

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
SERVIDAS DE LA INDUSTRIA PETROLERA,  
BASADA EN LA INYECCIÓN DE OZONO.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. José E. Bejarano G.  
para optar al Título  
de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE LA INDUSTRIA PETROLERA, BASADA EN LA INYECCIÓN DE OZONO.**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Frank Pietersz

TUTOR INDUSTRIAL: Prof. Pedro Patiño

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. José E. Bejarano G.  
para optar al Título  
de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

**ACTA**

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Br. José E. Bejarano G., titulado:

**“Diseño de una planta piloto de tratamiento de aguas servidas de la industria petrolera, basada en la inyección de ozono”**

consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico y, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor.



**Prof. José L. Perera**

**Jurado**



**Prof. José R. González**

**Jurado**



**Prof. Frank Pietersz**

**Tutor Académico**

## **DEDICATORIA**

La culminación de este trabajo hace que llegue a su final uno de los periodos y de las labores mas maravillosas de mi vida, trayendo consigo la esperanza de encontrar nuevas oportunidades que me ayuden a mi formación personal y profesional. Muchas personas han facilitado mi paso por este trayecto y solo por la sencilla razón de quererme y aceptarme tal y como soy, les dedico el fruto de mis estudios.

Especialmente dedicado a mis tíos, Diomelis y Pedro, que me han dado su apoyo incondicional y guiado hacia el mejor camino, gracias, los quiero mucho.

A mi madre, con su apoyo incondicional estuvo conmigo siempre y por apoyarme, cuidarme y guiarme como si su propia vida dependiera de ello, te quiero mucho.

A mis tías, tíos, abuelos y primos que siempre me han apoyado y me han brindado motivación y ayuda en todo momento, los quiero mucho.

A todos mis amigos y compañeros, especialmente a los “Bichitos”, siempre estuvieron apoyándome en esta etapa de mi vida.

A mi querida Carol, por brindarme su apoyo y amor durante la realización de este trabajo tan importante.

A todos MUCHAS GRACIAS.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, nuestro eterno agradecimiento por estar siempre con nosotros el cuál me permitió cumplir una meta más en mi vida.

A la Universidad Central de Venezuela, por darme acceso a una excelente formación académica y permitirme disfrutar de mis mejores años dentro de sus instalaciones.

A mi tutor, Profesor Pedro Patiño, que con su ayuda y colaboración prestada fue posible la realización y culminación de este trabajo.

A los Profesores Ing. Frank Pietersz, Ing. José Rafael González y Ing. José Luis Perera, que con su ayuda y colaboración prestada fue posible la realización y culminación de este trabajo.

A el Ing. Edward Torres y el Ing. Josué León, por su colaboración en este proyecto.

A todos MUCHAS GRACIAS.

**Bejarano G., José E.**

**DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS  
DE LA INDUSTRIA PETROLERA, BASADA EN LA INYECCIÓN  
DE MICRO-BURBUJAS DE OZONO.**

**Tutor Académico: Prof. Pietersz C., Frank. Tesis. Caracas, U.C.V.  
Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2003. 152 pág.**

Ozono, eyector, burbujas, dosificador, tratamiento, fenol

En el presente trabajo se ha diseñado un sistema de eliminación de fenol en agua, basado en la mezcla mediante el eyector de un poderoso agente oxidante, el ozono ( $O_3$ ). Para reducir la cantidad de este que se consume en el sistema, se rediseño un eyector tipo Venturi que, gracias a la turbulencia del fluido en el sistema, produce burbujas de ozono de pequeños diámetros; éstas ayudan a alargar el tiempo de permanencia del ozono en el agua, con lo que se aumenta la eficiencia de la reacción ozono + fenol. Por otra parte, se diseñó un dosificador que distribuye de manera homogénea las pequeñas burbujas y, por ende el ozono, en todo el recipiente que contiene al agua a ser tratada.

Con base a las curvas obtenidas mediante pruebas experimentales, se determinó el diámetro de la reducción de salida del eyector que permitió la mejor mezcla ozono-fenol y la mejor succión en este dispositivo; este diámetro fue de 18mm, en un diámetro interno de tubería de 28,48mm. Igualmente, se calculó la variación del diámetro de los orificios del dosificador, de manera que el caudal en cada uno de ellos fuese igual a lo largo de esta tubería colocada en el fondo del recipiente. Esto garantizó homogeneidad en todo el sistema.

Con el equipo que se ha descrito, se realizó el tratamiento de 1000 litros de agua contaminada con fenol, a una concentración de 6,15 mg/L (ppm). El resultado fue que se necesitó 5,8 moles de ozono para eliminar cada mol de fenol, valor inferior en 1,85 moles al empleado inyectando el ozono al agua con un difusor de placa porosa. Ello debería redundar en una reducción de costos del sistema de tratamiento.

Esta Tesis ha sido realizada en el marco del Proyecto C-03-12-4083-01, auspiciado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV. Se agradece ampliamente la colaboración recibida.

## INDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>vi</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO</b>	<b>viii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>xii</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>xiv</b>
<b>INDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>xv</b>
<b>CAPITULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>1</b>
1.1- Antecedentes	1
1.1.1- Sistema de Placa Porosa	1
1.2- Planteamiento del problema	2
1.3- Objetivos y alcances	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2- Objetivos Específicos	4
1.3.3- Alcances	5
1.4- Limitaciones	5
<b>CAPITULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b>	<b>7</b>
2.1- Introducción	7
2.1.1- Ventajas del uso del ozono en el tratamiento de aguas servidas	8
2.2.- Tecnología utilizada	8
2.3- Componentes principales de un sistema de tratamiento de aguas basado en inyección de ozono	9
2.3.1- Generador de Ozono	9
2.3.2- Generador de Oxígeno (O <sub>2</sub> )	10
2.3.3- Bomba Centrífuga Horizontal	11
2.3.4- Inyector de ozono	12
2.3.4.1- Parámetros operacionales del inyector	13
	viii

	<b>Pág.</b>
2.3.5- Válvