partición octanol-agua y su inexistente volatilidad. De hecho, estas propiedades junto con su origen antropogénico, han hecho que la cafeína haya sido propuesta como marcador antropogénico por diversos autores (Ferreira y col.,2005).

Una de las familias de contaminantes que mayor preocupación genera en los investigadores actuales son los conocidos con el nombre genérico de pesticidas. En dicha familia se incluyen herbicidas, insecticidas y fungicidas, entre otros. El comienzo del control de las plagas de vegetales data del siglo XIX, sin embargo, la acción protectora de algunas sales inorgánicas se conoce desde mucho antes (por ejemplo, en la Edad Media se llegó a usar azufre contra insectos y microorganismos). Al comienzo de este siglo empezaron a ser bastante usados compuestos de mercurio y arsénico. En los años 30 era de uso muy común el dinitrocresol. Después de 1945, la aplicación de pesticidas se incrementó rápidamente con el uso de compuestos como el DDT y sus derivados, lindano, aldrín, dieldrín, etc.

En los años 80 comienzan a ser usados los carbamatos, derivados de la urea y carboxiácidos; últimamente se desarrollan pesticidas bioquímicos. Actualmente pueden usarse más de 33.000 pesticidas que contienen más de 1.800 componentes, muchos de los cuales, especialmente los organoclorados están prohibidos en muchos países por su peligrosidad.

Otra de las familias que están acaparando el interés de las investigaciones son los fármacos. Analgésicos, antiinflamatorios, anticonceptivos, antibióticos y productos diversos que llenan nuestros botiquines acaban, en última instancia, en el medio ambiente al ser introducidos en las aguas residuales a través de la excreción, procesos de fabricación y vertidos incontrolados de medicamentos caducados (J.L. Santos Morcillo, 2006).

El problema de estas dos familias se halla en que no es posible su eliminación cuando las aguas residuales se enfrentan a los tratamientos convencionales de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs), debido a que estos tratamientos no son suficientemente eficaces. De esta forma, gran parte de estos principios activos acaban viajando hasta los ríos, lagos, mares y acuíferos. Estas aguas superficiales son utilizadas para el abastecimiento humano después de un tratamiento adecuado en las ETAPs.

Las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAPs) habituales en España, emplean varios procesos unitarios entre los que pueden citarse el desbaste, la filtración, la precipitación, la adsorción sobre carbono activado, la cloración, la floculación, la coagulación, etc. Estas estaciones han sido diseñadas para garantizar que el abastecimiento de agua potable sea aceptable para el consumo humano. De hecho, la razón principal para el proyecto e instalación de un sistema público de agua es la protección de la salud humana (Frank R. Spellman, 2004). No obstante, estos tratamientos no consiguen eliminar totalmente todas las sustancias que no son beneficiosas para la salud pública como es el caso de pesticidas, fármacos y algunos microorganismos.

Para solucionar este tipo de problemas se están desarrollando una serie de investigaciones, utilizando diferentes tecnologías con el objetivo de aumentar la eficacia de los sistemas depurativos de aguas. Los problemas que pueden presentar en el uso de estas tecnologías son varios: que se vea limitada su utilización porque supongan una elevada inversión económica, su potencial de eliminación no sea muy alto, dependan de las características del efluente para poder ser utilizados o generen subproductos ocasionando así nuevos problemas.

Entre las tecnologías que se están estudiando se encuentran los Procesos de Oxidación Avanzada (POA), los cuales se han mostrado eficaces en la reducción de los distintos tipos de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales industriales, aunque la primera aplicación y más extendida de este tipo de tecnologías ha sido la desinfección en el tratamiento del agua potable. (Rodríguez Vidal, F.J. 2003)

Uno de los Procesos de Oxidación Avanzada más utilizado es el tratamiento con ozono. El ozono se caracteriza por ser, a temperatura ambiente un gas, incoloro, corrosivo y tóxico ha sido aplicado tradicionalmente en plantas de tratamiento de agua potable para llevar a cabo procesos de desinfección y oxidación: decoloración, control de malos olores y eliminación de microorganismos contaminantes (Von Gunten et al, 2007). Sin embargo, su uso en el tratamiento de aguas está limitado por dos factores, su solubilidad y la cinética de sus reacciones. En efecto, el ozono es parcialmente soluble en agua y la cinética de sus reacciones en algunos casos es rápida pero en otros es extremadamente lenta. (Beltrán.J. et al. 1989). Además, en el empleo del ozono para la oxidación de compuestos inorgánicos, unas dosis excesivas de ozono pueden llevar a la oxidación del Mn(II) hasta Mn (VI), el cual da una coloración rosa al agua y puede tener efectos tóxicos (Rodríguez Vidal, F.J. 2003) o puede provocar la aparición de bromatos por la oxidación de los bromuros presentes (Von Guten et al, 2003).

A pesar de estos posibles inconvenientes, el proceso de eliminación de determinados pesticidas y fármacos de las aguas naturales destinadas al consumo humano mediante el tratamiento con ozono, ha pasado a ser un tema de actualidad alrededor del cual se han creado importantes líneas de investigación, y de las que han surgido novedosos estudios como el llevado a cabo por el Engler-Bunete-Institute, Department of Water Chemistry y University of Karlsruhe en Alemania.

1.1. Agentes oxidantes físico-químicos

Las tecnologías de oxidación forman parte de un grupo de procesos que tienen la capacidad de reducir o eliminar tanto la toxicidad como el volumen de contaminantes peligrosos.

La oxidación se logra mediante oxidantes químicos o físicos. Estos agentes pueden oxidar materiales peligrosos hasta su eliminación total en forma de moléculas inorgánicas o lo que es más habitual, transformar a los contaminantes en sustancias menos tóxicas o que son más fáciles de degradar por otros métodos.

Los principales agentes empleados para la oxidación de los contaminantes presentes en el agua se muestran en la Tabla 1.1.1 Principales agentes desinfectantes:

Tabla 1.1.1 Principales agentes desinfectantes

AGENTES QUÍMICOS	AGENTES FÍSICOS
Cloro (Cl ₂)	Luz ultravioleta (UV)
Dióxido de Cloro (ClO ₂)	Radiación electromagnética
Hipoclorito (OCl ⁻)	Rayos Gamma
Ozono (O ₃)	Sonido
Halógenos: bromo (Br ₂), yodo (I)	Calor
Cloruro de Bromo (BrCl)	
Metales: cobre (Cu ²⁺), plata (Ag ⁺)	
Permanganato potásico (KMnO ₄)	
Fenoles	
Alcoholes	
Jabones y detergentes	
Sales de Amonio	
Peróxido de Hidrógeno	
Distintos ácidos y bases	

1.2. Ozonización

En los apartados anteriores se ha indicado la evolución de los procesos y agentes empleados en el tratamiento del agua potable. A continuación, se describe de forma más concreta la aplicación del ozono al proceso de tratamiento del agua, así como las principales características físicas y químicas del ozono.

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno elemental, constituido por tres átomos de oxígeno (O_3). Una de las principales características del ozono, es su olor característico, ligeramente picante, cuando se encuentra en concentraciones comprendidas entre 0.08 y 0.1 ppm. En 1783 fue descubierto por el científico holandés Van Marum. Sin embargo fue Schonbein quien le atribuyó el nombre de ozono (tomado de la palabra griega que significa olor) debido a su olor característico anteriormente mencionado.

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 industrial instalada por Frolich en Martinikenfeld. Como consecuencia del hallazgo, se construyeron las instalaciones de Wiesbaden y Paderborn en 1896. Sobre la misma fecha, Van Ermengen, Calmette y Roux publicaron sendos trabajos sobre los resultados del tratamiento efectuado en Oudshoorn (Holanda), que ponían de manifiesto la eficacia del ozono en la destrucción no sólo de todas las esporas, sino también de todas las bacterias patógenas y saprófitas presentes. Estas investigaciones desembocaron en la adopción del tratamiento con ozono en las plantas de París, Lille y Niza, en Francia. En 1933, en las instalaciones de París, se trataban alrededor de 14000 m³/h de agua con ozono.

En Rusia se instalaron equipos de tratamiento con ozono en 1905-1906, en Tzarskoe Selo, mientras que Petrogado (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.

2.- OBJETO Y ALCANCE

El presente proyecto consiste en el diseño de una unidad de oxidación de microcontaminantes mediante ozonización de un afluyente a una estación de tratamiento de agua potable situada en los alrededores de una población de 10.000 habitantes en el suroeste del territorio nacional. Previamente a la unidad de ozonización, el agua ha sido sometida a un proceso de desbaste, coagulación-floculación, decantación y filtración. La inyección de ozono se realiza mediante un dispositivo tipo Venturi y la estación de tratamiento de agua potable (ETAP) dispone de una capacidad de tratamiento máximo de 1728 m³/día.

El alcance de la actual memoria queda definido en base a los siguientes etapas:

- Caracterización de la situación geográfica y demográfica de la ETAP, definiendo el entorno y la densidad de población a la cual abastece la planta potabilizadora.
- Requisitos del agua potable.
- Descripción de los equipos presentes en la estación de tratamiento de agua potable.
- Descripción de las condiciones de salida de la planta de ozonización.
- Justificación de la necesidad de oxidación de los contaminantes presentes en la corriente de agua de la ETAP, comparando las principales alternativas tecnológicas presentes en la actualidad con el proceso de ozonización. Asimismo se argumentará la selección del proceso mencionado como la alternativa óptima para la eliminación de los microcontaminantes de la alimentación a tratar.
- Selección del emplazamiento óptimo de la planta de ozonización dentro del esquema de la estación potabilizadora.

- Diseño y dimensionamiento de la planta de ozonización, donde se describen los resultados obtenidos de los cálculos relativos a la proyección de equipos.
- Descripción de las condiciones de operación relativas a la explotación de la planta así como se indicarán las normativas nacionales de aplicación.
- Como última etapa se indicarán y evaluarán los resultados obtenidos en el presupuesto.

Adicionalmente, se incluyen fuera de la memoria, en sus respectivos apartados, los planos de situación y de los equipos objeto de diseño, así como los cálculos detallados del presupuesto.

3.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y DEMOGRÁFICA DE LA PLANTA POTABILIZADORA

El presente apartado define la localización de la planta de tratamiento y las condiciones demográficas de su ubicación.

La planta se sitúa en las proximidades de un municipio situado en el suroeste de España con una población estimada de 10.000 habitantes, aumentado su demografía hasta un máximo de 15.000 habitantes en los meses de verano. El caudal de alimentación de la ETAP procede de un embalse situado al norte de la planta, cuya capacidad y materiales de construcción se indican en el ANEXO - CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE del presente proyecto.

El municipio mencionado en el párrafo anterior desarrolla su actividad económica basada en dos fuentes de ingresos principales:

- El turismo en el período estival.
- La agricultura frutícola, principalmente desarrollada mediante cultivos en invernaderos de la fresa y el fresón, así como la producción de cítricos. El período de mayor producción se sitúa en los meses de primavera y verano.

Debido a la actividad agrícola desarrollada en todos los municipios circundantes y en las cercanías del embalse, se utilizan gran cantidad de pesticidas en la zona con el fin de conservar los cultivos libres de plagas. Se estima que es probable la filtración de los pesticidas a través del suelo y su incorporación al agua de alimentación a la ETAP.

4.- MARCO LEGAL APLICABLE EN ESPAÑA

Dada la importancia a nivel sanitario del agua potable, en los últimos años se ha desarrollado un marco legislativo tanto en Europa como en el territorio nacional. Por ello, se desarrolla en las siguientes páginas la legislación aplicable tanto para el agua de consumo humano como los requisitos legales necesarios para la utilización del ozono en los procesos de tratamiento de agua potable.

La Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad, estableció la obligación de las Administraciones públicas sanitarias de orientar sus actuaciones prioritariamente a la promoción de la salud y la prevención de las enfermedades.

La citada Ley prevé que las actividades y productos que, directa o indirectamente, puedan tener consecuencias negativas para la salud, sean sometidos por las Administraciones públicas a control por parte de éstas y a llevar a cabo actuaciones sanitarias para la mejora de los sistemas de abastecimiento de las aguas.

Actualmente derogado, el Real Decreto 1138/1990, de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público, incorporó a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva comunitaria 80/778/CEE, de 15 de julio de 1980, también derogada.

La publicación de la Directiva 98/83/CE, de 3 de noviembre de 1998, exige la incorporación de la misma al derecho interno español con la elaboración de un nuevo texto que recoja las nuevas especificaciones de carácter científico y técnico y posibiliten un marco legal más acorde, tanto con las necesidades actuales, como con los avances y progresos de los últimos años en lo que a las aguas de consumo humano se refiere, estableciendo las medidas sanitarias y de control necesarias para la protección de la salud de los consumidores. La trasposición de la Directiva 98/83/CE al derecho español está vigente actualmente y se desarrolla en el siguiente Real Decreto:

- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Dada la importancia de este tema para la salud humana, se hace necesario el establecimiento a escala nacional de criterios de calidad del agua de consumo humano.

Los criterios desarrollados en el Real Decreto 140/2003 se aplicarán a todas aquellas aguas que, independientemente de su origen y del tratamiento de potabilización que reciban, se utilicen en la industria alimentaria o se suministren a través de redes de distribución públicas o privadas, depósitos o cisternas.

Asimismo, en el mencionado Real Decreto se fijan parámetros y valores paramétricos a cumplir en el punto donde se pone el agua de consumo humano a disposición del consumidor. Estos valores se basan principalmente en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y en motivos de salud pública aplicándose, en algunos casos, el principio de precaución para asegurar un alto nivel de protección de la salud de la población.

Los programas de control de calidad del agua de consumo humano deberán adaptarse a las necesidades de cada abastecimiento y cumplir los criterios de calidad previstos.

Las sustancias utilizadas en el tratamiento de potabilización del agua y productos de construcción instalados en el abastecimiento y en las instalaciones Interiores pueden afectar a la calidad y salubridad de la misma, por ello, y sin perjuicio de lo previsto en esta norma, se regularán por normativa específica. Concretamente, en lo referido a la contaminación por ozono, la Unión Europea ha dictado la siguiente directiva:

- Directiva 2008/50/CE. Se establecen los valores de calidad para la contaminación por ozono.

Dicha directiva fue adoptada por el Estado Español en los siguientes Reales Decretos:

- Real Decreto 1494/1995. Establece los umbrales de protección para la contaminación por ozono. Este Real Decreto quedó derogado por el Real Decreto 1796/2003.
- Real Decreto 1796/2003 del 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente.

Adicionalmente, cualquier sustancia o preparado que se añada al agua de consumo humano deberá cumplir con la norma UNE-EN correspondiente para cada producto y vigente en cada momento. En el caso concreto del ozono, la norma UNE de obligado cumplimiento es la siguiente:

- Norma española UNE-EN 1278:1999 de productos químicos utilizados en el tratamiento del agua destinada a consumo humano: ozono, transposición de la Norma Europea EN 1278 de Septiembre del 1998.

Ante incumplimientos de los criterios de calidad que señala el Real Decreto 140/2003, será necesaria la investigación de la causa subyacente y garantizar que se apliquen lo antes posible las medidas correctoras y preventivas para la protección de la salud de la población abastecida. En determinadas condiciones se podrá conceder excepciones, cuando el suministro de agua en el abastecimiento no pueda mantenerse por ningún otro medio razonable y siempre y cuando no haya un riesgo potencial para la salud de la población.

Los consumidores deberán recibir información suficiente y oportuna de la calidad del agua de consumo humano, situaciones de excepción, medidas correctoras y preventivas, así como de todos aquellos aspectos que afecten al abastecimiento y que puedan implicar un riesgo para la salud de la población.

El Ministerio de Sanidad y Consumo coordina el Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo (SINAC) y elabora los informes nacionales anuales destinados a la información pública y, en cumplimiento con las obligaciones comunitarias, a la Comisión Europea.

5.- REQUISITOS DEL AGUA POTABLE

En el presente apartado se determinan las concentraciones de salida de la estación de tratamiento de agua potable basados en los parámetros de calidad establecidos por la legislación (R.D. 140/2003).

A continuación, se describen los requisitos de calidad mínimos que debe cumplir cualquier efluente acuoso para ser considerado como agua de consumo humano. El primer requisito que debe cumplir cualquier masa de agua debe estar en concordancia con la definición establecida por la legislación para ser considerada como agua de consumo humano.

Según lo dispuesto por el artículo 2 del Real Decreto 140/2003, se define agua de consumo humano todas aquellas aguas que coincidan con alguno de los siguientes criterios:

- a. Todas aquellas aguas, ya sea en su estado original, ya sea después del tratamiento, utilizadas para beber, cocinar, preparar alimentos, higiene personal y para otros usos domésticos, sea cual fuere su origen e independientemente de que se suministren al consumidor, a través de redes de distribución públicas o privadas, de cisternas, de depósitos públicos o privados.
- b. Todas aquellas aguas utilizadas en la industria alimentaria para fines de fabricación, tratamiento, conservación o comercialización de productos o sustancias destinadas al consumo humano, así como a las utilizadas en la limpieza de las superficies, objetos y materiales que puedan estar en contacto con los alimentos.
- c. Todas aquellas aguas suministradas para consumo humano como parte de una actividad comercial o pública, con independencia del volumen medio diario de agua suministrado.

El resto de parámetros de calidad necesarios para considerar el agua como potable se desarrollarán en los sucesivos apartados.

5.1. Parámetros de calidad

Según marca la legislación indicada en el presente proyecto, el agua de consumo humano debe ser salubre y limpia, por lo tanto, no puede poseer ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración que pueda suponer un riesgo para la salud humana.

Según lo descrito en el párrafo anterior, es necesario la elaboración de análisis a las muestras del agua de salida de la ETAP que corroboren en el cumplimiento de dichas concentraciones. Los parámetros objeto de análisis establecidos por la legislación se dividen en cuatro tipologías:

- Parámetros microbiológicos
- Parámetros químicos
- Parámetros indicadores
- Parámetros radiactivos

En las sucesivas tablas se indican los parámetros de las cuatro tipologías, así como las concentraciones máximas permitidas por la legislación.

La Tabla 5.1.1 Parámetros microbiológicos a la salida de la ETAP muestra los límites máximos permitidos (valores paramétricos) para los parámetros microbiológicos.

Tabla 5.1.1 Parámetros microbiológicos a la salida de la ETAP

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
Escherichia coli	0 UFC en 100 ml	
Enterococo	0 UFC en 100 ml	
Clostridium perfringens (incluidas las esporas)	0 UFC en 100 ml	1

(1) Cuando la determinación sea positiva y exista una turbidez mayor de 5 UNF a la salida de la ETAP, se llevarán a cabo los análisis de Cryptosporidium u otros microorganismos o parásitos que la autoridad sanitaria estime oportuno.

La Tabla 5.1.2 Parámetros químicos a la salida de la ETAP muestra los límites máximos establecidos por la legislación para los parámetros químicos.

Tabla 5.1.2 Parámetros químicos a la salida de la ETAP

Parámetro	Valor paramétrico	Unidad	Notas
Antimonio	5	µg/l	
Arsénico	10		
Benceno	1		
Benzo(α)pireno	0,01		
Boro	1		
Bromato	10		
Cadmio	5		
Cianuro	50		

Parámetro	Valor paramétrico	Unidad	Notas
Cobre	2		
Cromo	50		
1,2-Dicloroetano	3		
Fluoruro	1,5		
Hidrocarburos policíclicos Aromáticos(HPA)	0,1		
Suma de:			
Benzo(b)fluoranteno			
Benzo(ghi)perileno			
Benzo(k)fluoranteno			
Indeno(1,2,3-cd)pireno			
Mercurio	1		
Microcistina	1		1
Níquel	20		
Nitrato	50		2
Nitritos	0,1		2
Total de plaguicidas	0,5	3	
Plaguicida individual	0,1		
Excepto para los casos de:			
Aldrín	0,03		
Dieldrín	0,03		
Heptacloro	0,03		

Parámetro	Valor paramétrico	Unidad	Notas
Heptacloro epóxido	0,03		
Plomo	25		
Selenio	10		
Trihalometanos (THMs) Suma de:			
Bromodichlorometano	100		
Bromoformo			
Cloroformo			
Dibromoclorometano			
Tricloroeteno + Tetracloroeteno	10		

- (1) Sólo se determinará cuando exista sospecha de eutrofización en el agua de la captación, se realizará determinación de microcistina.
- (2) Se cumplirá la condición de que $[\text{nitrato}]/50 + [\text{nitrito}]/3 < 1$. Donde los corchetes significan concentraciones en mg/l para el nitrato (NO_3) y para el nitrito (NO_2).
- (3) Suma de los plaguicidas siguientes: el anexo I. 10. Plaguicida: los insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematocidas, acaricidas, alguicidas, rodenticidas, molusquicidas orgánicos, metabolitos, productos de degradación o reacción y los productos relacionados como los reguladores de crecimiento.
- (4) En los casos de que los niveles estén por encima del valor paramétrico, se determinarán: 2,4,6-triclorofenol u otros subproductos de la desinfección.

Además de los parámetros químicos indicados en la Tabla 5.1.2 Parámetros químicos a la salida de la ETAP, puede ser necesario el control de parámetros químicos adicionales según las especificaciones del producto si la Autoridad competente lo estima oportuno. En el ANEXO - ANÁLISIS DEL AGUA se muestran los valores paramétricos de los productos en cuestión.

Según lo descrito en el presente apartado, además de los parámetros microbiológicos y químicos es necesario determinar una serie de parámetros indicadores y radiactivos.

La Tabla 5.1.3 Parámetros indicadores, muestra los parámetros indicadores mínimos objeto de análisis.

Tabla 5.1.3 Parámetros indicadores

Parámetro	Valor paramétrico	Nota
Bacterias coliformes	0 UFC en 100 ml	
Recuento de colonias a 22 °C	100 UFC en 1 ml	
Aluminio	200 µg/l	
Amonio	0,50 mg/l	
Carbono orgánico total	Sin cambios anómalos en mg/l	
Cloro combinado residual	2,0 mg/l	
Cloro libre residual	1,0 mg/l	
Cloruro	250 mg/l	
Color	15 mg/l Pt/Co	
Conductividad	2500 µS/cm ⁻¹ a 20 °C	2
Hierro	200 µg/l	
Manganeso	50 µg/l	
Olor	3 a 25 °C Índice de dilución	
Oxidabilidad	5,0 mg O ₂ /l	
pH: Valor paramétrico mín. Valor paramétrico max.	6,5 Unidades de pH 9,5 Unidades de pH	1 y 2

Parámetro	Valor paramétrico	Nota
Sabor	3 a 25 °C Índice de dilución	
Sodio	200 mg/l	
Sulfato	250 mg/l	
Turbidez	1 UNF	

- (1) El agua en ningún momento podrá ser ni agresiva ni incrustante. El resultado de calcular el Índice de Langelier debería estar comprendido entre +/- 0,5.
- (2) Para la industria alimentaria, el valor mínimo podrá reducirse a 4,5 unidades de pH.

La Tabla 5.1.4 Radiactividad muestra los parámetros pertenecientes a la última tipología de parámetros descritos en el presente apartado.

Tabla 5.1.4 Radiactividad

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
Dosis indicativa total	0,10 mSv/año	1
Tritio	100 Bq/l	
Actividad α total	0,1 Bq/l	
Actividad β total	1 Bq/l	2

- (1) Excluidos el tritio, el potasio⁴⁰, el radón y los productos de desintegración del radón.
- (2) Excluidos el potasio⁴⁰ y el tritio.

5.2. Análisis del agua

Anteriormente, se han indicados los parámetros que han de analizarse con sus límites máximos para asegurar la calidad del agua vertida por la planta de tratamiento hacia la red de abastecimiento. Según lo anterior, quedan determinados los análisis necesarios a realizar en función de dichos parámetros.

En base a lo dispuesto en el Real Decreto 140/2003, debe llevarse a fin el autocontrol de la calidad de los parámetros indicados con anterioridad en la salida de planta de tratamiento. Para facilitar el autocontrol de la calidad del agua se clasifican los análisis en los siguientes tipos:

- Examen organoléptico, donde se valoran las características organolépticas del agua de consumo humano en base al olor, sabor, color y turbidez.
- Análisis de control, donde se obtiene información sobre la calidad organoléptica y microbiológica del agua de consumo humano, así como información sobre la eficacia del tratamiento de potabilización.
- Análisis completo, donde se obtiene la información para determinar si el agua de consumo humano distribuida respeta o no los valores paramétricos definidos en el apartado anterior.

En la Tabla 5.2.1 Parámetros de calidad según el tipo de análisis se muestra los parámetros de calidad que se obtienen en cada tipo de análisis.

Tabla 5.2.1 Parámetros de calidad según el tipo de análisis

Tipo de análisis	Parámetro de calidad	Notas
Examen organoléptico	Olor, sabor, color, turbidez	
Análisis de control	Olor, sabor, color, turbidez, conductividad, pH, Amonio, Escherichia Coli y bacterias coliformes, Hierro, Aluminio, recuento de colonias a 22 °C y Clostridium perfringens (incluidas las esporas)	1
Análisis completo	Todos los parámetros indicados en las tablas del apartado 5.1. Parámetros de calidad del presente proyecto	

(1) En función del método de desinfección empleado, también se analizarán los siguientes parámetros:

- Nitrito y Cloro combinado residual cuando se utilice la cloraminación.
- Cloro libre residual cuando se utilice Cloro o derivados.

La frecuencia de la toma de muestra para la realización de los tipos de análisis indicados en la Tabla 5.2.1 Parámetros de calidad según el tipo de análisis, varía en función del caudal tratado por día por la planta potabilizadora. Dado que no se disponen de datos sobre los caudales diarios, no es posible estimar una frecuencia óptima de muestreo.

6.- PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POR OZONIZACIÓN

Es necesario para el diseño de un equipo de tratamiento de agua conocer todos los parámetros y análisis necesarios indicados en el apartado 5.- REQUISITOS DEL AGUA POTABLE del presente proyecto. En nuestro caso, no es posible obtener valores reales de planta. Por tal motivo, asignaremos unos valores estándar, procurando estar dentro de las características de un proceso típico de potabilización.

El caudal a tratar, que figura en el Objeto y alcance del presente proyecto, lo tomaremos como caudal máximo diario.

6.1. Línea de tratamiento

En cada ETAP, la línea de tratamiento varía en función de las características del agua bruta que llegue a la planta. En el presente apartado se muestra el esquema básico de los procesos presentes en la estación de tratamiento de agua potable donde se va a introducir la unidad de ozonización. Asimismo, se especifica la función de cada proceso en la planta de tratamiento.

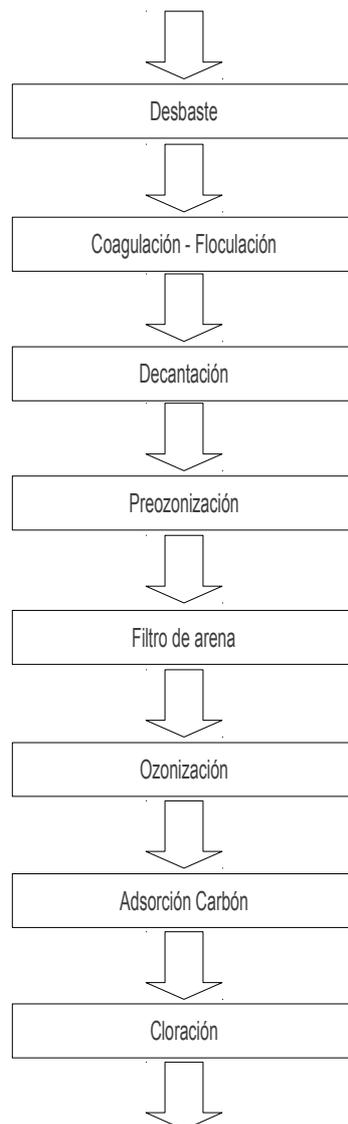
Para determinar la mejor ubicación para agregar el ozono, es necesario un estudio en planta piloto con el agua bruta que se desea oxidar. Los estudios en plantas de características similares a la diseñada en el presente proyecto recomiendan la ubicación de la unidad de ozonización entre la filtración con arena y la filtración con carbón activo granulado (CAG). Esta ubicación necesita aproximadamente la mitad de la dosis de ozono que requeriría el agua sin tratar y forma menos subproductos (por ejemplo, aldehídos). La ozonización del agua final (posterior a la absorción con carbón activo) es ligeramente más económica, pero existe la posibilidad de que el material orgánico biodegradable causara problemas de bacterias en el sistema de distribución. Al agregar el ozono al agua filtrada, también se extrae parte del material biodegradable mediante los filtros con CAG, especialmente en la temporada de agua caliente.

La ozonización no tuvo repercusiones adversas sobre el proceso de filtración con CAG. Los tiempos de operación del filtro no cambiaron significativamente así como tampoco los requisitos de remoción de partículas y retrolavado.

Todos los procesos se encuentran ya instalados en la planta a excepción de los procesos de ozonización y preozonización.

La finalidad del proceso de ozonización en el presente proyecto se fundamenta en la reducción de concentración de los microcontaminantes presentes en el agua, no siendo el fin principal la desinfección del agua. Por consiguiente, el proceso de ozonización no será la etapa última en la línea de tratamiento.

En función de las bases definitorias del proyecto y los requerimientos deseados, la línea de tratamiento que tomaremos será la siguiente:



El desbaste se realiza empleando una rejilla de gruesos, con una distancia entre barrotes de 10 cm, y una rejilla de finos, con una distancia entre barrotes de 2 cm que retienen entre sus barrotes los materiales de mayor tamaño. Este dispositivo se limpia automáticamente.

Los materiales más pequeños como hojas, hierbas, tierras que pueden atravesar las rejillas del desbaste quedan retenidas en las mallas de tamización. Las mallas de tamización se limpian de forma automática.

Para la floculación y coagulación se añaden reactivos químicos convenientemente dosificados que permiten aumentar el tamaño de partículas en suspensión y su posterior sedimentación. Los coagulantes (cloruros y sulfatos de aluminio y hierro) y los floculantes (polielectrolitos) permiten la agrupación de partículas pequeñas formando otras de mayor tamaño o “flóculos”, posibilitando de esta forma su decantación.

El proceso de decantación se realiza disminuyendo la velocidad de circulación del agua hasta permitir que la materia sedimentable se deposite de forma natural por gravedad en el fondo. Se realiza en tanques de retención o decantadores. Los fangos depositados en el fondo se eliminan mediante un sistema de vaciado.

La preozonización tiene por objeto actuar sobre las capas de agua que rodean las pequeñas partículas en suspensión y favorecer que éstas floquen en partículas de mayor tamaño, aumentando la eficacia de los filtros de arena en la etapa posterior.

La filtración con arena tiene la misión de retener mecánicamente a las partículas contenidas en el agua. Disminuyendo la materia en suspensión se disminuye la dosis requerida de ozono y se eleva el rendimiento de la etapa de ozonización. Asimismo, alarga la vida útil de los filtros de carbón activo.

La ozonización tiene una doble misión, por un lado eliminar o transformar los microcontaminantes de difícil degradación en otros más biodegradables para la etapa de carbón activo, y por otro asegurar la desinfección parcial del agua.

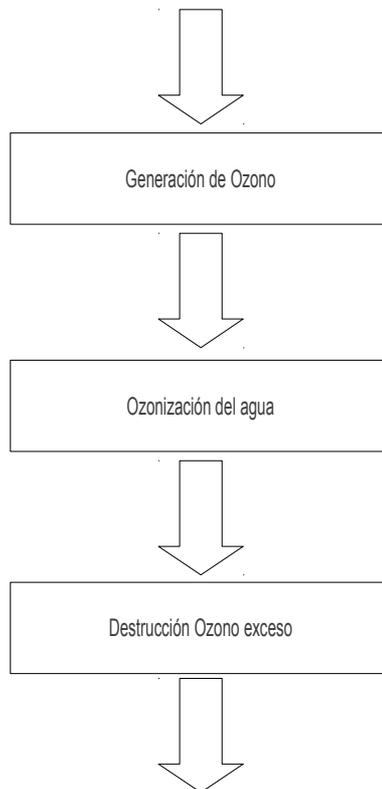
La filtración con carbón activo tiene por objeto adsorber todos los polucionantes y subproductos de la etapa de ozonización. Igualmente, el lecho de carbón activo es capaz de hacer frente a un aumento puntual de contaminación del agua.

La etapa de cloración añade la dosis de cloro necesaria al agua desinfectada para obtener un residual de cloro con el fin de evitar un posterior crecimiento bacteriano en su distribución.

7.- OZONIZACIÓN

En el apartado anterior, se muestra el diagrama de los procesos presentes en la planta de tratamiento de agua potable y el lugar seleccionado para insertar la etapa de ozonización en el esquema mencionado.

Para un correcto diseño de la etapa de ozonización, ha de llevarse a cabo el diseño de las etapas indicadas en el siguiente diagrama:



7.1. Demanda de ozono

Con objeto de diseñar la planta de ozonización de forma óptima, es preciso conocer la demanda de ozono requerida por el agua de alimentación. La demanda de ozono se define como la cantidad consumida de ozono por los agentes consumidores del mismo presentes en el agua de alimentación, incluyendo igualmente la cantidad de ozono consumida por la autodisociación del ozono en agua.

Por consiguiente, para obtener de forma precisa la demanda de ozono se experimenta con el agua a tratar a escala de laboratorio y posteriormente en planta piloto.

Dado que no se han podido realizar las pruebas antes mencionadas, la estimación de la demanda de ozono se hace en función de las plantas consultadas en la bibliografía y la experiencia de la empresa Zonosistem.

7.2. Generación de ozono

En los apartados previos del presente proyecto se ha identificado los requisitos legales que son de obligado cumplimiento, así como los criterios de calidad necesarios del agua de salida de la planta de ozonización.

El ozono puede generarse a partir de las siguientes energías: eléctrica, fotoquímica, radioquímica, electroquímica y térmica. Debido a su amplio uso en la producción industrial de ozono, el método seleccionado es el de descargas en barreras dieléctricas.

Actualmente, la energía útil para producir ozono representa un bajo porcentaje de la energía aplicada a la celda (entre 10 y 20% en condiciones óptimas). Con el propósito de mejorar la eficiencia en el reactor o celda, se han implementado diferentes tipos de descarga cuyo nombre depende de los materiales dieléctricos, configuración de los electrodos, fuente de alimentación, junto con otros factores.

El tipo de descarga más utilizado en la generación de ozono es la descarga en barrera dieléctrica DBD, la cual tiene como ventaja controlar la producción de ozono por medio de factores externos y que puede generarse a presiones altas. Se dispone desde equipos industriales para el tratamiento de aguas, que consumen varios kW operando a frecuencia de línea, hasta equipos domésticos utilizados para la desinfección que consumen decenas watts y operan a frecuencias de algunos KHz

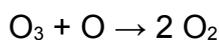
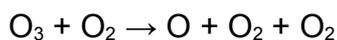
La implementación de sistemas en alta frecuencia permite un mejor control de la producción de ozono con fuentes de menor tamaño.

Según los autores consultados, la generación de ozono se lleva a cabo mediante el mecanismo descrito en el ANEXO - FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA GENERACIÓN DE OZONO. Todas las etapas de reacción indicadas en el mecanismo no poseen el mismo grado importancia en la generación de ozono. Las reacciones indicadas a continuación, son consideradas las etapas de mayor influencia en la síntesis de ozono:

Formación de ozono



Destrucción de ozono



Estas dos últimas reacciones se ven muy favorecidas con el aumento de temperatura. Por este motivo, es necesario refrigerar los generadores de ozono.

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

La cantidad de ozono producida por el generador depende de varios factores y variables. Según la bibliografía consultada, los principales factores y variables que afectan al diseño de un equipo de generación de ozono son los siguientes:

- Las características físicas del equipo.
- El suministro de energía.
- El contenido de humedad y polvo del gas de alimentación.
- La temperatura del gas de alimentación.
- La concentración de oxígeno del gas de alimentación.

A continuación se describe como influye cada uno de estos factores en la producción de ozono.

7.2.1.1. Características físicas del generador de ozono

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

$$P = 4 \cdot k \cdot f \cdot V_a \cdot [C_d \cdot (V_0 - V_a) - V_a \cdot C_d]$$

Donde:

- P =Producción de ozono
- V_a =Voltaje aplicado al hueco de descarga
- V_0 =Valor máximo o pico del voltaje aplicado
- C_d =Capacidad del dieléctrico
- C_a =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. Por lo tanto, 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 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.

7.2.1.2. Suministro de energía al generador de ozono

Debido a la utilización de energía eléctrica para alimentar al generador de ozono, se describen los sistemas eléctricos de alimentación más comunes.

Actualmente se emplean tres métodos de suministrar energía al generador de ozono. En la Tabla 7.2.1 Métodos de suministro al generador de ozono, se muestra las características de los métodos anteriormente mencionados.

Tabla 7.2.1 Métodos de suministro al generador de ozono

Frecuencia (Hz)	Características
Baja (50 a 60)	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología más antigua, los equipos comerciales se obtuvieron alrededor de los 70s. - Equipos más voluminosos pero más simples. - Bajo nivel de concentración de ozono en el rango de 0.8% a 1.5%. - Alto voltaje en el dieléctrico hasta 20kVrms.
Media (60 a 1k)	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología relativamente reciente, los equipos comerciales aparecen en los 80s. - Aproximadamente 50% más reducidos que los de baja frecuencia. - Proporciona altas concentraciones de ozono (1.2% a 2.5%)
Alta (mayor a 1k)	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología más reciente - Equipos más reducidos - Proporciona concentraciones de ozono más altas - Sistema de enfriamiento más elaborado

El esquema de los tres métodos nombrados se muestra en la página 101 perteneciente al ANEXO - GENERADOR DE OZONO. Ninguno de los tres métodos muestra ventajas importantes respecto los demás.

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 frecuencia variable, tanto la frecuencia como el voltaje deben aumentarse, el voltaje por encima del potencial de ionización (sobre 10.000 V) y la frecuencia hasta un máximo de 20.000 hertz.

Los circuitos eléctricos del sistema de control de voltaje y de frecuencia mencionados en el párrafo anterior se muestran en la página 102 perteneciente al ANEXO - GENERADOR DE OZONO.

7.2.1.3. Humedad y polvo del gas de alimentación

Según lo descrito en apartados anteriores del presente proyecto, la producción de ozono es muy sensible al estado de conservación del dieléctrico, así como al espacio de separación entre el dieléctrico y los electrodos. Por ello, controlar la humedad y la cantidad de polvo presente en el interior del reactor es de gran importancia.

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. Para prevenir estos efectos, diversos autores sugieren una temperatura mínima del punto de rocío del gas de alimentación.

De acuerdo con las temperaturas aconsejadas en la bibliografía, se puede deducir que la temperatura del punto de rocío debe ser menor de -40°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°C . Para alcanzar estos valores es necesario el tratamiento del gas de alimentación.

El gas de entrada al generador de ozono proviene de un depósito de oxígeno al 96% presente en la estación de tratamiento de agua potable. Según las indicaciones del proveedor de oxígeno, la humedad presente en el depósito así como el polvo en la entrada del generador son despreciables dado la calidad del suministro.

7.2.1.4. Refrigeración del generador de ozono

Otro de las variables que mayor influencia tienen en la producción de ozono es la temperatura del gas de alimentación.

La producción de ozono se incrementa al disminuir 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 y la temperatura del medio lo establece el ingeniero de diseño de acuerdo a la producción de ozono deseada. Sin embargo, el sistema de refrigeración del generador lo determina el fabricante.

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. Técnicamente, el proceso se lleva a cabo circulando agua por el interior de la carcasa del ozonizador, bañando la superficie exterior de las placas 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, el caudal 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.

7.2.1.5. Contenido en oxígeno y caudal del gas de alimentación

La última de las variables de diseño que afectan a la producción de ozono es la concentración de oxígeno en la corriente de alimentación así como el caudal de la misma.

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. Este aumento en la concentración de oxígeno implica un aumento del número de colisiones entre los electrones y las moléculas de oxígeno.

La concentración de ozono es aproximadamente 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.

7.3. Ozonización del agua

El objeto del proyecto consiste en el diseño de una planta de ozonización. Por consiguiente, se desarrolla de forma más extensa el proceso de ozonización, destacando las características químicas más importantes del ozono y su mecanismo de acción sobre los contaminantes presentes en el agua.

7.3.1. Características físicas y químicas del ozono

El ozono se forma en la naturaleza 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 diatómico en ozono.

El ozono es aproximadamente 12 veces más soluble en agua que el oxígeno. La solubilidad del ozono en agua depende la presión parcial y de la concentración de ozono en la fase gaseosa, por ello, el valor de la solubilidad puede variar en varias unidades del valor anteriormente mencionado.

El ozono (O_3) es un gas alotrópico del oxígeno. A temperatura y presión ambiental es un gas inestable que se descompone rápidamente para volver a convertirse en oxígeno diatómico. Como consecuencia, el ozono no se puede almacenar o envasar sino que debe generarse in situ y usarse inmediatamente.

La principal característica del ozono es su capacidad de oxidación. Debido a su elevado potencial oxidante, el ozono elimina los compuestos orgánicos difícilmente degradables mediante cloración, así como los microorganismos patógenos del agua.

7.3.2. Mecanismo físico-químicos de los procesos de ozonización en aguas

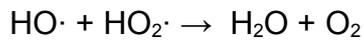
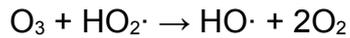
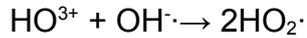
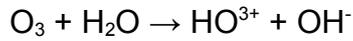
El ozono oxida los compuestos presentes en agua mediante dos vías principales de oxidación:

a) Por oxidación directa:

En este mecanismo reacciona la molécula de ozono entera, que se fija sobre los dobles o triples enlaces orgánicos. Consiste en un verdadero cracking de estas moléculas, que se descomponen rápidamente.

b) Por oxidación vía radical:

Según las condiciones del pH del agua, el ozono se descompone en agua mediante el siguiente mecanismo:



Los radicales libres que se generan, el HO_2^\cdot y el OH^\cdot , son los responsables del gran poder oxidante del ozono, siendo su acción oxidante mucho mayor a la del ozono molecular. Estos radicales libres no son selectivos y tienen suficiente capacidad oxidante como para hacer reacción con otras impurezas presentes en las soluciones acuosas.

En la figura 1 se muestra el mecanismo de reacción directa y por vía radical del ozono con los compuestos orgánicos en general.

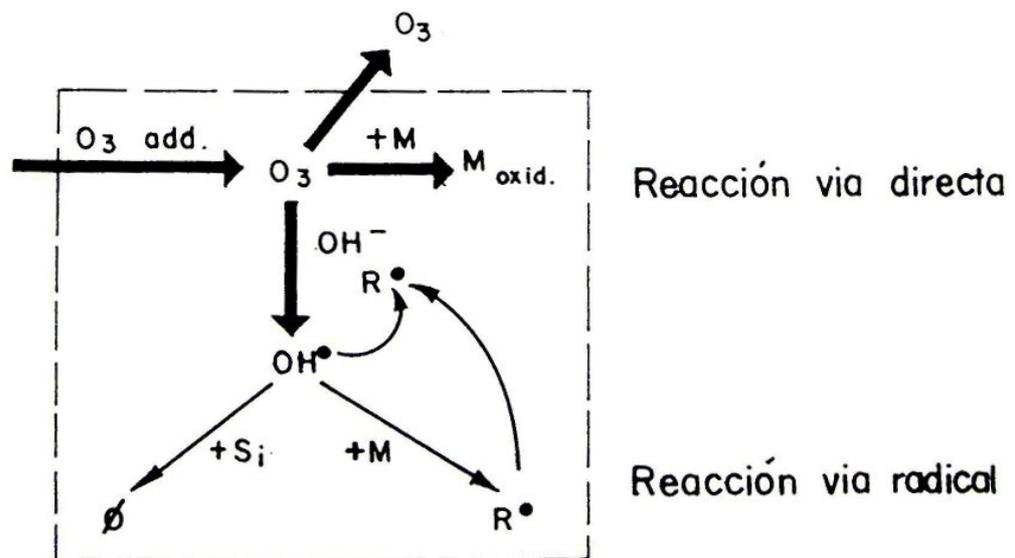


Figura 1

Las dos vías mostradas en la figura se encuentran en competencia según sean las condiciones del medio:

- pH
- Temperatura
- Concentraciones de los distintos constituyentes del agua bruta

Los mecanismos indicados anteriormente ocurren una vez se ha transferido el ozono a la fase acuosa. Por consiguiente, con objeto de transferir el ozono al agua en las concentraciones adecuadas se usan cámaras de contacto. Las cámaras de contacto comúnmente empleadas en Ingeniería Química son:

- Torre de lluvia.
- Torre de platos perforados.
- Torre de relleno.
- Torre de burbujas.

Para los niveles de concentración de ozono en agua que necesitamos, la mas adecuada es la torre de burbujas. Con este tipo de cámara y a igualdad de volumen, obtenemos un tiempo de residencia mayor para la corriente ozonizada comparada con el resto de cámaras indicadas.

Por contra, obtenemos una menor área interfacial comparado con el resto de equipos. Para compensar este desequilibrio, alimentamos el gas ozonizado a la cámara mediante inyectores tipo Venturi. Según los estudios consultados en la bibliografía (L. X. Huynh "Hydrodynamics and Mass Transfer in an upward Venturi/Bubble Column Combination", entre otros), el empleo de inyectores Venturi aumenta la eficacia de la transferencia hasta el 97%. Sin embargo, según los fabricantes contactados, valores de eficacia de transferencia cercanos al 97% son difícilmente alcanzables en situaciones reales de operación. Por consiguiente, se esperan valores de eficacia próximos al 70% para procesos de ozonización en estaciones de tratamiento de agua potable.

La torre de burbujas dispondrá en la parte superior de una cámara de aire para la recogida y evacuación del ozono en exceso.

7.4. Destrucción del ozono en exceso

El gas precedente de la cámara de ozonización puede contener cantidades de ozono que no han reaccionado. Actualmente se dispone de las siguientes alternativas:

- Recircularlo a la cámara de contacto.
- Reutilizarlo en la etapa de preozonización.
- Destruirlo.

El principal inconveniente de la recirculación consiste en la necesidad de acondicionar el gas antes de introducirlo de nuevo en el generador de ozono debido a la elevada concentración de vapor saturado que presentará la corriente. El vapor contenido en la corriente disminuye en gran medida la eficacia del generador de ozono por las causas indicadas en el apartado 7.2.1.3. Humedad y polvo del gas de alimentación del presente proyecto. Asimismo, separar el agua de la corriente eleva los costes de funcionamiento de la planta. Por consiguiente, la recirculación no es una opción adecuada.

La reutilización se plantea como una buena alternativa, aunque no es el objeto del proyecto estudiar la integración de la corriente con otras instalaciones. Además, sigue siendo necesaria la presencia de un destructor de ozono para las operaciones de mantenimiento y puesta en marcha de los equipos.

Por consiguiente, es necesario una unidad de destrucción del ozono en exceso. Si las concentraciones de ozono superan los límites establecidos por la legislación, antes de expulsar estos gases al exterior es necesario descomponer el ozono por razones de seguridad.

Los siguientes límites de exposición laboral para ozono son los aplicados en España:

- VLA-ED: 0.1 ppm El límite para una exposición regular de 8 horas por día, 5 días por semana
- VLA-EC: 0.03 ppm Exposición que debería ser limitada a 15 min.

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

- Descomposición catalítica.
- Descomposición térmica.
- Dilución.

La descomposición térmica requiere temperaturas muy elevadas para la completa eliminación del ozono. Por tanto, se elevan considerablemente los costes de explotación.

La tercera solución es poco viable debido a la gran cantidad de oxígeno o aire que tendremos que inyectar en la corriente gaseosa para alcanzar concentraciones de ozono lo suficientemente bajas.

La descomposición catalítica implica la utilización de catalizadores y por lo tanto un aumento de los costes en el inmovilizado del equipo. No obstante, aún siendo necesario aumentar la temperatura de operación, se pueden obtener temperaturas de operación cercanas a la temperatura ambiente y los precios de los catalizadores en la actualidad son asequibles. Por consiguiente, se opta por la destrucción catalítica del ozono.

8.- CARACTERÍSTICAS ANALÍTICAS DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

En el presente apartado se muestran los resultados analíticos de los parámetros físicos y químicos empleados para el diseño de la planta de ozonización. Los datos mostrados deben obtenerse mediante los análisis indicados en el apartado 5.2. Análisis del agua del presente proyecto. No es posible obtener los datos necesarios mediante experimentación. Por consiguiente, con el fin de aproximar el proyecto a la realidad, se obtendrán los datos necesarios mediante consultas bibliográficas y consultas a expertos en ozonización.

A continuación, en la Tabla 8.1 Características físico-químicas del agua de alimentación se muestran los datos seleccionados para la corriente de agua de entrada a la planta.

Tabla 8.1 Características físico-químicas del agua de alimentación

Parámetro	Valor	Unidad
pH	8	
Temperatura	20	°C
DOC	1,6	g/m ³
Alcalinidad	2,4	meq/l
Total de plaguicidas	5,01	µg/l
Plaguicida individual		
MCPA	5,00	µg/l

9.- CÁLCULOS DE PROCESO

En el presente apartado se presentan las operaciones y ecuaciones empleadas para el diseño de la unidad de ozonización. La nomenclatura empleada para todas las corrientes y compuestos presentes en los cálculos coinciden con aquellas representadas en el ANEXO - DIAGRAMA DE PROCESO

Los caudales másicos se representan por el nombre de la corriente en mayúsculas y el subíndice del compuesto presente en la corriente. Las concentraciones másicas se representan mediante el nombre de la corriente entre corchetes y el subíndice del compuesto presente en la corriente.

Tanto los caudales molares como las concentraciones molares se indican con el mismo procedimiento indicado en el párrafo anterior para las concentraciones y caudales másicos, con la diferencia que se añade "molar" en cada caso.

Los caudales volumétricos de las corrientes se representan mediante la letra "Q" y el subíndice de la corriente a la que hacen referencia. Asimismo, las fracciones molares se indican mediante el nombre de la corriente en minúsculas y el subíndice del compuesto que representan.

Las conversiones y eficacias requeridas se simbolizan mediante la letra "X" indicando el subíndice en cada caso al proceso que hacen referencia.

El objeto de los cálculos consiste en las dimensiones de los equipos presentes en la unidad de ozonización. Dichos cálculos aportan los siguientes resultados:

- Dimensiones de la cámara de contacto del ozono con el contaminante para eliminar el MCPA con una eficacia del 90%.
- Dimensiones y módulos necesarios del generador de ozono para satisfacer las necesidades de ozono requeridas por la cámara de contacto.

Para ello, será necesario seguir el siguiente orden de cálculo:

1.- Calcular las necesidades de ozono de la cámara de contacto. Los cálculos comprendidos en las necesidades de ozono son los siguientes:

- Los caudales másicos y volumétricos de ozono en las corrientes gaseosas y líquidas que están presentes en la cámara de contacto.
- La concentración residual media de ozono en la fase líquida esperada en la columna.
- El caudal volumétrico de la corriente gaseosa de ozono alimentada a la cámara de contacto.

2.- Calcular las dimensiones de la cámara de contacto. Dichos cálculos incluyen los siguientes:

- Cálculo del diámetro de la cámara de contacto a partir del tiempo hidráulico de residencia.
- Cálculo de la altura de la cámara de contacto a partir del diámetro calculado y el coeficiente de retención gaseosa esperado en la cámara.

3.- Calcular las dimensiones del generador de ozono. El generador de ozono se compone de módulos individuales para la generación de ozono. El cálculo de las dimensiones del generador consiste en obtener el número de módulos necesarios para obtener las concentraciones de ozono requeridas en las necesidades de ozono previamente calculadas.

A continuación se detalla el procedimiento de cálculo indicado.

9.1. Necesidades de ozono

Según la bibliografía consultada y en base a la experiencia de la empresa Zonosistem como fabricantes de depósitos de ozonización, se toman los siguientes datos de partida:

Tabla 9.1.1 Datos de partida

Dato	Valor	Unidad
D = Dosis aplicada de ozono	3	g de ozono/m ³ de agua
T = Temperatura de operación de la columna	293	K
P = Presión de operación de la columna	1	atm
c ₁ = Fracción molar de ozono en la corriente gaseosa C	0,085	
c ₂ = Fracción molar de oxígeno en la corriente gaseosa C	0,909	
c ₃ = Fracción molar de Nitrógeno en la corriente gaseosa C	0,006	
Pm ₁ = Peso molecular de ozono	48	g/mol
X _{t1} = Eficacia esperada transferencia de materia	0,70	(p/p)
Q _A = Caudal volumétrico del agua de alimentación de la línea A	0,020	m ³ /s
D _r = Consumo de ozono estimado hasta alcanzar la concentración	0,10	$\frac{\text{g/m}^3 \text{ demandados}}{\text{g/m}^3 \text{ aplicados}}$

Según los datos de la Tabla 9.1.1 Datos de partida, el caudal másico de ozono en la corriente C de gas inyectado a la columna es:

$$C_1 = D \cdot Q_A = 3 \cdot 0,020 = 0,060 \text{ g de O}_3/\text{s}$$

En el consumo de ozono estimado se incluye la cantidad de ozono disociado y la cantidad de ozono consumida inicialmente hasta alcanzar la concentración residual. Según lo anterior y aplicando un balance macroscópico de materia a la columna de ozonización, referido al ozono como compuesto balanceado:

$$J_1 = C_1 - K_1 - D_r \cdot D \cdot Q_A$$

$$K_1 = C_1 \cdot (1 - X_{t1}) = 0,060 \cdot 0,30 = 0,018 \text{ g/s}$$

Por consiguiente:

$$J_1 = 0,060 - 0,018 - 0,10 \cdot 3 \cdot 0,020 = 0,036 \text{ g/s}$$

9.1.1. Concentración residual de ozono

Suponiendo la concentración de ozono en agua aproximadamente constante en toda la columna, la concentración de ozono residual obtenida es :

$$[J]_{1 \text{ residual}} = \frac{J_1}{Q_A} = \frac{0,036}{0,020} = 1,8 \text{ g/m}^3$$

9.1.2. Caudal de la corriente gaseosa

Empleando los datos de la tabla anterior así como los caudales ya calculados, obtenemos el caudal molar de ozono en la corriente gaseosa:

$$C_{1 \text{ molar}} = \frac{0,060}{48} = 0,00125 \text{ mol/s}$$

Asimismo:

$$C_{\text{molar}} = \frac{0,00125}{0,085} = 0,0150 \text{ mol/s}$$

Suponiendo un comportamiento ideal de la corriente gaseosa y la aplicando la ecuación de estado de los gases ideales, obtenemos el caudal volumétrico de gas en las condiciones indicadas en la Tabla 9.1.1 de la siguiente forma:

$$Q_c = \frac{G_{\text{molar}} \cdot R \cdot T}{P} = \frac{0,0150 \cdot 0,082 \cdot 293}{1} = 0,36 \text{ L/s} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

9.2. Cámara de contacto de ozonización

Para el dimensionamiento de la cámara de contacto se considera una columna cilíndrica y se toman los siguientes datos de partida:

Tabla 9.2.1 Datos de partida

Dato	Valor	Unidad
k_4 = Constante de reacción ozono-MCPA	325	$\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
X_r = Conversión requerida de pesticida	0,90	(mol/mol)
$[A]_4$ = Concentración de pesticida en la entrada de la columna	0,01	g/m^3
ρ = Densidad del gas en las condiciones de presión y temperatura de la columna	1.408,89	g/m^3
ρ_2 = Densidad del O_2 gas en las condiciones de presión y temperatura de la columna	1.332,38	g/m^3
P_{m_1} = Peso molecular de ozono	48	g/mol

9.2.1. Diámetro de la columna

En base a lo indicado en el ANEXO - HIPÓTESIS DE CÁLCULO, la ecuación de diseño del reactor es:

$$\theta = \frac{-1}{k_4 \cdot [J]_{1\text{residual}}} \cdot \ln(1 - X_{r1}) \quad ;$$

Siendo:

θ = Tiempo de residencia de la columna de Ozonización.

Según los datos indicados en la Tabla 9.2.1 Datos de partida y los resultados obtenidos en el apartado 9.1. Necesidades de ozono, el tiempo de residencia es:

$$\theta = \frac{-1}{\frac{325 \cdot 1,8}{48 \cdot 1.000}} \cdot \ln(1 - 0,90) = 188,93 \text{ s}$$

Se toma como tiempo de residencia:

$$\theta = 190 \text{ s}$$

Por consiguiente, el volumen de reacción en fase líquida necesario es:

$$V_l = \theta \cdot Q_A = 190 \cdot 0,020 = 3,8 \text{ m}^3$$

Según Perry's Chemical Engineers' Handbook en su séptima edición, se considera columna a todo equipo que cumpla la siguiente relación de altura y diámetro:

$$\frac{h}{D} \geq 4$$

Aplicando la anterior condición a la fase líquida:

$$h_l = 4 \cdot D_c$$

Sabiendo que el volumen de la fase líquida es igual a sección de la columna por altura de líquido y sustituyendo la condición anterior, obtenemos el diámetro de la columna de la siguiente forma:

$$D_c = \sqrt[3]{\frac{V_l}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3,8}{\pi}} = 1,07 \text{ m}$$

9.2.2. Altura de la columna

Para calcular la altura de la columna, es necesario conocer la cantidad de gas retenido en la columna y la altura alcanzada por la fase líquida en la columna exenta de gas.

El factor de retención gaseoso en la columna se define de la siguiente forma:

$$\epsilon_g = \frac{\text{volúmen de gas en la columna}}{\text{volúmen de la columna}} = 1 - \epsilon_l;$$

Suponiendo un volumen cilíndrico en la columna y operando, obtenemos la expresión empleada para el cálculo de la altura de la columna:

$$h_c = \frac{h_l}{(1 - \epsilon_g)}$$

La altura alcanzada por el líquido en la columna exenta de gas se obtiene mediante la expresión obtenida en 9.2.1. Diámetro de la columna:

$$h_l = 4 \cdot D_c = 4 \cdot 1,07 = 4,28 \text{ m}$$

Según Harriot en su libro "Chemical Reactor Design", el cálculo del factor de retención de la corriente gaseosa para este tipo de columna se puede estimar mediante la siguiente ecuación empírica:

$$\epsilon_g = \epsilon_{2g} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_2} \right)^{0,2}$$

Según L. X. Huynh, C. L. Briens, J.F. Large, A. Catros, J.R. Bernard, y M.A. Bergougnou en su artículo técnico "Hydrodynamics and Mass Transfer in an upward Venturi/Bubble Column Combination", la retención del oxígeno en la columna se aproxima mediante la siguiente expresión empírica:

$$\epsilon_{2g} = 1,106 u_{ge}^{0,7} u_{le}^{0,154}$$

Siendo,

u_{ge} = Velocidad superficial del gas en la columna a columna vacía

u_{le} = Velocidad superficial del líquido en la columna a columna vacía

Calculamos las velocidades superficiales de la corriente gaseosa y la corriente líquida de la siguiente forma:

$$u_{ge} = \frac{Q_g}{A_c} = \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{\frac{\pi \cdot 1,07^2}{4}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$u_{le} = \frac{Q_l}{A_c} = \frac{0,020}{\frac{\pi \cdot 1,07^2}{4}} = 0,022 \text{ m/s}$$

Luego:

$$\epsilon_{2g} = 1,106 \cdot (4 \cdot 10^{-4})^{0,7} \cdot 0,022^{0,154} = 0,0026$$

Por consiguiente:

$$\epsilon_g = 0,0026 \cdot \left(\frac{1.408,89}{1.332,38} \right)^{0,2} = 0,0026$$

Con el resultado obtenido del factor de retención, se obtiene la siguiente altura de columna:

$$h_c = \frac{h_l}{(1 - \epsilon_g)} = \frac{4,28}{(1 - 0,0026)} = 4,29 \text{ m}$$

La altura calculada corresponde con la altura teórica de columna. Sin embargo, según la experiencia de los fabricantes consultados, es aconsejable aumentar la altura de columna con el fin de favorecer la separación de fases. El factor de aumento empleado normalmente es de 1,15. Por consiguiente:

$$h_c = 4,29 \cdot 1,15 = 4,93 \text{ m}$$

9.3. Generador de ozono

El generador de ozono seleccionado para obtener la producción de ozono a una concentración dada es un generador de placas paralelas mediante descarga en barreras dieléctricas (DBD). El equipo se compone de módulos independientes con posibilidad de apilamiento para trabajar en paralelo y obtener la capacidad de producción deseada de ozono. Las características de un módulo son las siguientes:

- Capacidad de producción: 90 g de ozono/h

- Dimensiones:
 - Largo: 21 cm
 - Alto: 23,3 cm
 - Ancho 4,8 cm

- Dieléctrico: Imprimación de $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ en los electrodos de descarga

- Espacio de separación de descarga: 0,11 mm

- Presión de operación: 0,16 MPa

- Temperatura del agua de refrigeración: 288 K

Según se indica en el apartado 9.1.Necesidades de ozono del presente proyecto, se necesita una producción de ozono con las siguientes características:

- $C_1=0,06\text{g de O}_3/\text{s}=216\text{g/h}$

- $Q_c=3,6\cdot 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$

- Temperatura y presión en condiciones normales

Por consiguiente, se necesita la siguiente concentración de ozono en la fase gas en la entrada de la columna de ozonización:

$$[C]_1 = \frac{C_1}{Q_c} = 166,7 \text{ g/m}^3$$

Para obtener la capacidad de producción de ozono indicada, serán necesarios los siguientes módulos del generador de ozono:

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos} = \frac{C_1}{90} = 2,4 \text{ módulos} = 3 \text{ módulos}$$

Son necesarios 3 módulos con las características indicadas para obtener una capacidad de producción de 216 g de ozono por hora. Por consiguiente, las dimensiones del generador son:

- Largo: 21 cm
- Alto: 23,3 cm
- Ancho: 14,4 cm

10.- CÁLCULOS HIDRÁULICOS

La planta de ozonización dispone de corrientes de entrada y salida tanto de ozono como de agua. La conducción de la corriente del agua de alimentación a la columna de ozonización viene definida en la memoria descriptiva del presente proyecto y no es objeto de cálculo.

Se calculan las pérdidas de carga en el sistema de inyección de ozono para determinar la potencia de la bomba mediante el procedimiento indicado en el ANEXO - CÁLCULOS HIDRÁULICOS del presente proyecto.

10.1. Pérdidas de carga

10.1.1. Sistema de inyección de ozono

Según las corrientes indicadas en el diagrama del ANEXO - DIAGRAMA DE PROCESO, el sistema de inyección está constituido por los siguientes elementos:

Línea F

1. Accesorios

- 1 Entrada de tubería a tope

2. Tramos de tubería

- 1 tramo de 0,5 m de longitud

Línea G

1. Accesorios

- 1 Inyector Venturi

2. Tramos de tubería

- 1 tramo de 0,5 m de longitud

Línea H

1. Accesorios

- 1 Salida de tubería redondeada
- 2 codos estándar de 90°

2. Tramos de tubería

- 3 tramo de 0,5 m de longitud
- 1 tramos de 1 m de longitud cada uno

De los resultados obtenidos de los apartados anteriores de la memoria de cálculo, se aceptan los siguientes datos de partida:

Tabla 10.1.1 Datos pérdida de carga

Dato	Valor	Unidad
P = Presión de operación de la columna	1	atm
Q _c = Caudal de gas calculado	21,6	L/min
ρ = Densidad del agua en las condiciones de presión y temperatura de la columna	1.000	Kg/m ³
μ = viscosidad dinámica absoluta	0,9	cp
g = Gravedad terrestre	9,81	m/s ²

10.1.1.1. Diámetro de tubería

El sistema de inyección descarga a una presión equivalente a la presión existente en el fondo de la columna. Aplicado la ecuación de Bernoulli desde la parte superior hasta la zona de descarga:

$$P_{\text{descarga}} = P + \rho \cdot g \cdot h_1 = 101325 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,28 = 143312 \text{ Pa} = 1,46 \text{ Kg/cm}^2$$

Según la tabla proporcionada por Mazzei e incluida en el ANEXO INJECTOR VENTURI MAZZEI, seleccionamos el inyector cuya presión de descarga sea significativamente mayor que la existente en el fondo de la columna y nos proporcione el caudal de gas mostrado en la Tabla 10.1.1 Datos pérdida de carga. Por consiguiente, se obtienen los siguientes resultados:

- Tipo de inyector Venturi: Model 1584
- Outlet pressure: 1,76 kg/cm²
- Inlet pressure: 3,52 Kg/cm²

- Caudal de gas: 32,28 L/min
- Caudal de agua: 215,9 L/min

En base al tipo de inyector seleccionado, el diámetro de tubería requerido es:

$$D_t = 1,5 \text{ in} = 0,0381 \text{ m}$$

10.1.1.2. Pérdidas de carga en los tramos de tubería

Las expresiones empleadas en los cálculos de las pérdidas de cargas se encuentran en el ANEXO PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS. Mediante la aplicación de las fórmulas indicadas en el ANEXO anterior, se obtiene:

$$Re = \frac{21,22 \cdot 215,9 \cdot 1.000}{38,1 \cdot 0,9} = 13.3607$$

Por consiguiente, para un diámetro nominal de tubería de 1 1/2 pulgada y un número de cédula de 80 se obtiene del ANEXO FACTOR DE FRICCIÓN:

$$f = 0,0225$$

El cálculo de las pérdidas por fricción se desglosan en los siguientes tramos de tubería:

1. Línea G

- 1 tramo x 0,5 m de tubería desde la salida de la bomba al inyector Venturi

2. Línea H

- 3 tramos x 0,5 m de tubería

- 1 tramo x 1 m de tubería

3. Línea F

- 1 tramo x 0,5 m de tubería

Según el procedimiento indicado en el ANEXO PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS, se obtienen las siguientes pérdidas de carga en los siguientes tramos rectos de tubería:

1. Línea G

$$h_{rG} = \frac{22.950 \cdot 0,0225 \cdot 0,5 \cdot 215,9^2}{38,1^5} = 0,150 \text{ m}$$

2. Línea H

$$h_{rH} = \frac{22.950 \cdot 0,0225 \cdot 2,5 \cdot 215,9^2}{38,1^5} = 0,750 \text{ m}$$

3. Línea F

$$h_{rF} = \frac{22.950 \cdot 0,0225 \cdot 0,5 \cdot 215,9^2}{38,1^5} = 0,150 \text{ m}$$

10.1.1.3. Pérdidas de carga en los accesorios

En la Tabla 10.1.2 Constantes accesorios, se indican los accesorios presentes en el sistema de inyección de ozono a la columna así como las constantes necesarias para calcular las pérdidas de carga de los accesorios obtenidas de la bibliografía.

Tabla 10.1.2 Constantes accesorios

Accesorio	K	Línea de corriente
Entrada de tubería a tope	0,1	F
Salida de tubería redondeada	1	H
Codo estándar de 90°	0,75	H

En base a los datos indicados en la Tabla 10.1.2 Constantes accesorios, se obtienen las pérdidas de carga indicadas mediante la siguiente expresión deducida de la fórmula de Darcy:

$$h_{fa} = 22,96 \cdot \frac{K \cdot Q^2}{d^4}$$

Por consiguiente, se obtienen los siguientes resultados:

1. Línea G

- 1 inyector Venturi

No se emplea la fórmula modificada de Darcy para calcular las pérdidas de carga producidas por el inyector Venturi. Las pérdidas de carga se obtienen mediante la aplicación de la ecuación de Bernouilli.

$$h_{fvG} = \frac{(\text{Presión a la entrada} - \text{Presión a la salida}) \cdot 10^4}{\rho} = \frac{(3,52 - 1,76) \cdot 10^4}{1.000} = 17,6 \text{ m}$$

2. Línea H

- 2 codos estándar de 90°

- 1 salida de tubería redondeada

$$h_{faH} = 2 \cdot \left(22,96 \cdot \frac{0,75 \cdot 215,9^2}{38,1^4} \right) + \left(22,96 \cdot \frac{1 \cdot 215,9^2}{38,1^4} \right) = 1,27 \text{ m}$$

3. Tramo columna-alimentación bomba

- Línea F

$$h_{faF} = 22,96 \cdot \frac{0,1 \cdot 215,9^2}{38,1^4} = 0,05 \text{ m}$$

10.1.1.4. Pérdida de carga total del sistema de inyección de ozono

La pérdida de carga total del sistema corresponde con la suma de todas las pérdidas de los accesorios y de los tramos de tuberías.

$$h_{ftotal} = 0,15 + 0,75 + 0,15 + 17,6 + 1,27 + 0,05 = 19,97 \text{ m} \approx 20 \text{ m}$$

11.- CÁLCULOS MECÁNICOS

11.1.Espesor de la columna de ozonización

El diseño mecánico de los recipientes a presión consiste en la determinación del espesor del material. El espesor mencionado, se calcula tanto para el casco cilíndrico como para las tapas de la columna. La formulación empleada para el cálculo de ambos espesores se obtiene de la Sección VIII del código ASME, donde indican las normas a seguir para el cálculo de recipientes a presión.

Los datos de partida empleados se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 11.1.1 Datos de partida

Dato	Valor	Unidad
h_c = Altura calculada de columna	16,17	ft
T = Temperatura de operación de la columna	68	°F
P = Presión de operación de la columna	15	psi
D_c = Diámetro calculado de columna	42,13	in

Toda la formulación empleada en el presente apartado está basada en el sistema anglosajón. Por consiguiente, las unidades de los datos mostrados en la tabla anterior se muestran en el sistema anglosajón.

11.1.1.Espesor del casco cilíndrico

Debido a su amplia utilización en estaciones de tratamiento de agua potable, el material seleccionado para la columna es acero inoxidable. Las características del acero inoxidable seleccionado para el casco de la columna es:

- Placa SA-240
- Grado 304L
- Composición nominal: 18 Cr - 8 Ni

En base al material seleccionado y la temperatura de operación indicada en la Tabla 11.1.1 Datos de partida, se obtiene el esfuerzo máximo admisible por el material según el ANEXO PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

- $S_a = 15700 \text{ psi}$

La tabla siguiente muestra las expresiones empleadas por el código ASME para obtener el espesor de la columna para un cilindro sometido a presión interna según la norma UG-27:

Tabla 11.1.2 Casco cilíndrico

Tipo de costura	Espesor (t)
Costura longitudinal	$t = \frac{P_d \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d}$
Costura circunferencial	$t = \frac{P_d \cdot R}{2 \cdot S \cdot E + 0,4 \cdot P_d}$

Según se indica en el código ASME, la presión de diseño, P_d , será la mayor de las obtenidas según se indica a continuación:

$$P_d = P + P_f + 30 = 15 + 6,08 + 30 = 51,08 \text{ psi}$$

$$P_d = 1,1 \cdot (P + P_f) = 1,1 \cdot (15 + 6,08) = 23,19 \text{ psi}$$

Siendo P_f la presión ejercida por el fluido en la columna y calculada según la tabla mostrada en el ANEXO PRESIÓN DE LOS FLUIDOS. CARGA ESTÁTICA:

$$P_f = h_f \cdot 0,433 = \frac{4,28}{0,3048} \cdot 0,433 = 6,08 \text{ psi}$$

Siendo h_f la altura del líquido en la columna obtenida del apartado 9.2.2. Altura de la columna del presente proyecto.

Por consiguiente, se toma como presión de diseño:

$$P_d = 15 + 6,08 + 30 = 51,08 \text{ psi}$$

Las uniones soldadas tienen las siguientes características:

- Tipo 1
- Radiografiadas totalmente

Según el tipo de uniones soldadas y lo indicado en el ANEXO TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS se toma la siguiente eficacia de la junta como:

$$E = 1$$

Conforme a la Tabla 11.1.1 Datos de partida, el diámetro calculado es:

$$D = 42,13 \text{ in}$$

El diámetro anterior coincide con el diámetro interno del casco cilíndrico así como con el diámetro interno de las cabezas. Según el ANEXO DIMENSIONES DE LAS CABEZAS del presente proyecto, no existe un diámetro nominal coincidente con el diámetro calculado. Por consiguiente, se toma como diámetro de la columna el diámetro inmediatamente superior:

$$D = 48 \text{ in}$$

Luego;

$$R = \frac{48}{2} = 24 \text{ in}$$

En base a las expresiones indicadas en la Tabla 11.1.2 Casco cilíndrico, se obtienen los siguiente espesores:

- Costura longitudinal

$$t = \frac{51,08 \cdot 24}{15.700 \cdot 1 - 0,6 \cdot 51,08} = 0,08 \text{ in}$$

- Costura circunferencial

$$t = \frac{51,08 \cdot 24}{2 \cdot 15.700 \cdot 1 + 0,4 \cdot 51,08} = 0,04 \text{ in}$$

El ANEXO ESPESORES MÍNIMOS DE PARED DEL RECIPIENTE, resume las reglas de las normas del código ASME en relación a los espesores de pared del recipiente. Del ANEXO mencionado se obtienen los siguiente requisitos:

- Espesor mínimo de pared no menor de 3/32 in
- Margen por corrosión no menor de 1/6

Por consiguiente, el espesor mínimo requerido para el casco cilíndrico es:

$$t = 0,08 + \frac{1}{6} = 0,25 \text{ in}$$

La tabla del ANEXO ESPESORES MÍNIMOS DE PARED DEL RECIPIENTE muestra los espesores nominales normalmente empleados en placas de acero para construcción de depósitos. Por consiguiente, el espesor nominal del casco cilíndrico es:

$$t_n = 0,3125 \text{ in} = \frac{5}{16} \text{ in}$$

El espesor nominal empleado es ampliamente superior al mínimo requerido.

La idoneidad de las expresiones empleadas quedan demostradas en el ANEXO DEMOSTRACIÓN CONDICIONES ESPESOR CASCO CILÍNDRICO.

11.1.2. Espesor de las tapas

El material seleccionado para las tapas de la columna es el mismo empleado para el casco cilíndrico. Por consiguiente, del apartado 11.1.1. Espesor del casco cilíndrico, se conocen los siguientes datos de las tapas:

Tabla 11.1.3 Datos de las tapas

Dato	Valor	Unidad
S	15.700	psi
E	1	
Margen por corrosión	1/6	in
P _d	51,08	psi
R _n	24	in

Debido a su amplia utilización en el diseño de depósitos, se seleccionan tapas hemisféricas para cerrar la columna arriba y abajo. La tabla siguiente muestra las expresiones empleadas por el código ASME para el cálculo del espesor de las tapas.

Tabla 11.1.4 Tapas

Tipo de tapa	Espesor (t)
Hemisférica	$t_t = \frac{P_d \cdot R}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_d}$

Según lo indicado en la Tabla 11.1.4 Tapas, el espesor de cálculo para las tapas es el indicado a continuación:

$$t_t = \frac{51,08 \cdot 24}{2 \cdot 15.700 \cdot 1 - 0,2 \cdot 51,08} = 0,04 \text{ in}$$

Aplicando el margen por corrosión admisible, obtenemos:

$$t_t = 0,04 + \frac{1}{6} = 0,21 \text{ in}$$

Según lo indicado en el ANEXO DIMENSIONES DE LAS CABEZAS del presente proyecto, el espesor nominal seleccionado es:

$$t_{tn} = 0,375 \text{ in} = \frac{3}{8} \text{ in}$$

La idoneidad de las expresiones empleadas quedan demostradas en el ANEXO DEMOSTRACIÓN CONDICIONES ESPESOR CABEZAS HEMIESFÉRICAS.

11.2. Potencia de la bomba del sistema de inyección

Conforme a los resultados obtenidos en el apartado 10.1. Pérdidas de carga, se toman los datos de partida indicados en la tabla a continuación.

Tabla 11.2.1 Potencia bomba

Dato	Valor	Unidad
h_{ft1}	0,15	m
h_{ft2}	0,75	m
h_{ft3}	0,15	m
h_{fv}	17,6	m
h_{fa2}	1,27	m
h_{fa3}	0,05	m
ρ	1.000	Kg/m ³
Q	12,95	m ³ /h

En base a la bibliografía consultada y resumida en el ANEXO POTENCIA DE LA BOMBA del presente proyecto, se obtiene la potencia de la bomba necesaria para impulsar el fluido mediante la siguiente expresión:

$$kW = \frac{H \cdot Q \cdot \rho}{3,670 \cdot 10^5}$$

Con objeto de calcular la potencia de la bomba, se calcula la carga dinámica total, así como las cargas estáticas y de fricción correspondientes.

$$h_{ss} = 1,46 \frac{kg}{cm^2} \cdot 9,81 = 14,6 \text{ m}$$

$$h_{fs} = h_{f3} + h_{fa3} = 0,5 + 0,15 = 0,20 \text{ m}$$

$$h_s = h_{ss} - h_{fs} = 14,6 - 0,2 = 14,4 \text{ m}$$

$$h_{sd} = 3,52 \cdot 9,81 \text{ m} + 0,5 \text{ m} = 35,7 \text{ m}$$

$$h_{fd} = h_{ft2} = 0,15 \text{ m}$$

$$h_d = h_{sd} + h_{fd} = 35,85 \text{ m}$$

Así pues, la carga dinámica total suministrada por la bomba se calcula a continuación.

$$H = h_d - h_s = 35,85 - 14,4 = 21,45 \text{ m} = 210,42 \frac{N \cdot m}{Kg}$$

Por consiguiente, la potencia de la bomba requerida se muestra en el resultado a continuación.

$$\text{kW}_{\text{bomba}} = \frac{210,42 \cdot 12,95 \cdot 1.000}{3,670 \cdot 10^5} = 7,42 \text{ kW}$$

Se calcula también la altura neta de succión positiva disponible (NPSH_d) del sistema para facilitar la selección de la bomba. La presión de vapor del agua (P_v) a 20 °C se obtiene de la tabla presente en el ANEXO PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA.

$$\text{NPSH}_d = h_{ss} - h_{fs} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} = 14,4 - \frac{17,535 \cdot 101.325}{760 \cdot 1.000 \cdot 9,81} = 14,4 - 0,24 = 14,16 \text{ m}$$

11.3. Potencia del generador de ozono

Según lo indicado en el apartado 9.3. Generador de ozono del presente proyecto, se necesita una corriente de alimentación a la columna de ozono con las siguientes características:

- $C_{1ge} = \frac{G_{1e}}{Q_g} = 166,7 \text{ g/m}^3$
- $G_{1e} = 0,06 \text{ g de O}_3/\text{s} = 216 \text{ g/h}$

Para obtener una producción de ozono de 216 g/h son necesarios 3 módulos del ozonizador.

El ANEXO CURVA DE RENDIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE OZONO muestra la evolución del consumo de energía por módulo de ozonizador en función de la concentración deseada de ozono a la salida del mismo. Por tanto, se obtiene el siguiente consumo de energía por módulo:

Consumo por módulo = $7 \text{ kWh/kg} \cdot 90 \cdot 10^{-3} \text{ kg/h} = 0,63 \text{ kW/módulo}$

Asimismo,

$\text{kW}_{\text{generador}} = 0,63 \text{ kW/módulo} \cdot 3 \text{ módulos} = 1,89 \text{ kW}$

12.- DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

En el presente apartado se describen los equipos instalados en la planta de ozonización así como las instalaciones auxiliares ya presentes en la estación de tratamiento de agua potable. La instalación se ha diseñado con el objetivo de reducir la cantidad de microcontaminantes presentes en el agua de alimentación. Por consiguiente los equipos deben cumplir las condiciones de diseño obtenidas en los resultados de la memoria de cálculo.

12.1. Instalaciones auxiliares

Las instalaciones auxiliares no son objeto de diseño del presente proyecto pero son necesarias para el correcto funcionamiento de la planta de ozonización. Las instalaciones auxiliares presentes en la ETAP se describen a continuación.

12.1.1. Depósito criogénico de oxígeno

12.1.1.1. Descripción

El conjunto recipiente criogénico está formado por las siguientes partes principales:

- Recipiente interior

Sometido a presión interior, donde se aloja el fluido criogénico en estado líquido. Es de forma cilíndrica (virola) y va cerrado por los fondos bombeados.

Su construcción es totalmente de acero inoxidable, con materiales resilientes y austeníticos, apropiados para las bajas temperaturas de funcionamiento.

- Recipiente exterior o envolvente calorífuga.

Sometido a presión exterior (vacío en cámara). Es un recipiente concéntrico al anterior, que le envuelve exteriormente, formando una cámara totalmente estanca, que contiene un aislante térmico y un vacío de aproximadamente 10^{-2} torr, constituyendo el conjunto un calorifugado altamente eficaz, que impide al máximo las entradas de calor.

Está construido totalmente en acero al carbono y la forma es cilíndrica con fondos bombeados.

- Cuadro.

Determinado por el conjunto de tuberías, válvulas y accesorios que componen el aparato para su normal funcionamiento y control, todo ello situado en el lugar apropiado para su uso y control.

12.1.1.2. Clasificación del depósito

Según el punto 5.2.1. de la ITC-MIE-AP.10 se clasifica como depósito criogénico de clase B (desde 5.001 a 20.000 litros)

12.1.1.3. Volumen

Se define el volumen útil como el máximo contenido de fluido en estado líquido. El volumen geométrico, como el propio que tiene el recipiente. Fase gaseosa (FG) como la diferencia entre ambos volúmenes expresada en tanto por ciento del volumen útil, siendo:

- Volumen útil: 5.268 L
- Volumen geométrico: 5.547 L
- FG: 5.02 %

12.1.1.4. Presión de servicio máxima

Definida como la presión máxima efectiva, permitida en la parte superior del recipiente terminado, en posición de marcha a la temperatura de servicio, indicada por el manómetro colocado en la fase gaseosa (FG).

La presión de servicio máxima prevista (presión de timbre) es de 22 Kg/cm² marcada en la placa marcada en la placa de conformidad del depósito.

12.1.1.5. Temperaturas de servicio

En función de la presión en Kg/cm² absolutos, se indican las variaciones de temperatura del fluido criogénico, en estado líquido, en equilibrio con su presión de vapor, expresadas en grados centígrados, siendo como se indica en el siguiente cuadro:

PRESIÓN	T_{o₂}
5	-57
10	-40
15	-28
20	-20

12.1.1.6. Constructor

CRYOLOR con talleres en ARGANCY Z.I. DES JONQUIERES B.P.7
57365 ENNERY FRANCIA.
ISO 9001 N° 71 100 A 085
TÜV CERT

12.1.1.7. Marca

CRYOLOR

12.1.2. Gasificador

12.1.2.1. Descripción

Son aparatos fijos, denominados corrientemente “Gasificadores atmosféricos” que intercambiando calor con el ambiente permiten la gasificación del fluido en estado criogénico.

Están formados por un conjunto de tubos y codos, unidos entre sí, formando un serpentín, con los tubos en posición vertical y, unidos por los correspondientes soportes.

12.1.2.2. Materiales

Totalmente en aluminio. Se suprimen los tubos y codos de cobre, haciendo pasar el fluido directamente por el interior del perfil de aluminio.

12.1.2.3. Características

- Presión de servicio máxima

La presión máxima es de 40 Kg/cm²

- Temperatura de servicio

Dado que la misión de estos aparatos es gasificar fluidos criogénicos, la gama de trabajo, corresponde entre el valor más bajo -196 °C para el nitrógeno líquido, y el más alto, la temperatura de ambiente.

- Elementos de seguridad.

El elemento es una canalización abierta sin elementos de seguridad, pero durante su funcionamiento, dispone de todos los elementos de seguridad del recipiente de almacenamiento, descritos anteriormente. Por tanto podemos señalar que el conjunto dispone de válvulas de seguridad y disco de rotura.

12.1.2.4. Constructor

CRYOLOR con talleres en ARGANCY Z.I. DES JONQUIERES B.P.7

57365 ENNERY FRANCIA.

ISO 9001 N° 71 100 A 085

TÜV CERT

12.1.2.5. Vendedor

AL AIR LIQUIDE ESPAÑA, S.A., es la “propietaria” legal del depósito, la cual cede e instala en terrenos del cliente, ligando a ambos un contrato para suministro de gas y siendo por cuenta de AL AIR LIQUIDE, S.A., como tal propietaria, el montaje, entretenimiento y suministro de gas, no existiendo, por tanto, “vendedor”.

12.2. Descripción de la unidad de Ozonización

La unidad de ozonización se sitúa en el esquema de la ETAP como etapa intermedia entre la fase de filtración en lechos de arena y la fase de adsorción mediante carbón activo.

La planta de tratamiento de agua tiene una capacidad de tratamiento máximo de 1728 m³/día en operando en flujo continuo, obteniendo así un consumo estimado de agua por habitante de 172,8 l/hab-día.

Su capacidad de producción de ozono es de 5,2 Kg/día en condiciones normales, con una eficacia en la reducción de la concentración del pesticida del 90 %. El consumo energético para la conversión requerida se estima como máximo en 9,3 KWh.

Cumpliendo todos los requisitos anteriores, se está en conformidad con la legislación vigente.

Los valores que debe cumplir el efluente de la planta para su uso, y respecto al parámetro que se requiere eliminación, son los establecidos en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se aprueban los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. En dicho R.D. se establece que las máximas concentraciones de pesticidas en agua deben ser:

- Total de plaguicidas: 0,5 µg/L

- Plaguicida individual: 0,1 µg/L

Para su correcto funcionamiento, la planta se compone de los cuatro equipos descritos a continuación.

12.2.1. Generador de ozono

12.2.1.1. Descripción

El generador de ozono es del tipo de descargas en barreras dieléctricas (DBD) de placas paralelas. El generador de ozono es modular y está constituido de 3 módulos modelo BGQ-C4.1-90 g/h con una capacidad de producción estimada de 90 g O₃/h por módulo.

La entrada y salida del gas, el terminal de descarga, los electrodos de tierra, así como la entrada y salida del agua de refrigeración se sitúan en los lados de los módulos para así facilitar su apilamiento.

El electrodo de descarga es una delgada pieza de metal y el agua de refrigeración pasa a través de los electrodos de tierra. Dichos electrodos están separados del dieléctrico una distancia de 0,11 mm.

12.2.1.2. Materiales

El material dieléctrico está compuesto por una base de Al₂O₃.

12.2.1.3. Características

- Temperatura de operación aproximada: 301 K
- Presión aproximada de servicio: 0,16 Mpa
- Concentración máxima de ozono: 308 g/Nm³

12.2.1.4. Constructor

Asp Asepsia generadores de ozono

12.2.1.5. Vendedor

Asp Asepsia generadores de ozono

12.2.2. Sistema de inyección de ozono

12.2.2.1. Descripción

El sistema de inyección de ozono por Venturi compuesto por un inyector Venturi modelo Mazzei 1584 y una bomba de recirculación modelo Bombas Ideal GNI 40-26 1450.

El inyector Mazzei está constituido por una entrada y salida de agua de 1,5 pulgadas tipo MNPT. El puerto de succión de gas es de 1/2 pulgada MNPT de paso compuesto por una válvula de retención con bola de teflón, asiento tipo KEL-F y resorte tipo HASTELLOY-C.

La bomba Ideal GNI 40-26 1450 es un grupo monobloc, formado por la bomba normalizada EN 733/DIN 24255 acoplada a un motor estándar. Esta gama cubre el campo hidráulico de aplicación dado en la norma con las ventajas propias de su construcción compacta, fácil instalación, perfecta alineación bomba-motor, reducidas dimensiones, etc.

El motor eléctrico es de tipo asíncrono con rotor en jaula de ardilla, IP 55, y aislamiento clase F. Para funcionamiento continuo S1 a la potencia nominal, máxima temperatura ambiente 40°C.

12.2.2.2. Materiales

El inyector Mazzei 1584 está construido en su totalidad en PVDF (KYNAR)

La bomba Ideal GNI 40-26 1450 compuesta por cuerpo de bomba, rodete, aros cierre, tapa cuerpo, y tapa soporte en hierro fundido. Eje de bomba en acero inoxidable 13 % Cr.

12.2.2.3. Características

El inyector Mazzei 1584 se define con las siguientes características:

- Temperatura máxima permitida: 93,3 °C
- Presión máxima permitida a 20 °C: 10,3 BAR

La bomba Ideal GNI 40-26 se define con las siguientes características:

- Temperatura máxima de trabajo: 100 °C
- Potencia: 3 KW

- Carga máxima: 24,7 m
- Capacidad máxima: 27 m³/h

12.2.2.4. Constructor

Mazzei Injector Company, LLC
500 Rooster Drive, Bakersfield, CA 93307
Tel: 661.363.6500 Fax: 661.363.7500

BOMBAS IDEAL, S.A.
POL. IND. MEDITERRANEO. C/CID, 8
Tels.: 34 96 140 21 43 - FAX: 34 96 140 21 31
MASSALFASSAR - VALENCIA (SPAIN)
e-mail: central@bombas-ideal.com
<http://www.bombas-ideal.com>

12.2.2.5. Vendedor

Mazzei Injector Company, LLC
500 Rooster Drive, Bakersfield, CA 93307
Tel: 661.363.6500 Fax: 661.363.7500

BOMBAS IDEAL, S.A.
POL. IND. MEDITERRANEO. C/CID, 8
Tels.: 34 96 140 21 43 - FAX: 34 96 140 21 31
MASSALFASSAR - VALENCIA (SPAIN)
e-mail: central@bombas-ideal.com
<http://www.bombas-ideal.com>

12.2.3. Columna de Ozonización

12.2.3.1. Descripción

La columna de Ozonización se fabrica a medida por TAMESUR S.A. y está compuesta por un cuerpo cilíndrico y dos cabezas hemisféricas. La columna se sitúa de forma vertical mediante un soporte fabricado por la misma empresa. Dispone de una conexión para la entrada del agua bruta en la parte inferior de 3 pulgadas nominales y otra de las mismas dimensiones en la zona superior para la distribución del agua tratada. Asimismo, dispone de las conexiones del sistema de inyección de ozono y la conexión para la evacuación del ozono no disuelto en la cabeza de la columna.

Se disponen los sistemas de seguridad y mantenimiento según las recomendaciones del fabricante: Bocas de hombre, discos de rotura, ...

12.2.3.2. Materiales

Toda la columna y sus accesorios están fabricados en acero inoxidable y debe cumplir las siguientes características mínimas:

- Placa SA-240
- Grado 304L
- Composición nominal: 18 Cr - 8 Ni

12.2.3.3. Características

- Diámetro interno: 48 pulgadas nominales
- Altura: 5 m
- Espesor mínimo del casco cilíndrico: 5/16 pulgadas
- Espesor mínimo de las cabezas: 3/8 pulgadas
- Temperatura máxima permitida: Se seguirán las recomendaciones del fabricante.
- Presión máxima permitida: Se seguirán las recomendaciones del fabricante.
- Tiempo hidráulico de residencia mínimo: 190 segundos

12.2.3.4. Constructor

Titular: Tamesur SA

Dirección: Pol. Industrial San Pancracio, Parc. 37 y 38
14500 Puente Genil (Córdoba).

Contacto: tamesur@tamesur.es

TFNO 957 60 60 60

FAX 957 60 46 35

12.2.3.5. Vendedor

Titular: Tamesur SA

Dirección: Pol. Industrial San Pancracio, Parc. 37 y 38
14500 Puente Genil (Córdoba).

Contacto: tamesur@tamesur.es

TFNO 957 60 60 60

FAX 957 60 46 35

12.2.4. Destructor termocatalítico de ozono

12.2.4.1. Descripción

Los destructores de ozono de la serie Innovatech KVM1 250-2 se caracterizan por una larga vida útil de más de varios miles de horas de servicio. La vida útil depende de las condiciones de gas, por ejemplo, las partículas abrasivas, una humedad alta y venenos catalizadores como CW, entre otros, reducirán la vida útil del aparato.

El destructor se dispone de forma vertical y atornillado a la pared para evitar la acumulación de agua y una alta humedad.

El ozono no disuelto se conduce a través de una tubería de 1 1/2 pulgadas de paso hacia la entrada del destructor. La destrucción del ozono se hace de forma continua y vierte a la atmósfera a través una tubería de 1 1/2 pulgadas de paso.

12.2.4.2. Materiales

El catalizador está compuesto de una mezcla de acero inoxidable activado en un sustrato de óxido metálico. El plástico de la carcasa está hecho de acero inoxidable pasivado por titanio (Número de plástico: 1.4571).

12.2.4.3. Características

- Potencia destructiva: 16.000 NI/h
- Capacidad del gas de trabajo: 250 g O₃/h

12.2.4.4. Constructor

INNOVATEC // Gerätetechnik GmbH
von-Liebig-Str. 6
D-53359 Rheinbach
Tel: ++49 /(0)2226 / 15818-0
Fax: ++49 /(0)2226 / 15818-25
e-mail: info@innovatec-rheinbach.de
home-page: innovatec-rheinbach.de

12.2.4.5. Vendedor

INNOVATEC // Gerätetechnik GmbH

von-Liebig-Str. 6

D-53359 Rheinbach

Tel: ++49 /(0)2226 / 15818-0

Fax: ++49 /(0)2226 / 15818-25

e-mail: info@innovatec-rheinbach.de

home-page: innovatec-rheinbach.de

12.2.5. Funcionamiento de la unidad de ozonización

El agua bruta procedente de los filtros de arena se introduce a la planta de ozonización mediante una tubería de 3 pulgadas de diámetro conectada en la zona inferior de la columna de ozonización. En la columna se lleva a cabo la oxidación de los microcontaminantes y la desinfección del agua mediante el ozono disuelto en el sistema de inyección acoplado a la columna. El agua descontaminada se obtiene por la cola de la zona superior de la columna y se bombea a los filtros de carbón activo a través de una tubería de 3 pulgadas de diámetro.

El sistema de inyección es utilizado para disolver el ozono de la fase gaseosa al agua y está compuesto por un inyector Venturi y una bomba de recirculación. La bomba de recirculación succiona el fluido de la parte inferior de la columna a través de una tubería de 1 1/2 pulgadas de diámetro fabricada en acero inoxidable y lo introduce en el sistema de inyección. En la tubería de descarga de la bomba se sitúa el inyector Venturi, el cual mediante diferencia de presión succiona el ozono a través de una tubería de 1/2 pulgada de diámetro situada en la garganta del inyector.

En el inyector Venturi y en la tubería de retorno del sistema de inyección a la cámara de contacto se produce la mayor parte de la transferencia del ozono al agua. El agua, junto con el ozono se devuelve de nuevo a la zona inferior de la cámara de contacto, donde se alcanza el tiempo de reacción necesario para la eliminación de los pesticidas presentes en el agua bruta.

El ozono utilizado en la unidad se genera a partir de un generador de ozono de descargas en barreras dieléctricas (DBD) de placas paralelas. El generador de ozono se alimenta mediante el depósito de oxígeno presente en la ETAP y descrito en el apartado 12.1.1. Depósito criogénico de oxígeno del presente proyecto. El ozono generado se conduce a través de una tubería de 1/2 pulgada de diámetro al sistema de inyección acoplado en la cámara de contacto. Asimismo, se dispone de un bypass a la cámara de contacto a través del cual se conduce el ozono generado al destructor de ozono situado en la planta en caso de avería.

El gas no disuelto en la columna de contacto sale por la cabeza de la columna y se conduce a destructor de ozono presente en la unidad. La energía usada para crear ozono se libera con el destructor catalítico de ozono, de manera que se trata de una reacción exotérmica catalítica. El ozono (O_3 como agente metaestable) penetra en el destructor de ozono, y bajo los efectos del calor se desintegra en oxígeno y sale como tal de aparato.

El catalizador que se inicia en frío, se ha elegido de tal manera, que se consiga una menor presión dinámica a una reducida velocidad espacial. La resistencia térmica es de más de $200^{\circ}C$ y los materiales usados reaccionan a una alta afinidad oxidatoria del gas de trabajo en gran medida inerte.

13.- BIBLIOGRAFÍA

- Nicholas P. Cheremisinoff, Ph.D. N&P Limited, "Handbook waste and wastewater technology", Butterworth-Heinemann, 2002
- Preparado por la división de ingeniería de Crane, "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías", McGraw-Hill
- Rip C. Rice, Aharon Netzer, "Handbook of Ozone technology and applications", volume one, Ann Arbor Science
- Prepared by a staff of specialists under the editorial direction of late editor Robert H.Perry, "Perry's chemical engineers' handbook", 7th ed., McGraw-Hill 1999
- Eugene F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión Diseño y cálculo", Séptima edición, Editorial Limusa de Grupo Noriega Editores, 1992
- "ASME Section VIII Div.1", Edición 2001
- Fernando J. Beltrán, "Ozone reaction kinetics for water and wastewater system", CRC Press LLC, 2004
- Octave Levenspiel, "Ingeniería de las reacciones químicas", Tercera edición, Limusa Wiley, 2004
- Subrata Kumar Majumder, Gautam Kundu, Dibyendu Mukherjee, "Bubble size distribution and gas-liquid interfacial area in a modified downflow bubble column", Chemical Engineering Journal 122 (2006) 1-10
- C. Sanchez, A. Couvert, A. Laplanche , C. Renner, "Hydrodynamic and mass transfer in a new co-current two-phase flow gas-liquid contactor", Chemical Engineering Journal 131 (2007) 49-58

- Andrzej K. Bin, "Ozone Solubility in Liquids", *Ozone: Science and Engineering*, 28: 67-75, 2006
- Kerwin L. Rakness, "Ozone Side-Stream Design Options and Operating Considerations", *Ozone: Science and Engineering*, 29: 231–244, 2007
- Zhitao Zhang, Xiyao Bai, Mindong Bai, Bo Yang, and Xiaojian Zhou, "An Ozone Generator of Miniaturization and Modularization with the Narrow Discharge Gap", *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 23, No. 3, September 2003
- Jaime Fernández Elizalde, "Caracterización eléctrica de una célula generadora de ozono de tipo placas paralelas", Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico, Febrero 2005
- L. X. Huynh, C. L. Briens, J.F. Large, A. Catros, J.R. Bernard, y M.A. Bergougnou, "Hydrodynamics and Mass Transfer in an upward Venturi/Bubble Column Combination", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, volume 69, June, 1991
- Peter Harriot, "Chemical Reactor Design", Taylor & Francis Group LLC, 2003
- María José Quero Pastor, Proyecto de tesis "Eliminación de fármacos de aguas superficiales destinadas al consumo humano mediante ozonización", Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de los Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Cádiz, 2011
- Keisuke Ikehata and Mohamed Gamal El-Din, "Aqueous Pesticide Degradation by Ozonation and Ozone-Based Advanced Oxidation Processes: A Review (Part I y II)", *Ozone: Science and Engineering*, 27: 83–114, 2005

BIBLIOGRAFÍA ONLINE

- <http://www.epa.gov>
- <http://www.matche.com>
- <http://www.mazzei.net/>
- <http://www.lenntech.es>
- <http://www.zonosistem.com>

ANEXOS

ANEXO - CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE

RESUMEN SEMANAL DEL ESTADO DE LOS EMBALSES

DATOS DEL EMBALSE

CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE	
Río	PIEDRAS
Tipo de Pantano	Materiales sueltos P hormigón
Año de construcción	1968
Superficie	796 ha
Agua embalsada (12-10-2010)	30 hm ³

ANEXO - ANÁLISIS DEL AGUA

PARÁMETOS QUÍMICOS QUE SE CONTROLAN SEGÚN LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Los valores paramétricos mostrados en la tabla anexa, corresponden a la concentración manométrica residual en el agua, calculada con arreglo a las características de la migración máxima del polímero correspondiente en contacto con el agua.

La empresa que comercialice estos productos presentará a los gestores del abastecimiento y a los instaladores de las instalaciones interiores la documentación que acredite la migración máxima del producto comercial en contacto con el agua de consumo utilizado según las especificaciones de uso del fabricante.

Parámetro	Valor paramétrico
Acrilamida	0,10 µg/l
Epoxiclohidrina	0,10 µg/l
Cloruro de Vinilo	0,50 µg/l

ANEXO - CATEGORÍAS DE AGUAS SUPERFICIALES

AGUAS SUPERFICIALES SUSCEPTIBLES DE SER DESTINADAS AL CONSUMO HUMANO

En la siguiente tabla se indican los parámetros de calidad que identifican el tipo de agua superficial que puede ser utilizada para su potabilización.

Tabla Tipos de aguas superficiales

Parámetro	Unidad	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3
pH		6,5 - 8,5	5,5 - 9	5,5 - 9
Color	Escala Pt	20	100	200
Sólidos en Suspensión	mg/l	25	-	-
Temperatura	°C	25	25	25
Conductividad (a 20°C)	µS/cm	1000	1000	1000
Nitratos	mg/l	50	50	50
Fluoruros	mg/l	1,5	0,7/1,7	0,7/1,7
Hierro disuelto	mg/l	0,3	2	1
Cobre	mg/l	0,05	0,05	1
Boro	mg/l	1	1	1
Arsénico	mg/l	0,05	0,05	0,05
Cadmio	mg/l	0,005	0,005	0,005
Cromo total	mg/l	0,05	0,05	0,05
Plomo	mg/l	0,05	0,05	0,05

Selenio	mg/l	0,01	0,01	0,01
Mercurio	mg/l	0,001	0,001	0,001
Bario	mg/l	0,1	0,1	0,1
Cianuros	mg/l	0,05	0,05	0,05
Sulfatos	mg/l	250	250	250
Cloruros	mg/l	200	200	200
Detergentes	mg/ (laurilsulfato)	0,2	0,2	0,5
Fosfatos	mg/l	0,4	0,7	0,7
Fenoles	mg/l	0,001	0,005	0,1
Hidrocarburos disueltos o emulsionados (tras la extracción en éter de petróleo)	mg/l	0,05	0,2	1
Carburos aromáticos policíclicos	mg/l	0,0002	0,0002	0,001
Plaguicidas totales	mg/l	0,001	0,0025	0,005
DQO	mg/l	-	-	30
oxígeno disuelto	% saturación	70	50	30
DBO ₅	mg/l	3	5	7

Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	1	2	3
Amoníaco	mg/l	0,05	1,5	4
Sustancias extraíbles con cloroformo	mg/l	0,01	0,2	0,5
Coliformes totales 37°C	100 ml	50	5000	50000
Coliformes fecales	100 ml	20	2000	20000
Estreptococos fecales	100 ml	20	1000	10000
Salmonellas	-	Ausente en 5000 ml	Ausente en 1000 ml	-

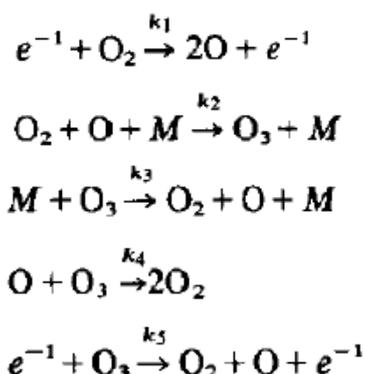
ANEXO - FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA GENERACIÓN DE OZONO

FUNDAMENTO TEÓRICO 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. Cada celda actúa como un condensador y la capacidad de las mismas 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". En el ANEXO - GENERADOR DE OZONO del presente proyecto, se muestra el esquema de conexión típico de las celdas en un generador de ozono, así como el esquema de funcionamiento general de cada una de ellas.

El ozono es producido cuando se alcanza el potencial de ionización del dieléctrico (aproximadamente 10.000V). Una vez alcanzado el potencial de ionización, se produce un flujo de electrones que cruza el hueco de descarga cerrándose el circuito.

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 formación del ozono mediante el siguiente mecanismo de reacción:



En el mecanismo anterior, se incluyen las reacciones de formación del ozono así como las reacciones de desintegración del mismo.

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 consiguiente, un variable determinante para el diseño de un sistema de generación de ozono es la refrigeración del generador.

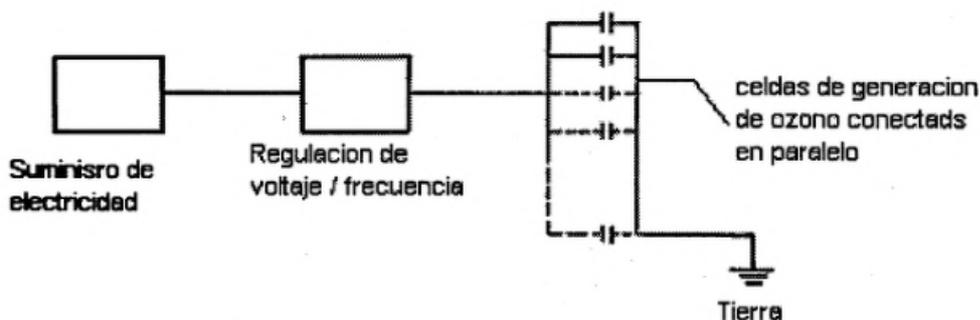
Para la generación de ozono debemos utilizar corriente alterna, así el voltaje es cíclico oscilando por encima y por debajo del potencial de ionización de la celda. La producción de ozono se produce cuando el voltaje es mayor que el potencial de ionización y es interrumpida cuando el ciclo del voltaje 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.

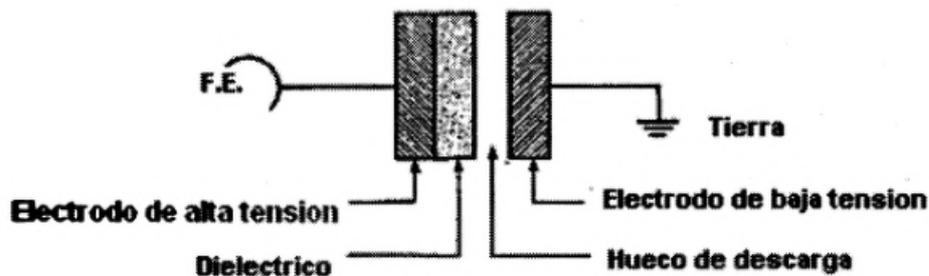
ANEXO - GENERADOR DE OZONO

ESQUEMA DE CONEXIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN GENERADOR DE OZONO

La siguiente figura muestra el esquema de conexión de las distintas celdas que componen un generador típico de ozono.

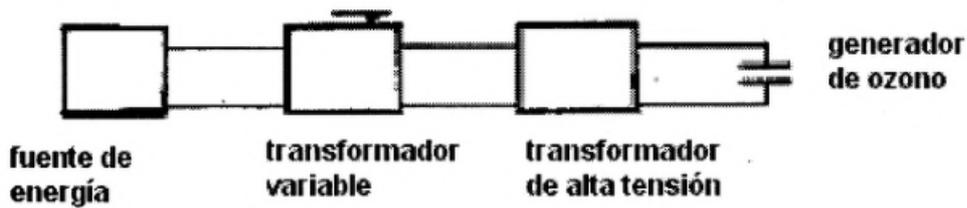


La siguiente figura muestra el esquema de funcionamiento de cada una de las celdas que componen el generador de ozono.

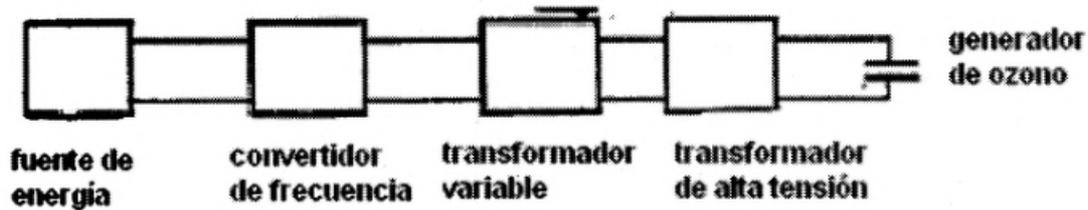


FORMAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA AL GENERADOR DE OZONO

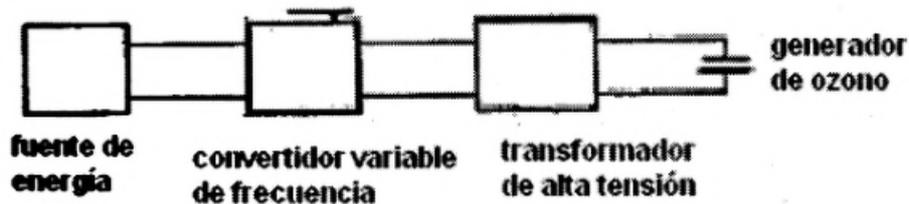
METODO A: Frecuencia baja(60 hertz) constante, voltaje variable.



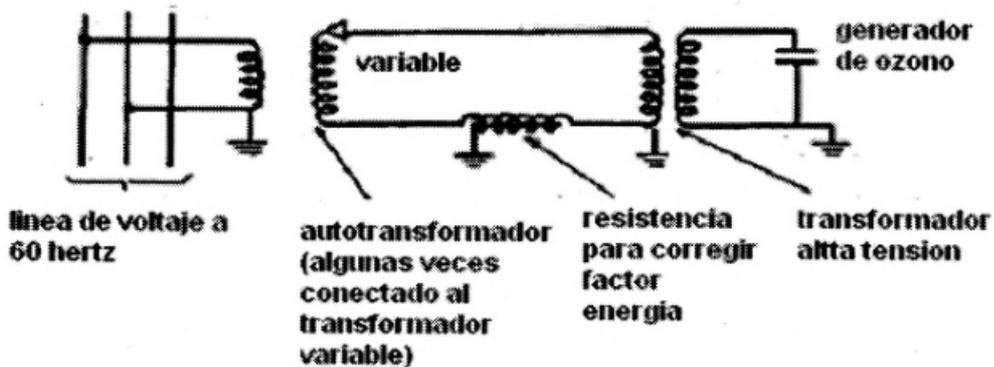
METODO B: Frecuencia media (600 hertz) constante, voltaje variable.



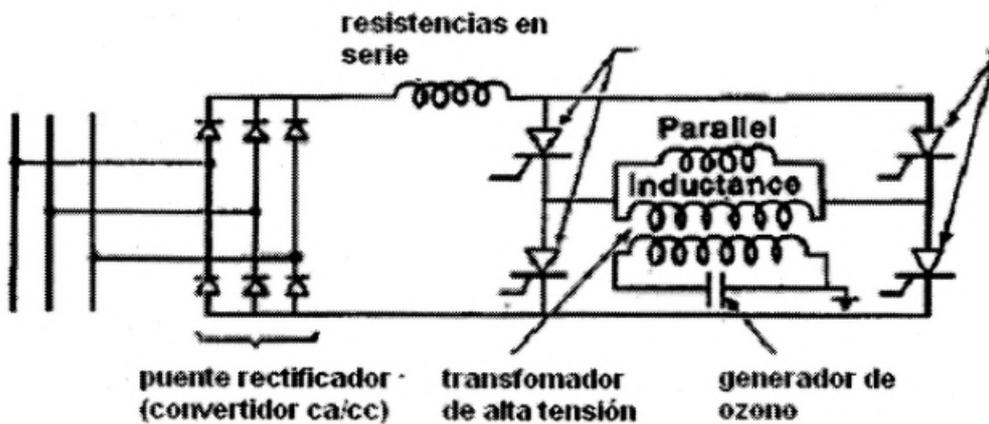
METODO C: Voltaje constante, frecuencia variable.



CONTROL DE VOLTAJE Y FRECUENCIA



VOLTAJE VARIABLE



FRECUENCIA VARIABLE

ANEXO - TIPOS DE GENERADORES DE OZONO

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. 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 habitualmente utilizados.

Tubo horizontal, control del voltaje, refrigerado mediante agua

Este generador de ozono es el más empleado. Los detalles del generador se muestran en el final del presente anexo. 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 Hertzios, aunque hay casos en los que operan a frecuencias desde 600 a 800 Hertzios.

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 el final del presente anexo. 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.

Tubo vertical, control de la frecuencia, doble refrigeración

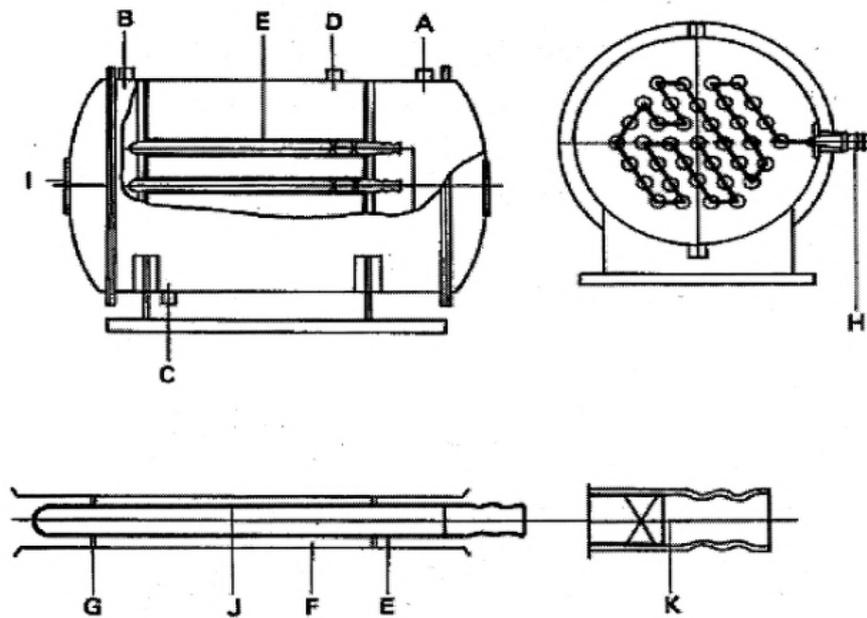
Este generador utiliza agua y también un líquido no conductor (normalmente aceite) para la refrigeración. La unidad incorpora un complejo sistema de dieléctricos para aprovechar el enfriamiento adicional, que se ilustra en la figura del final del presente anexo. El electrodo de alta tensión es refrigerado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

Plato bajo, control de la frecuencia, refrigerado por aire

Este generador se muestra en la figura del final del presente anexo. El 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 Hz y un voltaje de 9.000 voltios. La presión máxima de operación es 103 kPa.

TUBO HORIZONTAL, CONTROL DEL VOLTAJE, REFRIGERADO MEDIANTE 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.

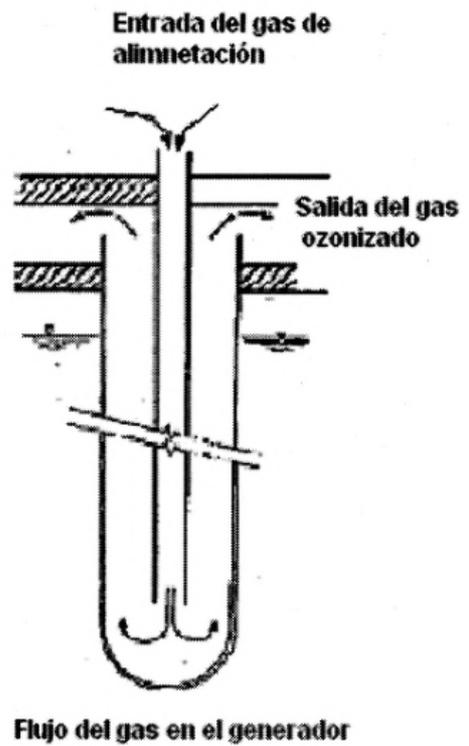
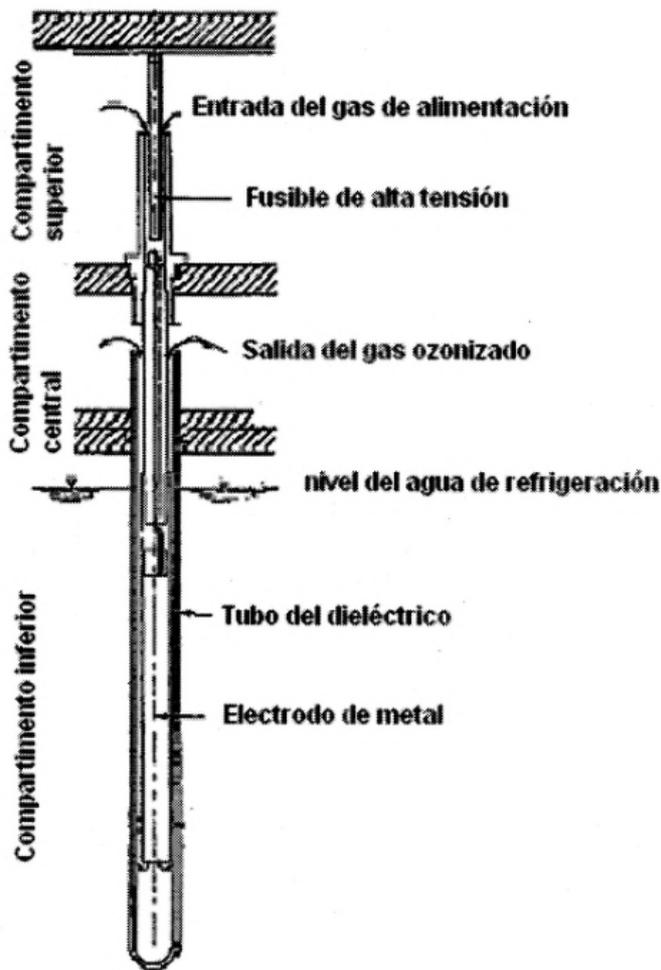
H= Terminal de alta tensión.

I= Puerto.

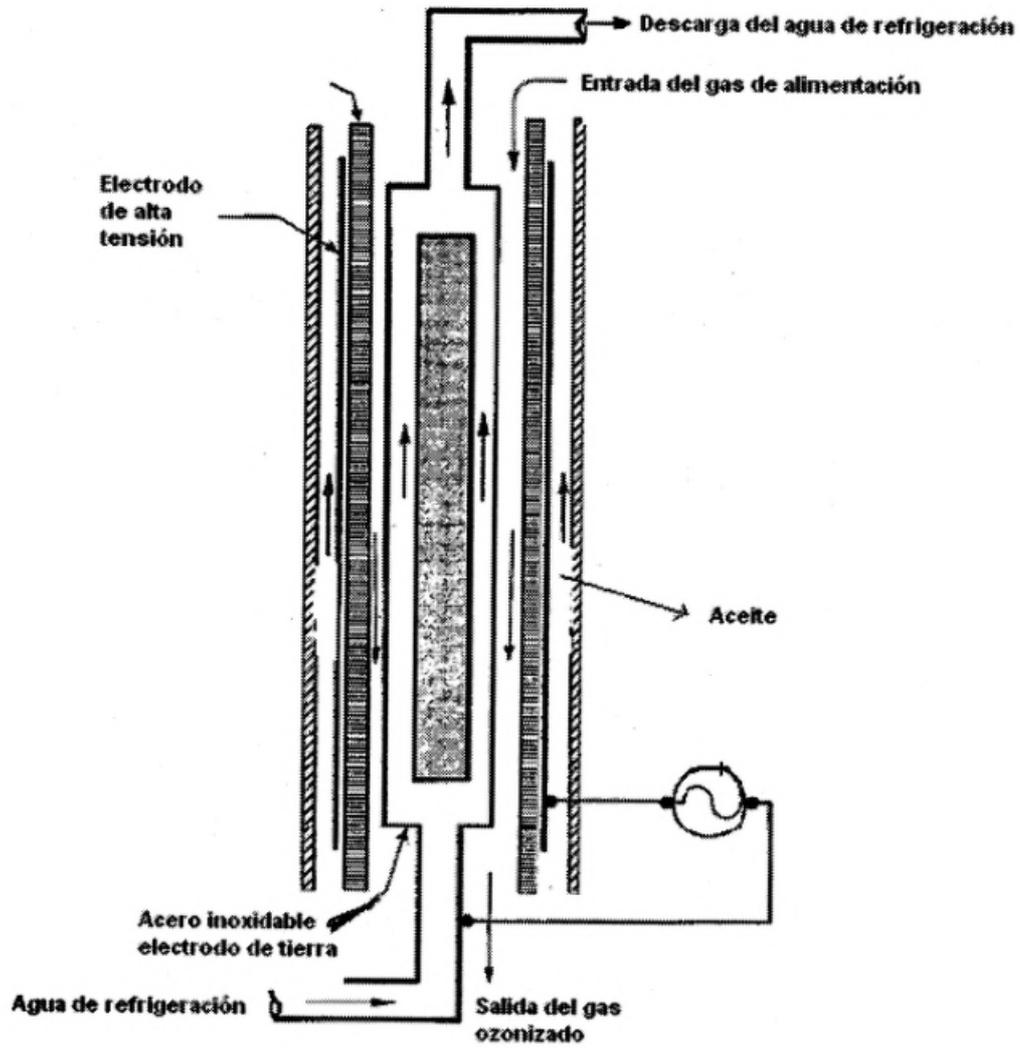
J= Abrigo metálico.

K= Contacto.

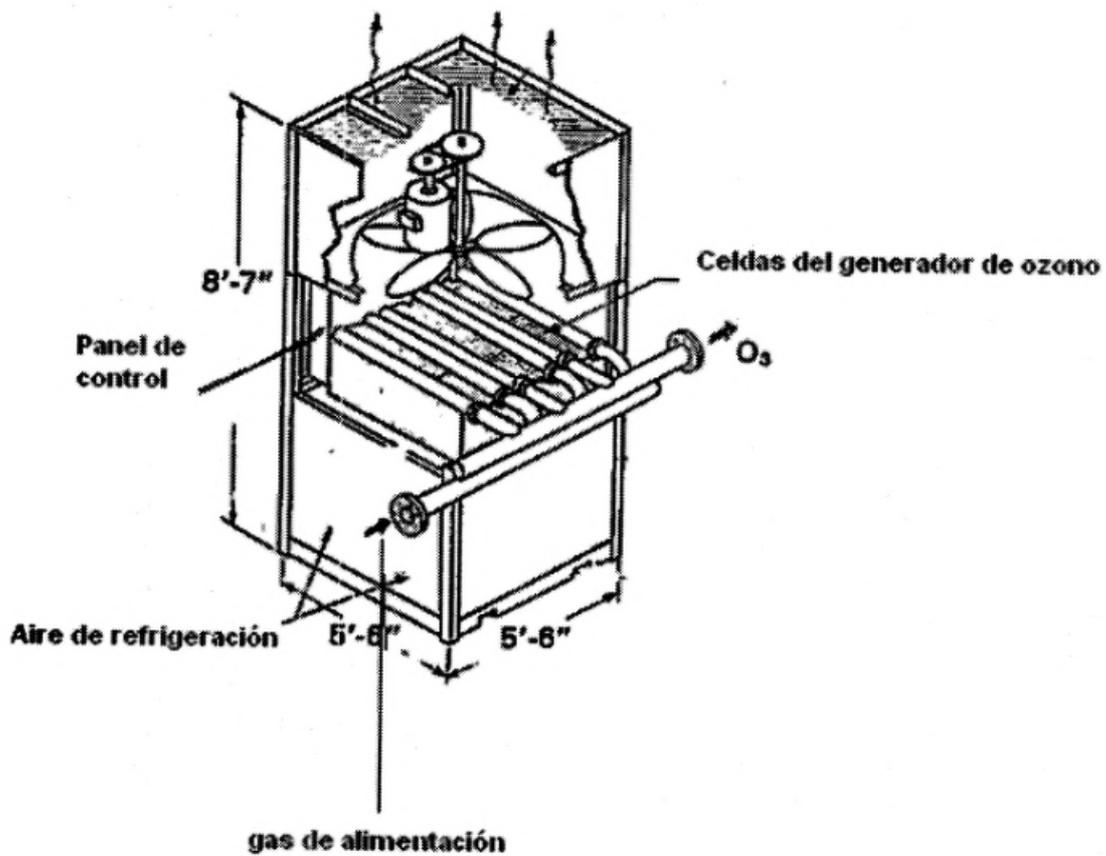
TUBO VERTICAL, CONTROL DEL VOLTAJE, REFRIGERADO MEDIANTE AGUA



TUBO VERTICAL, CONTROL DE LA FRECUENCIA, DOBLE REFRIGERACION



PLATO BAJO, CONTROL DE LA FRECUENCIA, REFRIGERADO POR AIRE



ANEXO - HIPÓTESIS DE CÁLCULO

COLUMNA DE OZONIZACIÓN

Según la bibliografía consultada , se pueden suponer las siguientes hipótesis:

- 1- El modelo de flujo en la columna para la fase líquida se aproxima a un modelo de reactor de flujo en pistón.
- 2- El ozono reacciona con el MCPA principalmente por vía directa, sin verse la velocidad de reacción global del proceso afectada significativamente por la acción radical.
- 3- La reacción del MCPA con el ozono se aproxima a una reacción de orden 2.
- 4- La reacción del ozono con el MCPA ocurre en fase líquida. La velocidad de transferencia de materia del ozono a través de la capa límite entre las dos fases es muy elevada con respecto a la velocidad de reacción del ozono con el MCPA en el seno del líquido. Por consiguiente, la etapa de control de la velocidad del proceso es la velocidad de reacción en fase líquida del ozono con el MCPA.
- 5- Una vez alcanzada la concentración residual, no existen contaminantes presentes en el agua en una concentración lo suficientemente elevada para competir de forma directa con el MCPA por el ozono disuelto.

CÁLCULOS DE PROCESO

En el presente anexo se sigue el capítulo 12 del libro Handbook of Ozone technology and applications para obtener la ecuación de diseño empleada en el apartado 9.2.1. Diámetro de la columna del presente proyecto.

Suponiendo flujo ideal en pistón para la columna de ozonización, se obtiene la siguiente ecuación de diseño:

$$\frac{C_{4s}}{C_{4e}} = \exp(-P_4)$$

Donde,

$$P_4 = P_4' + P_4''$$

$$P_4' = \text{Eliminación efectuada por vía directa del Ozono} = k_4 \cdot C_{1\text{residual}} \cdot \theta$$

$$P_4'' = \text{Eliminación efectuada por vía radical} = \frac{\Delta O_3}{\Omega_4}$$

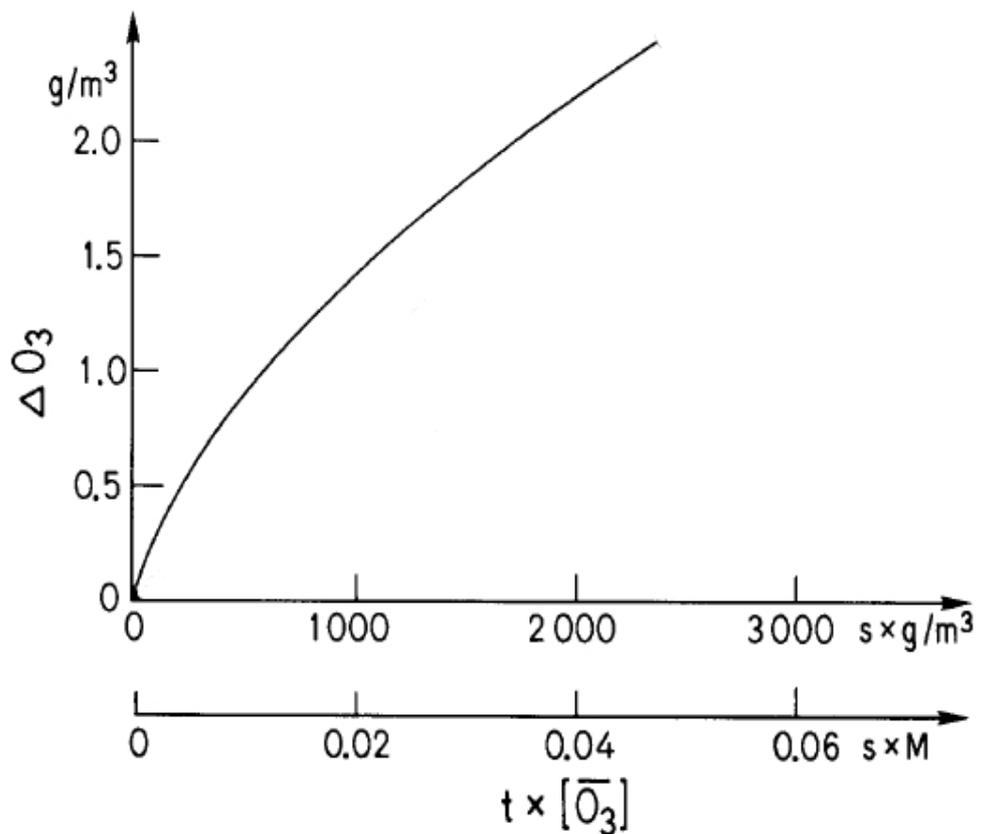
ΔO_3 = Cantidad de Ozono descompuesto durante la ozonización

Ω_4 = Valor de oxidación – competencia del agua basada en la velocidad a la que el MCPA es eliminado

El valor de oxidación-competencia es un parámetro experimental que engloba varios subparámetros que dependen tanto del tipo de agua como del proceso empleado en la ozonización.

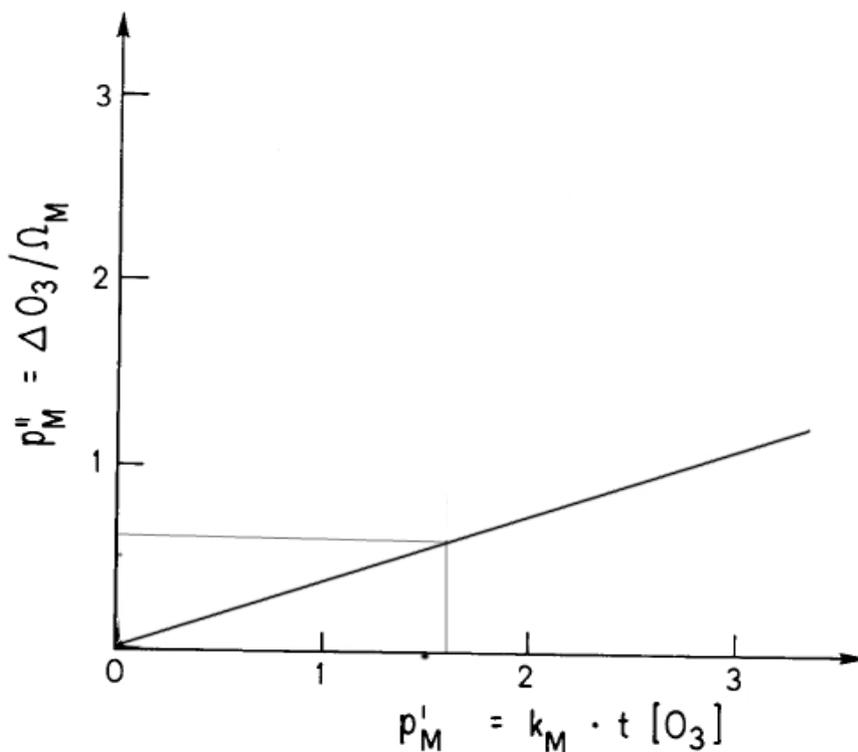
En principio, se esperaría que el valor de oxidación-competencia variara a medida que avanza el proceso de ozonización. Sin embargo, según la bibliografía consultada, en todas las aguas naturales examinadas, el valor de oxidación-competencia se mantiene aproximadamente constante siempre que el contaminante se refiera a un compuesto uniforme y nos encontremos después de la región del consumo inmediato de ozono.

En los procesos de eliminación de pesticidas mediante ozonización, suele ser predominante una de las vías de eliminación. en función del pesticida a eliminar. Con la finalidad de despreciar una de las dos vías para el pesticida objeto de estudio se muestra la gráfica siguiente:



La gráfica anterior muestra la cantidad de ozono descompuesto por vía radical frente al tiempo de ozonización y la concentración de ozono.

De la Tabla 8.1 Características físico-químicas del agua de alimentación del apartado 8 y la Tabla 13.1 Datos de partida del apartado 9.2 del presente proyecto, se obtiene una constante k_4 de $325 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$. Se toma como base de cálculo un valor de oxidación-competencia de 1, por ser el valor medio de todas las aguas naturales consultadas en la bibliografía. Dividiendo el eje de ordenadas entre valor de oxidación-competencia y multiplicado el eje de abscisas por la constante del pesticida, se obtiene la siguiente gráfica aproximando la línea curva a una línea recta:



La gráfica anterior muestra la extensión de las reacciones por vía radical frente a la extensión de la reacción directa en el agua ideal objeto de estudio. En función de la evolución mostrada en la gráfica, se observa una mayor influencia en la eliminación del pesticida por vía directa. Por consiguiente, se desprecia la influencia por vía radical y la ecuación de diseño se reduce a la siguiente ecuación:

$$\frac{C_{4s}}{C_{4e}} = \exp(-P_4') = \exp(k_4 \cdot C_{1\text{residual}} \cdot \theta)$$

Sabiendo que $C_{4s} = C_{4e} \cdot (1 - X_r)$ y despejando θ , se obtiene la ecuación de diseño empleada en el apartado 9.2.1. Diámetro de la columna.

ANEXO - CÁLCULOS MECÁNICOS

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES - ACERO INOXIDABLE													
P-No. 8 Grupo No. 1													
TABLA 1							TABLA 3						
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia mín. 30 000 lb/pulg² Tensión mín. 75 000 lb/pulg²	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia mín. 30 000 lb/pulg² Tensión mín. 75 000 lb/pulg²	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	
		Placa	SA-240	304	2 3				Placa	SA-240	316	2 3	
		Tubo s/c	SA-213	TP304	2				Placa	SA-240	317	2 3	
		Tubo s/c	SA-213	TP304H	—				Tubo s/c	SA-213	TP316	2	
		Tubo s/c	SA-312	TP304	2				Tubo s/c	SA-213	TP316H	—	
		Tubo s/c	SA-312	TP304H	—				Tubo s/c	SA-312	TP316	2	
		Tubo s/c	SA-376	TP304	2				Tubo s/c	SA-312	TP316H	—	
		Tubo s/c	SA-376	TP304H	—				Tubo s/c	SA-312	317	2	
		Tubo vaciado	SA-452	TP304H	—				Tubo s/c	SA-376	TP316	2	
		Forj.	SA-182	F304	2				Tubo s/c	SA-376	TP316H	—	
Forj.	SA-182	F304H	—		Tubo vaciado	SA-452	TP316H	—					
Barra	SA-479	304	2 3 5		Forj.	SA-182	F316	2					
					Forj.	SA-182	F316H	—					
					Barra	SA-479	316	2 3 5					
TABLA 2							TABLA 4						
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	
		Placa	SA-240	304L	—				Placa	SA-240	316L	—	
		Tubo s/c	SA-213	TP304L	—				Tubo s/c	SA-213	TP316L	—	
		Tubo s/c	SA-312	TP304L	—				Tubo s/c	SA-312	TP316L	—	
		Forj.	SA-182	F304L	—				Forj.	SA-182	F316L	4	
Barra	SA-479	304L	5		Barra	SA-479	316L	5					
VALORES MAXIMOS DE ESFUERZO PERMITIDO, 1 000 lb/pulg²													
PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F													
MATERIALES DE LA TABLA	-20-100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	NOTAS
1	18.8	17.8	16.6	16.2	15.9	15.9	15.9	15.9	15.5	15.2	14.9	14.7	1
	18.8	15.7	14.1	12.9	12.1	11.4	11.2	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	
2	15.7	15.7	15.3	14.7	14.4	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	—	—	1
	15.7	13.4	12.0	11.0	10.3	9.7	9.5	9.4	9.2	9.1	—	—	
3	18.8	18.8	18.4	18.1	18.0	17.0	16.7	16.3	16.1	15.9	15.7	15.5	1
	18.8	16.2	14.6	13.4	12.5	11.8	11.6	11.3	11.2	11.0	10.9	10.8	
4	15.7	15.7	15.7	15.5	14.4	13.5	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	—	1
	15.7	13.3	11.9	10.8	10.0	9.4	9.2	9.0	8.8	8.6	8.4	—	
MATERIALES DE LA TABLA	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	
1	14.4	13.8	12.2	9.8	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	1
	10.0	9.8	9.5	8.9	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	
3	15.4	15.3	14.5	12.4	9.8	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.3	1
	10.7	10.6	10.5	10.3	9.3	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.2	
NOTAS:													
1. Estos valores de esfuerzo mayores exceden en 2/3, pero no exceden del 90% de la resistencia a la cedencia a tal temperatura. El uso de estos valores puede producir cambios dimensionales debidos a la deformación permanente. No se recomiendan estos valores de esfuerzo para bridas ni juntas empaçadas ni en otras aplicaciones en las que una deformación ligera pueda ocasionar fuga o mal funcionamiento.													
2. A temperaturas superiores a 100°F, estos valores de esfuerzo se aplican solamente cuando se tiene 0.04% de carbono o más.													
3. Para temperaturas superiores a 100°F, estos valores de esfuerzo pueden usarse sólo si el material se trata térmicamente, calentándolo a una temperatura mínima de 1 900°F y enfriándolo rápidamente en agua o por algún otro medio.													
4. Resistencia mínima especificada a tensión, 65.0 lb/pulg ² .													
5. El uso de tablas de presión externa para el material en forma de barra de medidas estándares se permite únicamente para anillos, arisadores.													

PRESIÓN DE LOS FLUIDOS. CARGA ESTÁTICA

PRESION DE LOS FLUIDOS CARGA ESTATICA										
<p>El fluido contenido en el recipiente ejerce presión sobre las paredes del mismo. Cuando el fluido está en reposo, la intensidad de la presión en un punto es igual en todas direcciones hacia los lados y el fondo del recipiente y varía según la altura del fluido respecto al punto en el que se esté considerando la presión.</p> <p>Cuando sea aplicable, la carga estática deberá sumarse a la presión de diseño del recipiente.</p> <p>Las tablas de esta página indican las relaciones entre la presión y la altura del agua.</p> <p>Para determinar la presión de cualquier otro fluido que no sea agua, los valores de las tablas deberán multiplicarse por la densidad específica del fluido en cuestión.</p> <p align="center">Presión en libras por pulgada cuadrada para diferentes cargas de agua</p>										
Carga, en pies	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		0.43	0.87	1.30	1.73	2.16	2.60	3.03	3.46	3.90
10	4.33	4.76	5.20	5.63	6.06	6.49	6.93	7.36	7.79	8.23
20	8.66	9.09	9.53	9.96	10.39	10.82	11.26	11.69	12.12	12.56
30	12.99	13.42	13.86	14.29	14.72	15.15	15.59	16.02	16.45	16.89
40	17.32	17.75	18.19	18.62	19.05	19.48	19.92	20.35	20.78	21.22
50	21.65	22.08	22.52	22.95	23.38	23.81	24.25	24.68	25.11	25.55
60	25.98	26.41	26.85	27.28	27.71	28.14	28.58	29.01	29.44	29.88
70	30.31	30.74	31.18	31.61	32.04	32.47	32.91	33.34	33.77	34.21
80	34.64	35.07	35.51	35.94	36.37	36.80	37.24	37.67	38.10	38.54
90	38.97	39.40	39.84	40.27	40.70	41.13	41.57	42.00	42.43	42.87
<p>NOTA: Un pie de agua a 62° Fahrenheit produce una presión de 0.433 libras por pulgada cuadrada. Para hallar la presión por pulgada cuadrada para cualquier carga en pies no considerada en la tabla superior, multiplique la carga en pies por 0.433.</p> <p align="center">Cargas de agua en pies que corresponden a una presión dada en libras por pulgada cuadrada</p>										
Presión, lb/pulg ²	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2.3	4.6	6.9	9.2	11.5	13.9	16.2	18.5	20.8
10	23.1	25.4	27.7	30.0	32.3	34.6	36.9	39.3	41.6	43.9
20	46.2	48.5	50.8	53.1	55.4	57.7	60.0	62.4	64.7	67.0
30	69.3	71.6	73.9	76.2	78.5	80.8	83.1	85.4	87.8	90.1
40	92.4	94.7	97.0	99.3	101.6	103.9	106.2	108.5	110.8	113.2
50	115.5	117.8	120.1	122.4	124.7	127.0	129.3	131.6	133.9	136.3
60	138.6	140.9	143.2	145.5	147.8	150.1	152.4	154.7	157.0	159.3
70	161.7	164.0	166.3	168.6	170.9	173.2	175.5	177.8	180.1	182.4
80	184.8	187.1	189.4	191.7	194.0	196.3	198.6	200.9	203.2	205.5
90	207.9	210.2	212.5	214.8	217.1	219.4	221.7	224.0	226.3	228.6
<p>NOTA: Una presión de una libra por pulgada cuadrada equivale a 2.309 pies de agua a 62°F. Por lo tanto, para hallar la carga en pies de agua para cualquier presión que no aparezca en la tabla, multiplique por 2.309 la presión en libras por pulgada cuadrada.</p>										

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E		
TIPOS NORMA UW-12		Cuando la junta es:		
		a. Radiografiada totalmente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada
1	 <p>Junta a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
2	 <p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar</p> <p>En juntas circunferenciales únicamente</p>	0.90	0.80	0.65
3	 <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60
4	 <p>Junta a traslape de doble filete completo</p>	—	—	0.55
5	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	—	—	0.50
6	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	—	—	0.45

DIMENSIONES DE LAS CABEZAS

DIMENSIONES DE LAS CABEZAS										
TODAS LAS DIMENSIONES EN PULGADAS										
DIAMETRO, D'	VER PAGINA 325	ESPESOR DE PARED								
		1 1/2	1 5/8	1 3/4	1 7/8	2	2 1/4	2 1/2	2 3/4	3
26	L (R) r h M									
28	L (R) r h M									
30	L (R) r h M	30 4.500 6.125 1.39	30 4.875 6.375 1.36							
32	L (R) r h M	30 4.500 6.563 1.39	30 4.875 6.750 1.36	30 5.250 6.938 1.34						
34	L (R) r h M	30 4.500 7.000 1.39	30 4.875 7.188 1.36	30 5.250 7.375 1.34						
36	L (R) r h M	36 4.500 6.875 1.46	36 4.875 7.063 1.44	36 5.250 7.313 1.41	36 5.625 7.500 1.39					
38	L (R) r h M	36 4.500 7.313 1.46	36 4.875 7.500 1.44	36 5.250 7.813 1.41	36 5.625 7.875 1.39	36 6.000 8.063 1.36				
40	L (R) r h M	36 4.500 7.813 1.46	36 4.875 8.000 1.44	36 5.250 8.125 1.41	36 5.625 8.313 1.39	36 6.000 8.500 1.36				
42	L (R) r h M	36 4.500 8.313 1.46	36 4.875 8.438 1.44	36 5.250 8.625 1.41	36 5.625 8.813 1.39	36 6.000 8.938 1.36				
48	L (R) r h M	42 4.500 9.188 1.52	42 4.875 9.250 1.48	42 5.250 9.438 1.46	42 5.625 9.563 1.44	42 6.000 9.750 1.41	42 6.750 10.125 1.36	42 7.500 10.500 1.34		
54	L (R) r h M	48 4.500 9.875 1.56	48 4.875 10.063 1.54	48 5.250 10.188 1.50	48 5.625 10.375 1.48	48 6.000 10.563 1.46	48 6.750 10.875 1.41	48 7.500 11.250 1.39	48 8.250 11.625 1.36	
60	L (R) r h M	54 4.500 10.688 1.62	54 4.875 10.875 1.58	54 5.250 11.000 1.54	54 5.625 11.188 1.52	54 6.000 11.313 1.50	54 6.750 11.688 1.46	54 7.500 12.000 1.41	54 8.250 12.375 1.39	54 9.000 12.750 1.36

ESPEORES MÍNIMOS DE PARED DEL RECIPIENTE

<p align="center">REGLAS DE LAS NORMAS CON RELACION A DIFERENTES ESPEORES DE PARED DEL RECIPIENTE</p>								
Espeor de pared, pulg	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{1}{2}$
Notas aplicables	2, 4, 15 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14	2, 4, 15 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14	2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11 12, 14, 15	2, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14	4, 6, 8, 9 11, 12, 14 15	4, 6, 8, 9 11, 12, 14 15	7, 8, 9, 11, 12, 14, 15	7, 8, 9, 11, 12, 14, 15
Espeor de pared, pulg	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{16}$	1
Notas aplicables	7, 10, 11, 12, 14, 15	7, 10, 11, 12, 14, 15	7, 10, 13, 16, 20	7, 10, 13, 16, 20	7, 10, 13, 16, 20	7, 10, 13, 16, 20	7, 10, 13, 16, 20	7, 10, 13, 16, 20
Espeor de pared, pulg.	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{3}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{5}{16}$	$1\frac{3}{8}$	$1\frac{7}{16}$	$1\frac{1}{2}$ y mayores
Notas aplicables	7, 13, 16, 17, 20	7, 13, 16, 17, 20	7, 13, 16, 17, 20	7, 13, 16, 17, 20, 19, 22	7, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22	7, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22	7, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22	7, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21

<p align="center">Notas (Extractos breves de los requisitos de las normas)</p>	
1. El espeor mínimo de placa para construcción soldada no deberá ser menor de 1/16 de pulg. El espeor mínimo de cascos y cabezas para servicio en aire comprimido, en vapor de agua o en agua, deberá ser 3/32 de pulg.	UG-16 (b) UG-16(b) (6)
2. La marca del fabricante no deberá ser de estampado profundo por dado.	UG-77 (b)
3. En servicio de aire comprimido, de vapor de agua y de agua deberá dejarse margen por corrosión no menor de 1/6 del espeor de placa calculado.	UCS-25
4. Las aberturas sencillas soldadas hasta para tubo de 3 pulg, no requieren refuerzo.	UG-36 (c) (3)
5. El espeor mínimo de cascos y cabezas de calderas de vapor no sujetas a fuego directo no deberá ser menor de 1/4 de pulg.	UG-16 (b) (5)
6. Para juntas longitudinales soldadas es aceptable la unión a traslape de doble filete completo.	Tabla UW-12
7. Las aberturas sencillas soldadas para tubo hasta de 2 pulg, no requieren refuerzo.	UG-36 (c) (3)
8. Es aceptable la junta de traslape de un solo filete con soldaduras de tapón para la sujeción de cabezas no mayores de 24 pulg de diámetro exterior a cascos.	Tabla UW-12
9. Espeor máximo del refuerzo para soldadura a tope: 3/32 de pulg.	UW-35 (a)
10. Espeor máximo para soldadura a tope: 1/8 de pulg.	UW-35 (a)
11. Es aceptable la junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón para unión circunferencial.	Tabla UW-12

DEMOSTRACIÓN CONDICIONES ESPESOR CASCO CILÍNDRICO

Las expresiones indicadas en la Tabla 13.2 Casco cilíndrico del apartado 11.1.1. Espesor del casco cilíndrico son válidas siempre que se cumpla alguna de las siguientes condiciones:

$$P_d < 0,385 \cdot S \cdot E$$

o bien;

$$t < \frac{R}{2}$$

Según los datos indicados en el apartado 11.1.1. Espesor del casco cilíndrico, la presión de diseño y el espesor de cálculo son:

- $P_d = 51,08 \text{ psi}$

- $t = 0,08 \text{ in}$

Luego;

$$P_d < 0,385 \cdot 15700 \cdot 1 \Rightarrow P_d < 6044,5 \text{ psi}$$

$$t < \frac{24}{2} \Rightarrow t < 12 \text{ in}$$

Por consiguiente, quedan demostradas las dos condiciones.

DEMOSTRACIÓN CONDICIONES ESPESOR CABEZAS HEMIESFÉRICAS

Las expresiones indicadas en la Tabla 13.4 Tapas del apartado 11.1.2. Espesor de las tapas son válidas siempre que se cumpla alguna de las siguientes condiciones:

$$P_d < 0,665 \cdot S \cdot E$$

o bien;

$$t_t < 0,356 \cdot R$$

Según los datos indicados y cálculos obtenidos en el apartado 11.1.1. Espesor del casco cilíndrico, la presión de diseño y el espesor de cálculo son:

- $P_d = 51,08 \text{ psi}$
- $t_t = 0,04 \text{ in}$

Luego;

$$P_d < 0,665 \cdot 15700 \cdot 1 \Rightarrow P_d < 10440,5 \text{ psi}$$

$$t_t < 0,356 \cdot 24 \Rightarrow t_t < 8,54 \text{ in}$$

Por consiguiente, quedan demostradas las dos condiciones.

ANEXO - CÁLCULOS HIDRÁULICOS

ANEXO INECTOR VENTURI MAZZEI

Mazzei Injector Company, LLC Injector Performance Table													
Air Suction Capacity • Injector Inlet Pressure 0.35-3.52 Kg/cm ²													
Operating Pressure Kg/cm ²		Model 1584		Model 1585X		Model 1587		Model 2081		Model 3090		Model 4091	
		1.5" Threads		1.5" Threads		1.5" Threads		2" Threads		3" Threads		4" Threads	
Injector Inlet	Injector Outlet	Motive Flow l/min.	Air Suction l/min.										
0.35	0.00	68.3	22.18	38.9	26.62	64.2	31.12	124	84.37	276		496	566.4
	0.07		18.88		5.67		10.32		86.44				543.5
	0.14		15.01		3.27		7.40		57.74				493.6
	0.21		9.71				4.11		56.61				444.1
	0.28		(0.28)		5.04		(0.25)		(0.29)				(0.32)
0.70	0.00	96.6	46.26	55.0	30.67	90.8	60.30	175	203.90	390		704	863.8
	0.14		34.18		9.46		28.85		166.14				616.0
	0.35		17.51		5.52		10.24		87.57				446.0
	0.49		9.71				4.60		56.61				409.8
	0.56		(0.60)		5.98		(0.46)		(0.61)				(0.63)
1.05	0.00	118.3	67.97	67.4	55.35	111.2	72.60	215	237.75	481		859	1111.6
	0.35		33.86		8.85		20.13		185.71				613.7
	0.49		21.58		5.52		12.64		86.06				527.6
	0.70		11.27		0.10		6.48		73.98				301.3
	0.84		(0.91)		4.42		(0.66)		(0.95)				(0.94)
1.41	0.00	136.6	80.24	77.8	61.73	128.4	81.89	248	383.74	553		995	1073.0
	0.35		48.21		14.69		30.33		215.90				742.8
	0.70		19.39		6.01		12.06		121.53				380.3
	0.84		14.70		3.03		8.87		90.80				330.8
	1.05		(1.20)		5.98		(0.89)		(1.20)				(1.23)
1.76	0.00	152.7	87.32	87.0	68.65	143.5	92.31	277	387.13	621		1113	1127.7
	0.35		60.86		22.94		42.98		297.55				798.1
	0.70		31.02		9.58		20.51		143.43				550.3
	1.05		15.64		3.81		9.01		125.68				299.1
	1.41		(1.51)		5.67		(1.08)		(1.55)				(1.57)
2.11	0.00	167.3	91.57	95.3	79.89	157.2	108.79	304	398.46	678		1219	1210.4
	0.35		72.10		28.71		54.08		313.79				842.2
	0.70		46.92		12.13		25.87		178.90				597.8
	1.05		25.66		6.98		14.17		163.43				434.7
	1.41		13.45		0.10		8.25		76.25				296.8
1.76	(1.83)	4.73	(1.36)	(1.80)	(1.83)	(1.79)	(1.83)	206.1					
2.46	0.00	180.7	97.23	103.0	82.87	169.8	108.89	328	452.84	734		1313	1295.9
	0.35		81.87		36.90		67.80		396.48				1063.7
	0.70		58.25		16.15		33.45		241.55				847.3
	1.05		34.18		9.72		19.65		199.87				568.4
	1.41		18.77		4.97		12.76		126.82				371.6
1.76	(2.14)	10.65	(1.58)	(2.04)	(2.14)	(2.07)	(2.14)	292.3					
2.81	0.00	193.1	100.06	110.1	83.57	181.6	120.36	351	468.70	783		1404	1349.2
	0.35		89.07		41.27		89.55		441.51				1143.6
	0.70		69.77		21.38		40.98		260.43				894.3
	1.05		46.60		11.76		24.75		219.65				618.2
	1.41		28.18		7.87		17.09		160.77				439.2
1.76	18.14	1.27	12.62	124.55	319.4								
2.11	(2.46)	10.34	(1.79)	(2.33)	(2.36)	(2.29)	(2.46)	255.9					
3.16	0.00	204.8	104.78	116.8	108.50	192.6	126.18	372	482.29	829		1491	1469.8
	0.35		93.23		49.75		98.12		466.43				1236.5
	0.70		74.44		24.15		43.03		308.12				1050.7
	1.05		52.40		15.36		27.79		224.18				761.0
	1.41		34.81		10.20		18.85		165.30				561.6
1.76	23.46	5.78	13.32	101.92	403.0								
2.11	15.33		8.90	70.21	330.8								
2.46	(2.78)	10.02	(2.02)	(2.69)	(2.67)	(2.53)	(2.74)	283.1					
3.52	0.00	215.9	106.67	123.1	96.15	203.0	127.12	392	489.09	874		1571	1482.3
	0.35		98.13		61.16		104.80		481.44				1387.7
	0.70		82.89		26.76		52.63		400.73				1231.9
	1.05		62.83		18.00		33.35		328.51				874.0
	1.41		45.64		12.95		24.42		203.90				629.6
1.76	32.28	8.29	17.65	124.58	504.9								
2.11	22.21	3.01	10.74	97.39	389.4								
2.46	15.02		9.27	65.67	285.5								
2.81	(2.99)	8.78	(2.28)	(2.88)	(2.92)	(2.85)	(3.03)	212.4					

** Numbers in parenthesis indicate the injector outlet pressure when suction stops (Zero Suction Point). **

PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS

Las pérdidas se calculan aplicando la siguiente ecuación obtenida de la bibliografía:

$$h_{ft} = 22950 \cdot \frac{f \cdot L \cdot Q_l^2}{D_t^5}$$

Donde;

- h_{ft} = Pérdidas de carga de la tubería en m
- L = Longitud de tubería en m
- f = Factor de fricción
- Q_l = Caudal volumétrico en la tubería en L/min
- D_t = Diámetro de tubería en mm

El factor de fricción se calcula usando las gráficas en el ANEXO FACTOR DE FRICCIÓN. Por consiguiente, se calcula el número de Reynolds con la siguiente expresión obtenida de la bibliografía:

$$Re_t = 21,22 \cdot \frac{Q_l \cdot \rho}{D_t \cdot \mu}$$

Las unidades empleadas en la expresión anterior coinciden con las unidades indicadas en la Tabla 10.1.1 Datos pérdida de carga del apartado 10.1.1 del presente proyecto.

PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS

**A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 1 de 4)
Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios**

[*K* está basado en el uso de las tuberías cuyos números de cédula se dan en la página 2-10

**FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS,
DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA**

Diámetro mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300400	450-600
Nominal pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8: 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f _r)	.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

**FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR "K" PARA VÁLVULAS
Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO**

Fórmula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 2

$$K_2 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}}}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 3

$$K_2 = \frac{2.6 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 4

$$K_2 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 1} + \text{Fórmula 3}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \sin \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Fórmula 6

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}} (1 - \beta^2) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Fórmula 7

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \beta (\text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}), \text{ cuando } \theta = 180^\circ$$

$$K_1 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_2}$$

$$\beta^2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = \frac{a_1}{a_2}$$

El subíndice 1 define dimensiones y coeficientes para el diámetro menor.
El subíndice 2 se refiere al diámetro mayor.

*Úse el valor de K proporcionado por el proveedor, cuando se disponga de dicho valor

ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 1}$

$45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 2}$

ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 3}$

$45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 4}$

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 4 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE MACHO Y LLAVES

Paso directo tres entradas

Si: $\beta = 1$, $K_1 = 18 f_T$ Si: $\beta = 1$, $K_1 = 30 f_T$ Si: $\beta = 1$, $K_1 = 90 f_T$

Si: $\beta < 1$ $K_2 = \text{Fórmula 6}$

CODOS ESTÁNDAR

90° 45°

$K = 30 f_T$ $K = 16 f_T$

CURVAS EN ESCUADRA O FALSA ESCUADRA

α	K
0°	2 f_T
15°	4 f_T
30°	8 f_T
45°	15 f_T
60°	25 f_T
75°	40 f_T
90°	60 f_T

CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"

Flujo directo $K = 20 f_T$
 Flujo desviado a 90° .. $K = 60 f_T$

CURVAS Y CODOS DE 90° CON BRIDAS O CON EXTREMOS PARA SOLDAR A TOPE

r/d	K	r/d	K
1	20 f_T	8	24 f_T
1,5	14 f_T	10	30 f_T
2	12 f_T	12	34 f_T
3	12 f_T	14	38 f_T
4	14 f_T	16	42 f_T
6	17 f_T	20	50 f_T

El coeficiente de resistencia K_B , para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

$$K_B = (n - 1) \left(0,25 \pi f_T \frac{r}{d} + 0,5 K \right) + K$$

n = número de curvas de 90°
 K = coeficiente de resistencia para una curva de 90° (según tabla)

ENTRADAS DE TUBERÍA

Con resalte hacia el interior A tope

r/d	K
0.00*	0.5
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
0.15 y más	0.04

$K = 0.78$ *de cantos vivos Véanse los valores de K en la tabla

CURVAS DE 180° DE RADIO CORTO

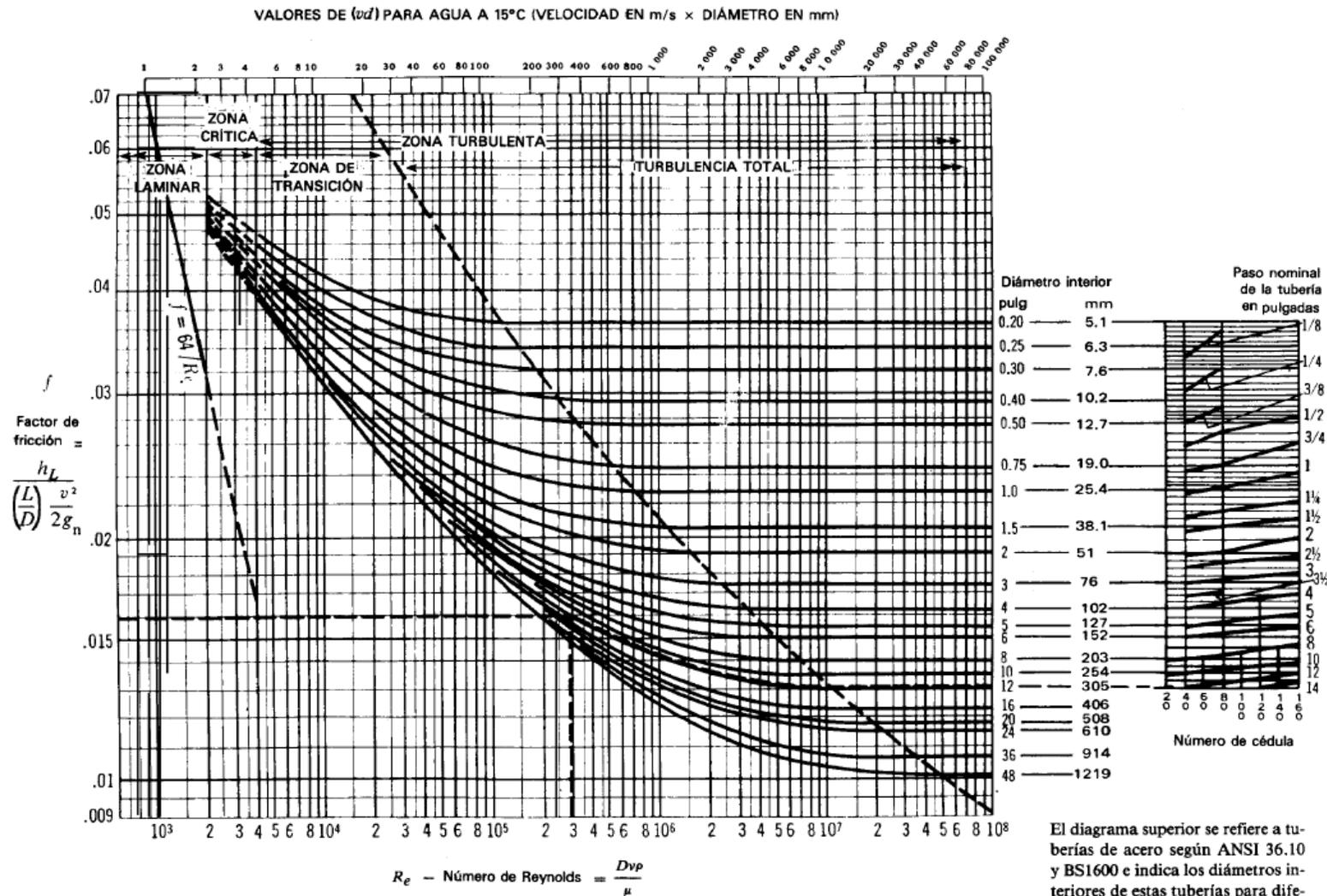
$K = 50 f_T$

SALIDAS DE TUBERÍA

Con resalte De cantos vivos Redondeada

$K = 1.0$ $K = 1.0$ $K = 1.0$

FACTOR DE FRICCIÓN



Problema: Determinese el factor de fricción para una tubería de 12 pulgadas, Cédula 40, para un flujo con Número de Reynolds = 300 000.

Solución: El factor de fricción (f) es igual a 0.016.

Adaptación de datos extraídos de la referencia 18 de la Bibliografía.

El diagrama superior se refiere a tuberías de acero según ANSI 36.10 y BS1600 e indica los diámetros interiores de estas tuberías para diferentes números de cédula. Para otras tuberías de acero comerciales, hállese el diámetro interior y véase sólo la gráfica principal.

POTENCIA DE LA BOMBA

Total Dynamic Head The total dynamic head H of a pump is the total discharge head h_d minus the total suction head h_s .

Total Suction Head This is the reading h_{gs} of a gauge at the suction flange of a pump (corrected to the pump centerline^o), plus the barometer reading and the velocity head h_{vs} at the point of gauge attachment:

$$h_s = h_{gs} + \text{atm} + h_{vs} \quad (10-41)$$

If the gauge pressure at the suction flange is less than atmospheric, requiring use of a vacuum gauge, this reading is used for h_{gs} in Eq. (10-41) with a negative sign.

Before installation it is possible to estimate the total suction head as follows:

$$h_s = h_{ss} - h_{fs} \quad (10-42)$$

where h_{ss} = static suction head and h_{fs} = suction friction head.

Static Suction Head The static suction head h_{ss} is the vertical distance measured from the free surface of the liquid source to the pump centerline plus the absolute pressure at the liquid surface.

Total Discharge Head The total discharge head h_d is the reading h_{gd} of a gauge at the discharge flange of a pump (corrected to the pump centerline^o), plus the barometer reading and the velocity head h_{vd} at the point of gauge attachment:

$$h_d = h_{gd} + \text{atm} + h_{vd} \quad (10-43)$$

Again, if the discharge gauge pressure is below atmospheric, the vacuum-gauge reading is used for h_{gd} in Eq. (10-43) with a negative sign.

Before installation it is possible to estimate the total discharge head from the static discharge head h_{sd} and the discharge friction head h_{fd} as follows:

$$h_d = h_{sd} + h_{fd} \quad (10-44)$$

Static Discharge Head The static discharge head h_{sd} is the vertical distance measured from the free surface of the liquid in the receiver to the pump centerline, plus the absolute pressure at the liquid surface. **Total static head** h_{st} is the difference between discharge and suction static heads.

Velocity Since most liquids are practically incompressible, the relation between the quantity flowing past a given point in a given time and the velocity of flow is expressed as follows:

$$Q = Av \quad (10-45)$$

This relationship in SI units is as follows:

$$v \text{ (for circular conduits)} = 3.54 Q/d^2 \quad (10-46)$$

where v = average velocity of flow, m/s; Q = quantity of flow, m³/h; and d = inside diameter of conduit, cm.

This same relationship in U.S. customary units is

$$v \text{ (for circular conduits)} = 0.409 Q/d^2 \quad (10-47)$$

where v = average velocity of flow, ft/s; Q = quantity of flow, gal/min; and d = inside diameter of conduit, in.

Velocity Head This is the vertical distance by which a body must fall to acquire the velocity v .

$$h_v = v^2/2g \quad (10-48)$$

Viscosity (See Sec. 5 for further information.) In flowing liquids the existence of internal friction or the internal resistance to relative motion of the fluid particles must be considered. This resistance is called viscosity. The viscosity of liquids usually decreases with rising temperature. Viscous liquids tend to increase the power required by a pump, to reduce pump efficiency, head, and capacity, and to increase friction in pipe lines.

Friction Head This is the pressure required to overcome the resistance to flow in pipe and fittings. It is dealt with in detail in Sec. 5.

Work Performed in Pumping To cause liquid to flow, work must be expended. A pump may raise the liquid to a higher elevation, force it into a vessel at higher pressure, provide the head to overcome pipe friction, or perform any combination of these. Regardless of the service required of a pump, all energy imparted to the liquid in performing this service must be accounted for; consistent units for all quantities must be employed in arriving at the work or power performed.

When arriving at the performance of a pump, it is customary to calculate its **power output**, which is the product of (1) the total dynamic head and (2) the mass of liquid pumped in a given time. In SI units power is expressed in kilowatts; horsepower is the conventional unit used in the United States.

In SI units,

$$\text{kW} = HQ\rho/3.670 \times 10^5 \quad (10-49)$$

where kW is the pump power output, kW; H = total dynamic head, N-m/kg (column of liquid); Q = capacity, m³/h; and ρ = liquid density, kg/m³.

When the total dynamic head H is expressed in pascals, then

$$\text{kW} = HQ/3.599 \times 10^6 \quad (10-50)$$

In U.S. customary units,

$$\text{hp} = HQs/3.960 \times 10^5 \quad (10-51)$$

where hp is the pump-power output, hp; H = total dynamic head, lbf-ft/lbm (column of liquid); Q = capacity, U.S. gal/min; and s = liquid specific gravity.

When the total dynamic head H is expressed in pounds-force per square inch, then

$$\text{hp} = HQ/1.714 \times 10^5 \quad (10-52)$$

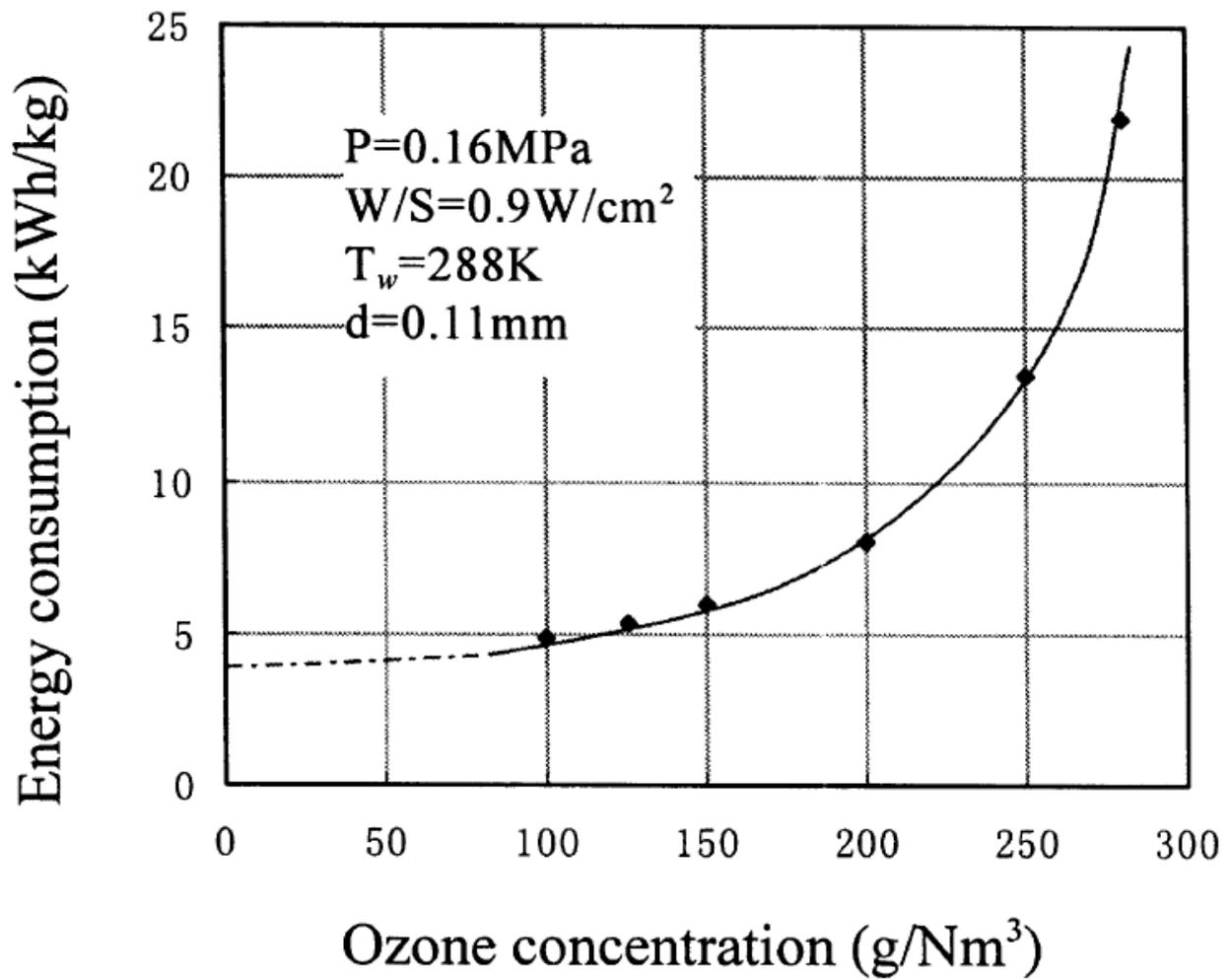
The **power input** to a pump is greater than the **power output** because of internal losses resulting from friction, leakage, etc. The efficiency of a pump is therefore defined as

$$\text{Pump efficiency} = (\text{power output})/(\text{power input}) \quad (10-53)$$

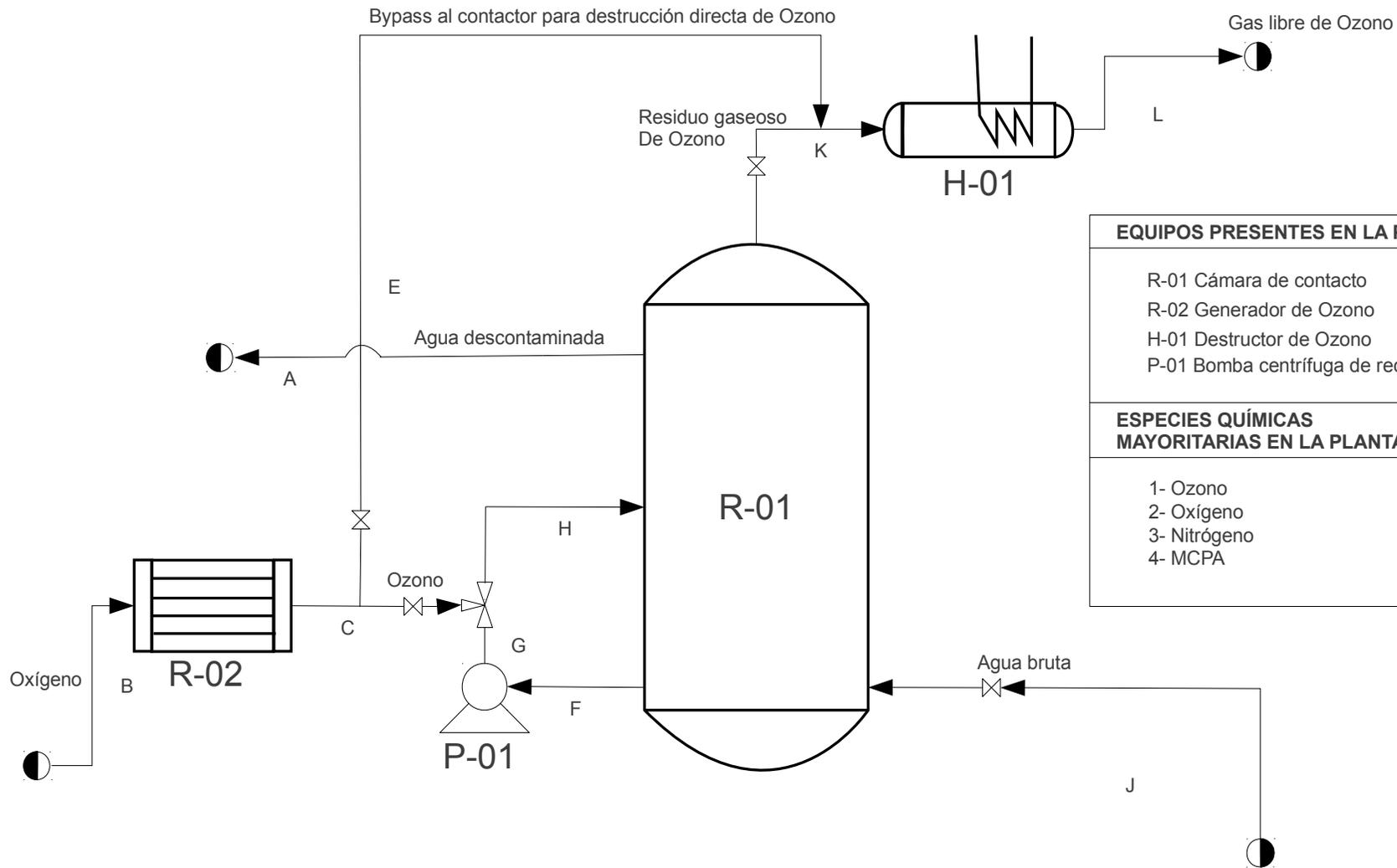
PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA

t, °C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	4.579	4.613	4.647	4.681	4.715	4.750	4.785	4.820	4.855	4.890
1	4.926	4.962	4.998	5.034	5.070	5.107	5.144	5.181	5.219	5.256
2	5.294	5.332	5.370	5.408	5.447	5.486	5.525	5.565	5.605	5.645
3	5.685	5.725	5.766	5.807	5.848	5.889	5.931	5.973	6.015	6.058
4	6.101	6.144	6.187	6.230	6.274	6.318	6.363	6.408	6.453	6.498
5	6.543	6.589	6.635	6.681	6.728	6.775	6.822	6.869	6.917	6.965
6	7.013	7.062	7.111	7.160	7.209	7.259	7.309	7.360	7.411	7.462
7	7.513	7.565	7.617	7.669	7.722	7.775	7.828	7.882	7.936	7.990
8	8.045	8.100	8.155	8.211	8.267	8.323	8.380	8.437	8.494	8.551
9	8.609	8.668	8.727	8.786	8.845	8.905	8.965	9.025	9.086	9.147
10	9.209	9.271	9.333	9.395	9.458	9.521	9.585	9.649	9.714	9.779
11	9.844	9.910	9.976	10.042	10.109	10.176	10.244	10.312	10.380	10.449
12	10.518	10.588	10.658	10.728	10.799	10.870	10.941	11.013	11.085	11.158
13	11.231	11.305	11.379	11.453	11.528	11.604	11.680	11.756	11.833	11.910
14	11.987	12.065	12.144	12.223	12.302	12.382	12.462	12.543	12.624	12.706
15	12.788	12.870	12.953	13.037	13.121	13.205	13.290	13.375	13.461	13.547
16	13.634	13.721	13.809	13.898	13.987	14.076	14.166	14.256	14.347	14.438
17	14.530	14.622	14.715	14.809	14.903	14.997	15.092	15.188	15.284	15.380
18	15.477	15.575	15.673	15.772	15.871	15.971	16.071	16.171	16.272	16.374
19	16.477	16.581	16.685	16.789	16.894	16.999	17.105	17.212	17.319	17.427
20	17.535	17.644	17.753	17.863	17.974	18.085	18.197	18.309	18.422	18.536
21	18.650	18.765	18.880	18.996	19.113	19.231	19.349	19.468	19.587	19.707
22	19.827	19.948	20.070	20.193	20.316	20.440	20.565	20.690	20.815	20.941
23	21.068	21.196	21.324	21.453	21.583	21.714	21.845	21.977	22.110	22.243
24	22.377	22.512	22.648	22.785	22.922	23.060	23.198	23.337	23.476	23.616
25	23.756	23.897	24.039	24.182	24.326	24.471	24.617	24.764	24.912	25.060
26	25.209	25.359	25.509	25.660	25.812	25.964	26.117	26.271	26.426	26.582
27	26.739	26.897	27.055	27.214	27.374	27.535	27.696	27.858	28.021	28.185
28	28.349	28.514	28.680	28.847	29.015	29.184	29.354	29.525	29.697	29.870
29	30.043	30.217	30.392	30.568	30.745	30.923	31.102	31.281	31.461	31.642
30	31.824	32.007	32.191	32.376	32.561	32.747	32.934	33.122	33.312	33.503
31	33.695	33.888	34.082	34.276	34.471	34.667	34.864	35.062	35.261	35.462
32	35.663	35.865	36.068	36.272	36.477	36.683	36.891	37.099	37.308	37.518
33	37.729	37.942	38.155	38.369	38.584	38.801	39.018	39.237	39.457	39.677
34	39.898	40.121	40.344	40.569	40.796	41.023	41.251	41.480	41.710	41.942
35	42.175	42.409	42.644	42.880	43.117	43.355	43.595	43.836	44.078	44.320
36	44.563	44.808	45.054	45.301	45.549	45.799	46.050	46.302	46.556	46.811
37	47.067	47.324	47.582	47.841	48.102	48.364	48.627	48.891	49.157	49.424
38	49.692	49.961	50.231	50.502	50.774	51.048	51.323	51.600	51.879	52.160
39	52.442	52.725	53.009	53.294	53.580	53.867	54.156	54.446	54.737	55.030
40	55.324	55.61	55.91	56.21	56.51	56.81	57.11	57.41	57.72	58.03
41	58.34	58.65	58.96	59.27	59.58	59.90	60.22	60.54	60.86	61.18
42	61.50	61.82	62.14	62.47	62.80	63.13	63.46	63.79	64.12	64.46
43	64.80	65.14	65.48	65.82	66.16	66.51	66.86	67.21	67.56	67.91
44	68.26	68.61	68.97	69.33	69.69	70.05	70.41	70.77	71.14	71.51
45	71.88	72.25	72.62	72.99	73.36	73.74	74.12	74.50	74.88	75.26
46	75.65	76.04	76.43	76.82	77.21	77.60	78.00	78.40	78.80	79.20
47	79.60	80.00	80.41	80.82	81.23	81.64	82.05	82.46	82.87	83.29
48	83.71	84.13	84.56	84.99	85.42	85.85	86.28	86.71	87.14	87.58
49	88.02	88.46	88.90	89.34	89.79	90.24	90.69	91.14	91.59	92.05

CURVA DE RENDIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE OZONO



ANEXO - DIAGRAMA DE PROCESO



EQUIPOS PRESENTES EN LA PLANTA
R-01 Cámara de contacto
R-02 Generador de Ozono
H-01 Destructor de Ozono
P-01 Bomba centrífuga de recirculación
ESPECIES QUÍMICAS MAYORITARIAS EN LA PLANTA
1- Ozono
2- Oxígeno
3- Nitrógeno
4- MCPA

PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1.-PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	1
1.1.Equipos.....	1
1.2.Accesorios y tuberías.....	2
2.-PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.....	4

1.- PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

1.1. Equipos

En la Tabla 1.1.1 Presupuesto de equipos se indican los precios de los equipos presentes en la unidad de ozonización.

Tabla 1.1.1 Presupuesto de equipos

EQUIPO	MODELO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Cámara de contacto de Ozono ¹	Tamesur	1	21.352,00 €	21.352,00 €
Destructor Ozono ²	Innovatec KVMi 250-2	1	2.795,00 €	2.795,00 €
Generador de Ozono ³	Asp Asepsia generadores de Ozono modelo BGQ-C4.1-90 \bar{g}/h	3	5.409,00 €	16.227,00 €
Bomba de recirculación ⁴	Ideal GNI 40-26 1450/4	1	10.121,30 €	10.121,30 €
TOTAL				50.495,30 €

- 1 En precio se incluye el soporte, la instalación, los sensores de nivel y accesorios recomendados por el fabricante para el funcionamiento normal de la cámara de contacto.
- 2 En el precio se incluye un medidor de concentración de Ozono a la salida del destructor.
- 3 En el precio se incluye un medidor de concentración de Ozono a la salida del generador.
- 4 El precio incluye el motor de la bomba y el soporte de instalación.

1.2. Accesorios y tuberías

En el presente apartado se indican los precios de las válvulas, uniones, tes y tramos de tuberías necesarios para la conducción de los correspondientes fluidos entre los distintos equipos que componen la unidad de ozonización.

La Tabla 1.2.1 Presupuesto de accesorios y tuberías muestra todos los accesorios y tuberías de todas las líneas empleadas en la unidad de ozonización excepto las líneas A y B del ANEXO - DIAGRAMA DE PROCESO.

Tabla 1.2.1 Presupuesto de accesorios y tuberías

Accesorio	MODELO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Codo estándar de 90° 1 1/2"	Tubacero	4	21,50 €	86,00 €
Codo estándar de 90 1/2"	Tubacero	2	17,25 €	34,50 €
Tubería 1 1/2"	Bornay	4	23,60 € ⁵	94,40 €
Tubería gas 1/2 "	Bornay	8,25	8,50 € ⁶	70,13 €
Inyector Venturi	Mazzei 1584	1	200,00 €	200,00 €
Válvula de globo 1 1/2"	Tubacero	3	69,93 €	209,79 €
Válvula de globo de 1/2"	Tubacero	3	59,93 €	179,79 €
Te recta de 1/2"	Tubacero	2	35,00 €	70,00 €

5 Precio por metro de tubería de 1 1/2 "

6 Precio por metro de tubería de 1/2 "

Rotámetro	mod. ozono flowmeter	1	495,50 €	495,50 €
Manómetro	Gasli Standar DN 40 mm 5240 R 1/8 NPT 4 bar-PSI	2	95,50	191,00 €
TOTAL				1.631,11 €

De la Tabla 1.1.1 Presupuesto de equipos y la Tabla 1.2.1 Presupuesto de accesorios y tuberías se obtiene el siguiente presupuesto de ejecución material.

Equipos.....50.495,30 €

Tuberías y accesorios.....1.631,11 €

Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.).....52.126,41 €

Asciende el PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL a la cantidad de “CINCUENTA Y DOS MIL CIENTO VEINTISEIS EUROS CON CUARENTA Y UN CENTIMOS”.

2.- PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.).....	52.126,41 €
Gastos Generales y Beneficio Industrial (15%).....	7.818,96 €
I.V.A. (18%).....	10.790,17 €

PRESUPUESTO

Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.).....	70.735,54 €
---	-------------

Asciende el PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA a la cantidad de “SETENTA MIL SETECIENTOS TREINTA Y CINCO CON CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS”.

PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1.-GENERALIDADES.....	1
2.-CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS.....	4
3.-EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	5
4.-INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	6
5.-PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS.....	8
6.-RECEPCIÓN Y GARANTÍA.....	11
7.-DISPOSICIONES GENERALES.....	13

1.- GENERALIDADES

Artículo 1

Este pliego contiene las condiciones particulares que regirán en la instalación del equipo de tratamiento de agua del presente proyecto.

Artículo 2

El sistema de contratación será por petición de ofertas a las Empresas Instaladoras, reservándose la Propiedad la facultad de la contratación total o parcial del montaje en la instalación.

Artículo 3

Las empresas instaladoras presentarán sus ofertas, especificando el coste por separado de los materiales, prefabricación (si la hubiera) y montaje de los distintos apartados del presente proyecto.

Artículo 4

El montaje de la instalación lo realizará la Empresa o Empresas Instaladoras conforme al presente proyecto. A la Empresa Instaladora se le entregarán los ejemplares precisos de los documentos del proyecto.

Artículo 5

Con la documentación entregada, la Empresa Instaladora se compromete a cumplir el ritmo y plazos estipulados por Propiedad-Empresa Instaladora e Ingeniero Director conjuntamente.

Artículo 6

La Empresa Instaladora adjudicataria no podrá subcontratar el total del montaje de instalación y si desea contratar parte de él, las Empresas Subcontratadas deberán haber sido autorizadas por el Ingeniero Director; siendo la Empresa Instaladora adjudicataria siempre la responsable frente a la Propiedad de la marcha y corrección del montaje de la instalación.

Artículo 7

La ejecución de los trabajos de cualquier clase no especificados en el presente pliego de condiciones, se efectuará conforme a las reglas del arte normales a la profesión y en conformidad con las normas en vigor, debiendo en todo caso ejecutarse con arreglo a las instrucciones que al efecto se pidan y reciban del Ingeniero Director, sin tener la Empresa Instaladora derecho a reclamación alguna por estas órdenes que recibiese.

Artículo 8

La Empresa instaladora, antes de presentar su oferta, deberá estudiar perfectamente este Pliego de Condiciones, así como el resto del proyecto, teniendo en cuenta que se exigirá rigurosamente todo lo establecido en él. En ningún caso podrá la Empresa Instaladora alegar diferencias entre lo dispuesto y los usos o costumbres de la localidad, o los antecedentes de otras instalaciones, bien se trate de ejecución, de la forma de hacer las mediciones o de cualquier otro punto considerado en este pliego.

Artículo 9

La Empresa Instaladora deberá tener presente y cumplir lo que se determina en la vigente Reglamentación de Seguridad e Higiene en el Trabajo, siendo responsable de todos los accidentes, daños, perjuicio o transgresión que pudiera sobrevenir en el transcurso de las obras debido al incumplimiento de ella. Asimismo se compromete a tener dado de alta en la Seguridad Social al personal que participe en el montaje de la instalación.

Artículo 10

En el momento del montaje de la instalación, la Empresa Instaladora deberá disponer de todo lo necesario para el correcto montaje suministrando la Propiedad del terreno, la energía eléctrica y agua en cantidades suficientes.

Artículo 11

Si hubiera contradicciones u omisiones en los documentos del presente proyecto, se tomará como definitivo lo que estipule el Ingeniero Director, no pudiendo la Empresa Instaladora alegar objeción alguna de ninguna índole.

Artículo 12

Aparte de lo estipulado en el presente pliego de condiciones, la Empresa Instaladora deberá cumplir toda la legislación vigente que pudiera afectarles.

2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS

Artículo 13

Todos los elementos que entren en la composición de los suministros y montaje procederán de talleres o fábricas previamente aceptados por el Ingeniero Director.

Artículo 14

Desde el momento del inicio del montaje de la instalación de la Empresa Instaladora será la responsable de la custodia de los terrenos, instalaciones y demás elementos previstos por la Propiedad para su uso.

Artículo 17

Las características de las tuberías y elementos de acero inoxidable serán las marcadas en las normas UNE y en su defecto por las marcadas en las normas ASTM.

Artículo 18

Las tolerancias geométricas de las dimensiones y demás parámetros físicos serán las normalmente establecidas en el arte del buen construir.

3.- EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Artículo 21

Las tuberías de acero inoxidable serán unidas por bridas a los equipos y en las uniones entre sí se unirá por soldadura eléctrico, utilizando los electrodos apropiados.

Artículo 22

Cuando las tuberías deban atravesar muros, tabiques, techos u otros elementos de construcción, se abrirá el correspondiente orificio, que tendrá de radio al menos cincuenta milímetros mayor del radio de la tubería no debiendo instalarse ningún accesorio a menos de 200 mm del elemento de construcción que se atraviese.

4.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Artículo 23

Toda la instalación eléctrica se ajustará a lo establecido en el Reglamento eléctrico de baja tensión REBT/2002 y las posteriores modificaciones que correspondan.

Artículo 24

Los cables de la instalación se colocarán sobre aisladores, de modo que los conductores queden siempre un centímetro de distancia mínima de los muros en los lugares secos, con tensiones usuales, y de cinco centímetros, con tensiones especiales o en lugares húmedos. Los aisladores estarán fabricados con materiales incombustibles

Artículo 25

Todas las instalaciones deberán estar protegidas por cortacircuitos fusibles o por automáticos de máxima que aseguren la interrupción de la corriente para una intensidad anormal.

Artículo 26

Para atravesar muros, tabiques, techos u otros elementos de construcción, los conductores deberán estar protegidos por tubos de suficiente resistencia mecánica, y si estos son metálicos llevarán un aislamiento supletorio, que deberá sobrepasar un centímetro los extremos del tubo; los finales de los tubos protectores correspondientes a los parámetros exteriores deberán ser de porcelana o vidrio y estar dispuestos de manera que no sea posible la entrada y acumulación de agua a su interior por efecto de la lluvia.

Artículo 27

Los conductores pueden ser de cobre u otro material conductor de corriente.

Artículo 31

En el recorrido de los cables se indicará previamente y se someterá previamente a la aprobación del Ingeniero Director antes de proceder a la sujeción definitiva.

Artículo 32

Los tubos se sujetarán a las paredes por medio de grapas, simples o múltiples si se trata de tubos paralelos, distanciados 90 centímetros aproximadamente y más cerca de las curvas o fijación de piezas especiales.

5.- PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS

Artículo 34

Todos los elementos y accesorios que integran las instalaciones serán objeto de las pruebas reglamentarias.

Antes de proceder al empeoramiento de las tuberías, las Empresas Instaladoras están obligadas a efectuar la siguiente prueba: prueba de resistencia mecánica y estanqueidad. Dicha prueba se efectuará con presión hidráulica.

- Serán objeto de esta prueba todas la tuberías, elementos y accesorios que integran la instalación.
- La prueba se efectuará a 15 Kg/cm^2 . Para iniciar la prueba se llenará de agua toda la instalación manteniendo abiertos todos los grifos hasta que tenga la seguridad de que la purga ha sido completa y no queda nada de aire. Entonces se cerrarán los grifos que nos han servido de purga y el de fuente de alimentación. A continuación se empleará la bomba, que ya estará conectada y se mantendrá su funcionamiento hasta alcanzar la presión de prueba. Una vez conseguida, se cerrará la llave de paso de la bomba. Se procederá a reconocer toda la instalación para asegurarse de que no existe pérdida.
- A continuación se disminuirá la presión hasta llegar a la de servicio, con un mínimo de 6 Kg/cm^2 y se mantendrá esta presión durante 15 minutos. Se dará por buena la instalación si durante este tiempo la lectura del manómetro ha permanecido constante.
- El manómetro a emplear en esta prueba deberá apreciar, con claridad, décimas de Kg/cm^2 .

Artículo 37

Para cada uno de los equipos el Ingeniero Director podrá determinar la prueba o pruebas que considere oportunas, estando la Empresa Instaladora obligada a realizarlas.

Artículo 38

La Empresa Instaladora deberá avisar al Ingeniero Director al menos con 48 horas de antelación antes de la realización de las pruebas previamente a la realización de éstas.

Artículo 39

Antes de ser puestas en servicio, las tuberías deberán ser sometidas a un lavado y a un tratamiento de depuración bacteriológica adecuado. A estos efectos, la red tendrá las llaves y desagües necesarios no sólo para la explotación, sino para facilitar estas operaciones.

Artículo 40

Para la puesta en marcha se tendrán en cuenta las siguientes actuaciones:

- 1º.- El agua tratada será evacuada por el alcantarillado en un principio.
- 2º.- El ozonizador se hará funcionar sin tensión en los tubos o platos durante 10 minutos.
- 3º.- Se tomarán muestras de agua en los distintos puntos de instalación y se efectuarán los análisis normales descritos en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

A la vista del resultado de los análisis se podrá dar por terminado provisionalmente el montaje de la instalación.

6.- RECEPCIÓN Y GARANTÍA

Artículo 41

La Empresa Instaladora reflejará en copias de planos de este proyecto todas las modificaciones que considere necesarias para ser sometidas a la aprobación o rechazo del Ingeniero Director.

Artículo 42

Los planos de la instalación acabada serán los mismos de este proyecto con la adición de las modificaciones que hubiese durante la instalación.

La Empresa Instaladora, de acuerdo con la marca y modelo de los equipos y materiales utilizados, deberá completar los gráficos y/o esquemas funcionales de este proyecto, incluyendo una nomenclatura de identificación de todos los equipos, válvulas, controles, etc. y con la aprobación del Ingeniero Director los colocará en lugar visible del local en que va ubicada la Unidad, debidamente plastificados.

La Empresa Instaladora reunirá todas y cada una de las instrucciones de servicio y mantenimiento de cada fabricante de los equipos y materiales instalados, debiendo entregar dos ejemplares de cada uno al finalizar la instalación. Así mismo, preparará unas instrucciones de servicio y funcionamiento del conjunto del que deberá entregar también dos ejemplares.

Artículo 43

Una vez realizadas con resultado satisfactorio todas aquellas pruebas, tanto parciales como de funcionamiento global, que el Ingeniero Director considere pertinentes, se considerará la instalación en condiciones de perfecto funcionamiento.

De este modo, se procederá a la recepción provisional, debiendo además estar la instalación en perfectas condiciones en cuanto a limpieza, pintura remates, etc. Al año de la Recepción Provisional, se repetirán las pruebas que el Ingeniero Director considere precisas, y si el resultado es satisfactorio, se procederá a la Recepción Definitiva.

Tanto en la recepción provisional como en la definitiva, la Empresa Instaladora deberá efectuar a su cargo, todos los cambios, reparaciones o sustituciones necesarias para obtener los resultados satisfactorios exigibles.

Artículo 44

La Empresa Instaladora entregará a la propiedad una garantía escrita, indicando que reparará o repondrá, según necesidades de la instalación, a su propio costo, todos los defectos o averías debidas a la mala calidad de los materiales, defectos de fabricación y defectos de instalación durante un año como mínimo, contado a partir de la fecha de la recepción definitiva.

La Empresa Instaladora garantizará por escrito el cumplimiento por periodo no menor de cinco años, el servicio de mantenimiento y conservación de acuerdo con la oferta de estos servicios, que deberá presentar juntamente con la oferta de la instalación. La Propiedad se reserva el derecho de contratar este servicio con el mismo instalador o con otro.

7.- DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 45

El precio del montaje de la instalación no será revisable.

Artículo 46

La forma de pago será la siguiente:

- 10% a la adjudicación de la instalación.
- 30% al acopio del 80% de los materiales.
- 50% a la terminación del montaje y aceptación del Ingeniero Director de las pruebas realizadas.
- 10% será retenido por la Propiedad durante un año hasta la recepción final de la instalación.

Artículo 47

El presente contrato podrá ser rescindido, tanto por mutuo acuerdo como base del incumplimiento del mismo por deseo expreso de la Propiedad o de la Empresa Instaladora.

En caso de rescisión por incumplimiento, si es culpable del mismo la Empresa Instaladora, ésta perderá el importe de las obras ejecutadas. Si por el contrario fuese la Propiedad la culpable del incumplimiento, quedará obligada a responder de cuantos compromisos y obligaciones hubiese asumido la Empresa Instaladora. En todo caso habrá de ser abonado a la Empresa Instaladora el precio de las obras hasta el momento de la rescisión que no hayan sido liquidadas.

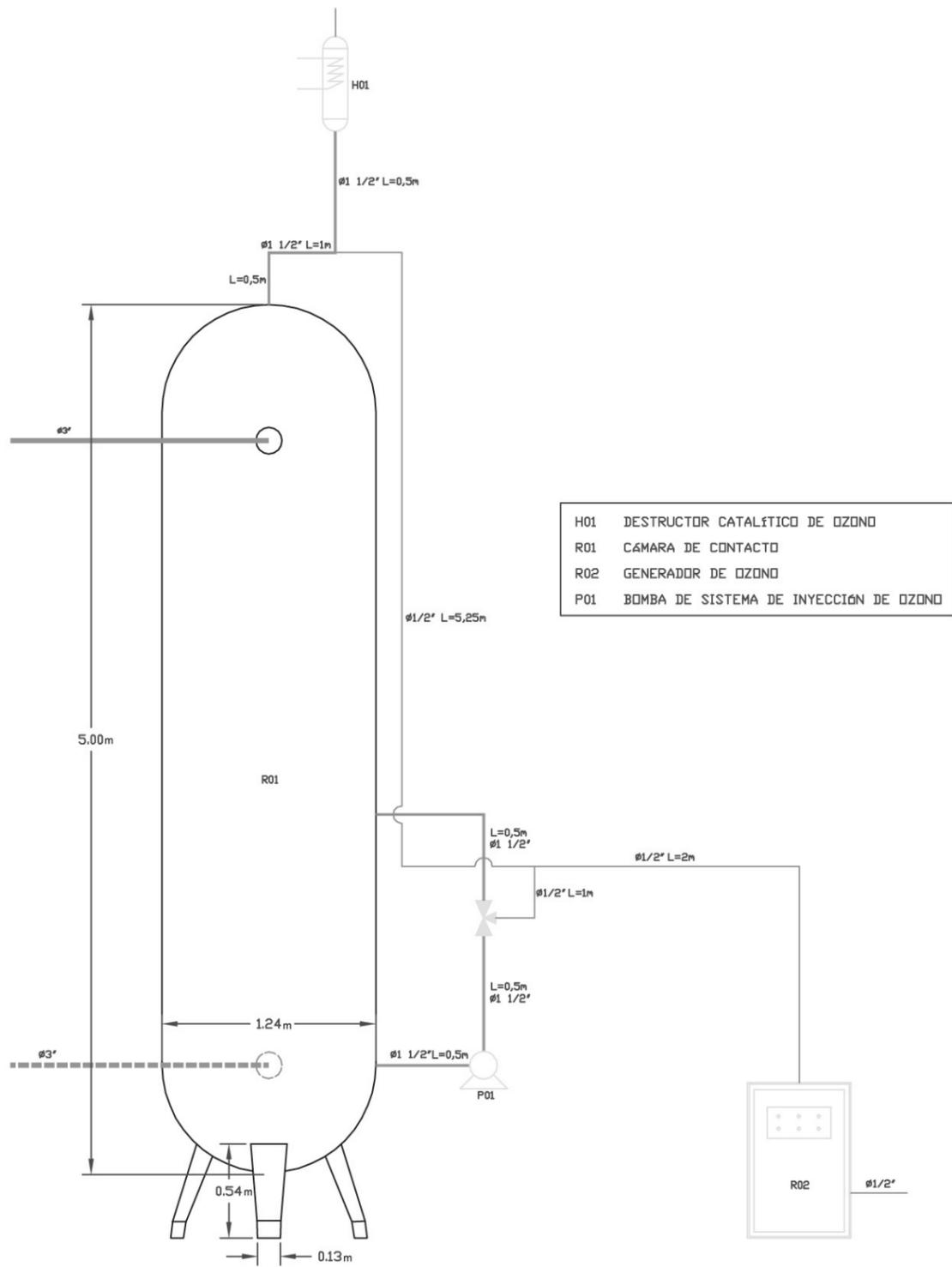
Producida la rescisión, las instalaciones se ejecutarán con arreglo a las siguientes normas:

- Desde que se apruebe la rescisión del contrato, la Empresa Instaladora ha de sujetarse a un plan que determine el Ingeniero Director para poner el montaje de la instalación en estado de fácil conservación y posterior reanudación, utilizando las unidades de obra, o partes de ella que se señalen, no pudiendo transcurrir menos de 10 días ni más de 30 entre el acuerdo de la suspensión el cese de los trabajos, y en este plazo precisamente ha de ejecutarse el plan que ordene el Ingeniero Director, cuyo plan no implicará el rito de obras anteriores.
- La liquidación de las obras en caso de rescisión , la ejecutará el Ingeniero Director, separando tres capítulos, uno dedicado al montaje adecuado, otro dedicado a los elementos prefabricados construidos y un último capítulo dedicado a los materiales acopiados.

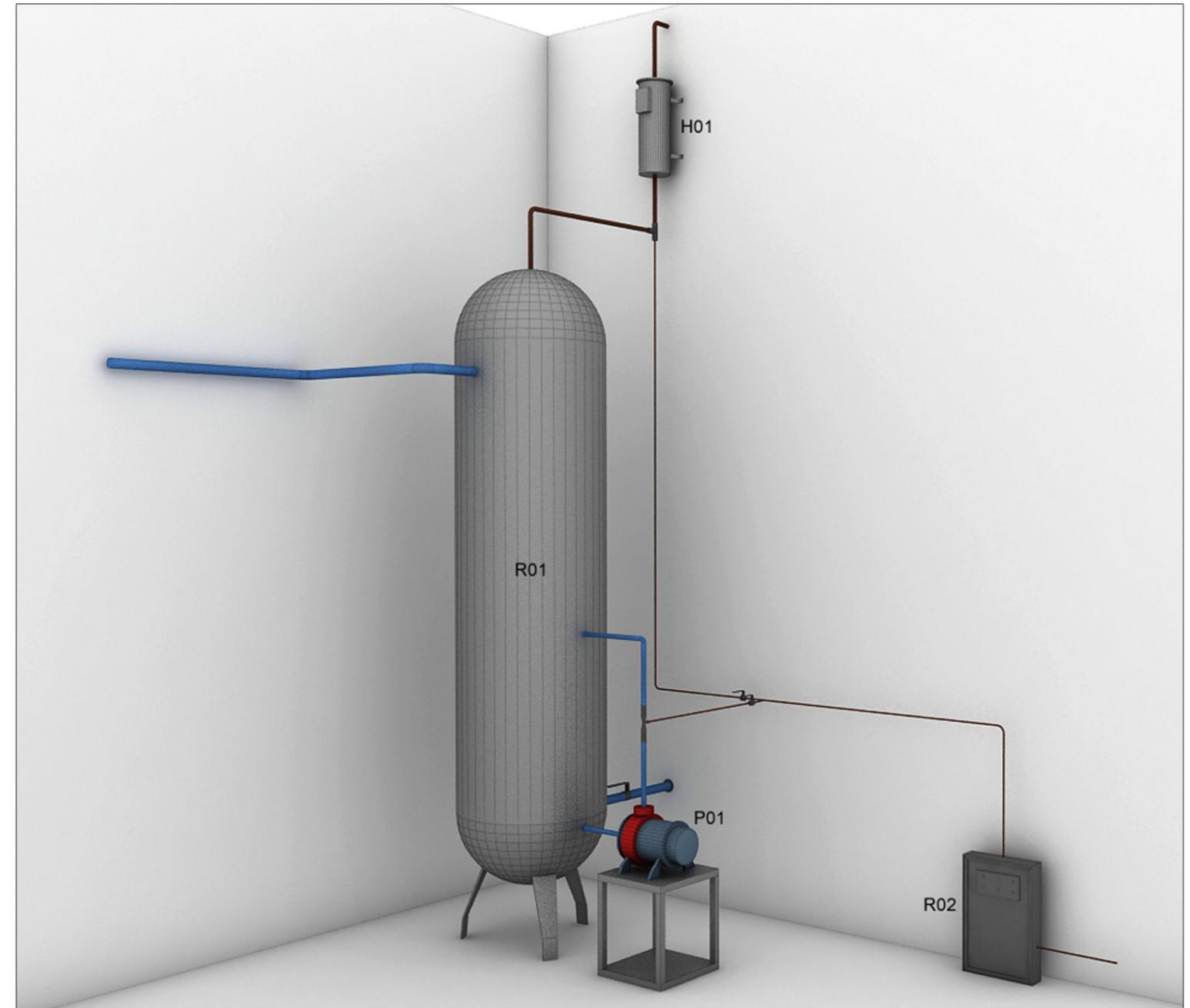
Artículo 48

Para lo no previsto en este pliego, se estará sujeto a lo que determine el Ingeniero Director. En caso de litigios por discrepancias se acudirá a amigables componedores y en todo caso serán sometido a los Juzgados y Tribunales de la localidad de la instalación.

PLANOS

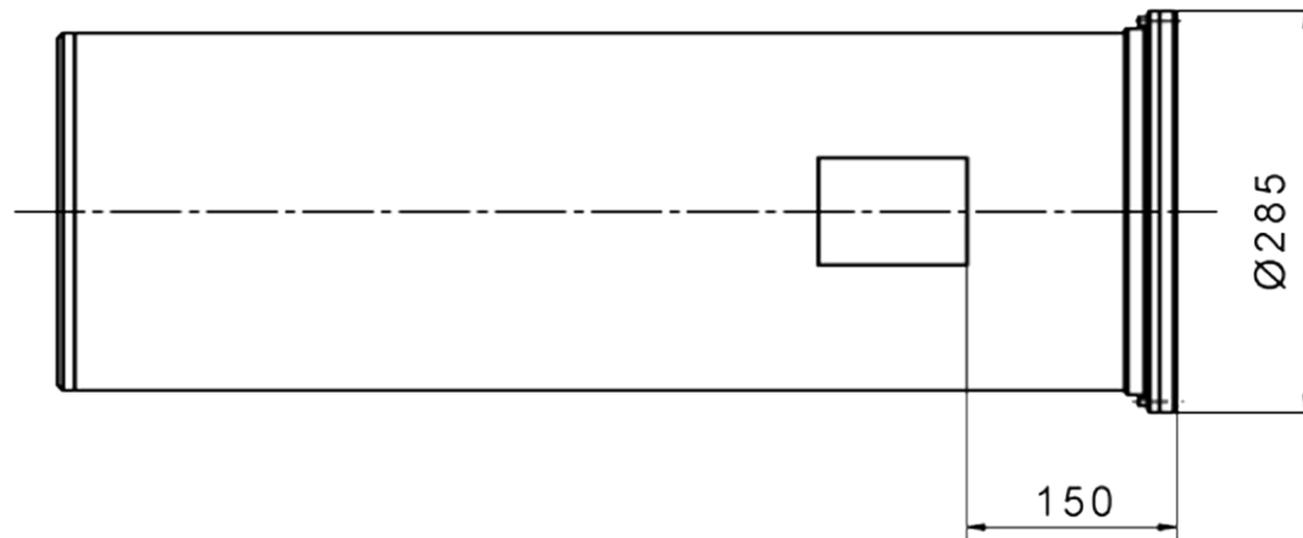
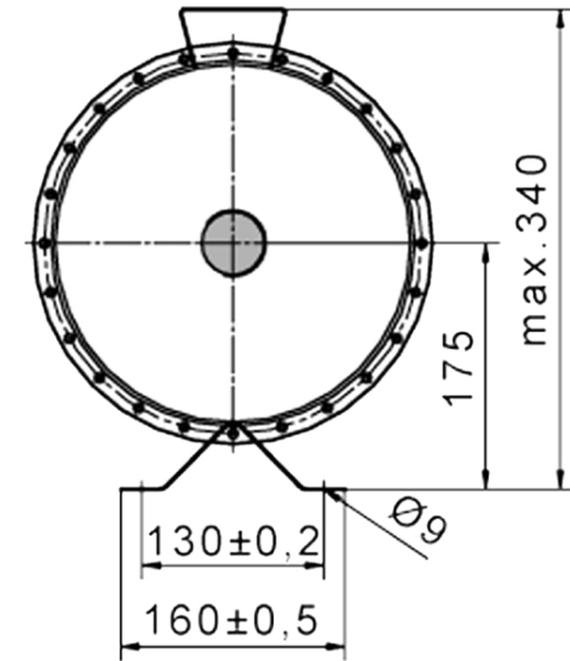
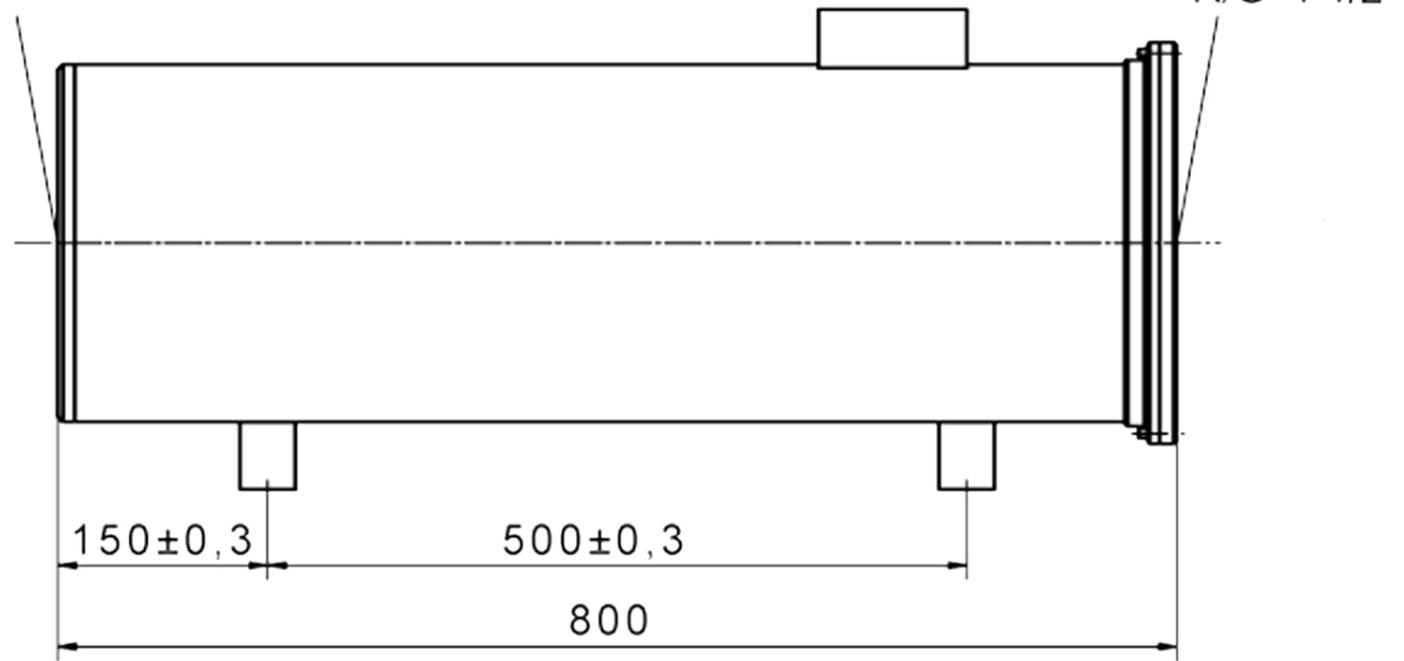


VISTA ISOMÉTRICA



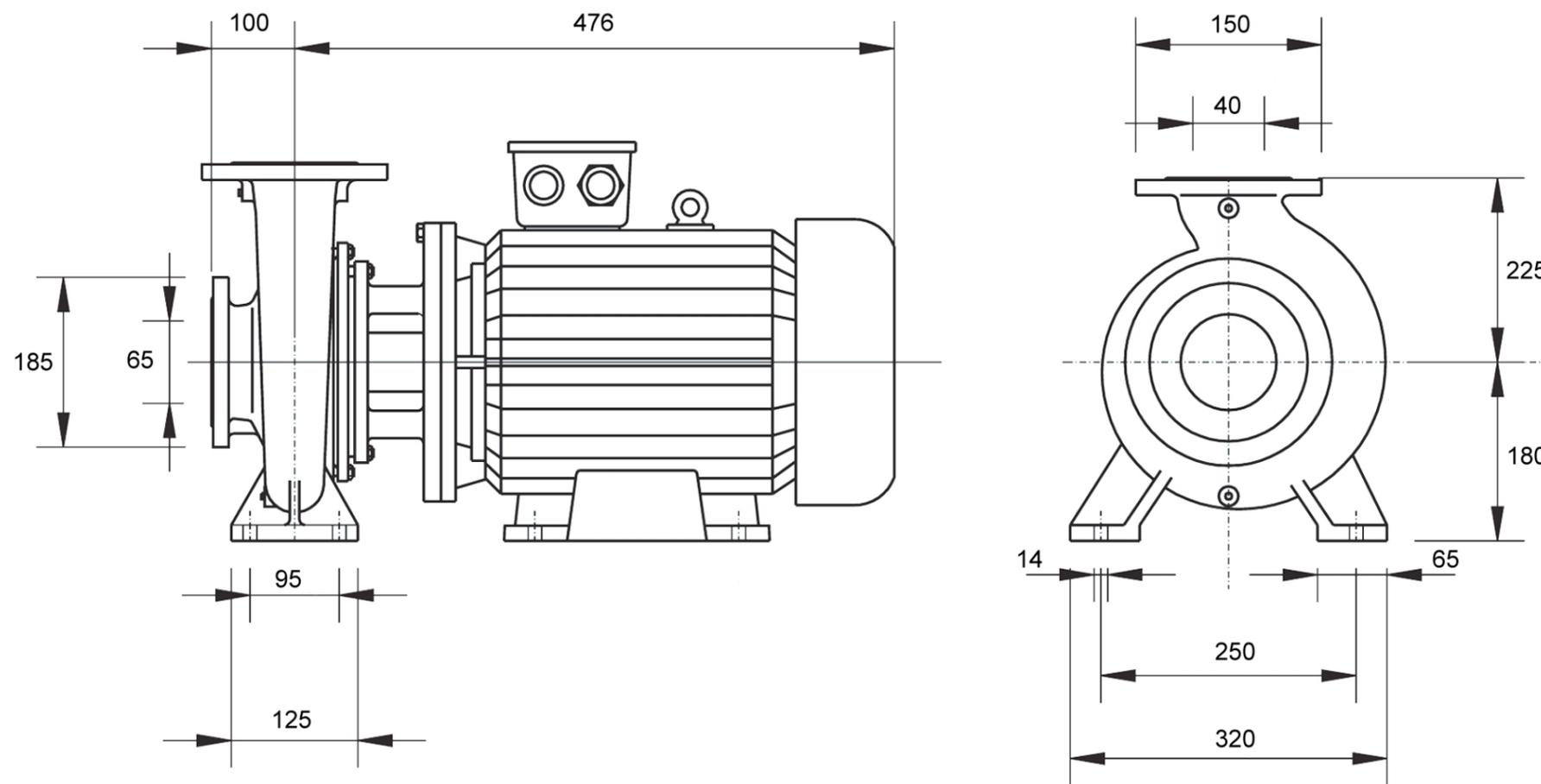
PROYECTO FIN DE CARRERA	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		
DISEÑO DE UN PROCESO DE OZONIZACIÓN POR INYECCIÓN VENTURI PARA ELIMINACIÓN DE PESTICIDAS PRESENTES EN UN AFLUENTE A UNA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			
01 PLANO ESQUEMÁTICO DE UNIDAD DE OZONIZACIÓN			
AUTOR: ADRIAN LOPEZ-CEPERO GONZALEZ	FECHA: SEPTIEMBRE 2011	ESCALA: 1:50	FIRMA:

R/G 1 1/2"



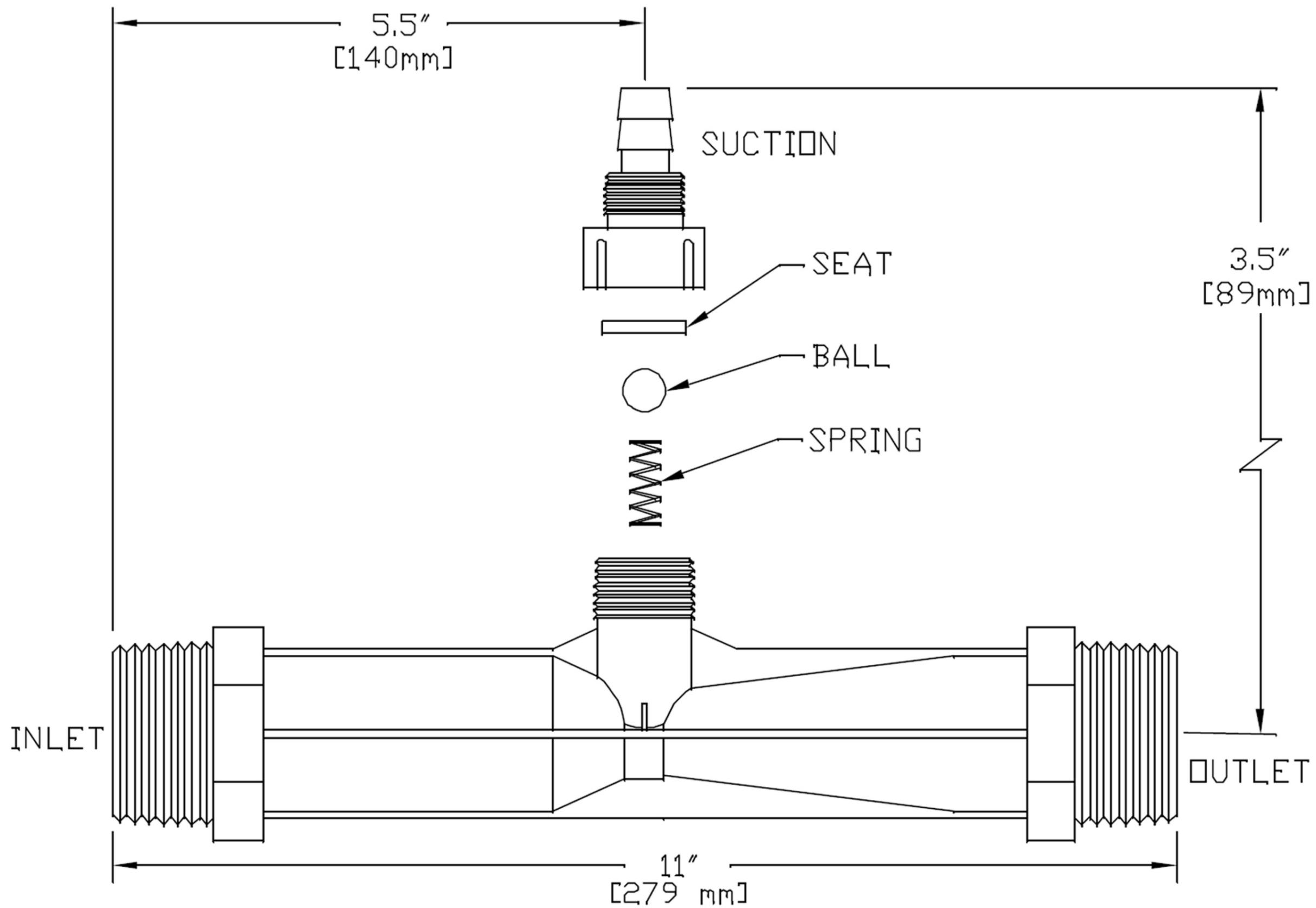
unid. : mm

PROYECTO FIN DE CARRERA	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		
DISEÑO DE UN PROCESO DE OZONIZACIÓN POR INYECCIÓN VENTURI PARA ELIMINACIÓN DE PESTICIDAS PRESENTES EN UN AFLUENTE A UNA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			
02 PLANO DESTRUCTOR DE OZONO H01			
AUTOR: ADRIAN LOPEZ-CEPERO GONZALEZ	FECHA: SEPTIEMBRE 2011	ESCALA: 1:20	FIRMA:



unid. : mm

PROYECTO FIN DE CARRERA	FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		
DISEÑO DE UN PROCESO DE OZONIZACIÓN POR INYECCIÓN VENTURI PARA ELIMINACIÓN DE PESTICIDAS PRESENTES EN UN AFLUENTE A UNA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			
03 PLANO BOMBA P01			
AUTOR: ADRIAN LOPEZ-CEPERO GONZALEZ	FECHA: SEPTIEMBRE 2011	ESCALA: 1:20	FIRMA:



PROYECTO FIN DE CARRERA

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

DISEÑO DE UN PROCESO DE OZONIZACIÓN POR INYECCIÓN VENTURI PARA ELIMINACIÓN DE PESTICIDAS PRESENTES EN UN AFLUENTE A UNA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

04 PLANO INYECTOR VENTURI MAZZEI 1584

AUTOR:
ADRIAN LOPEZ-CEPERO GONZALEZ

FECHA:
SEPTIEMBRE 2011

ESCALA:
1:1

FIRMA:

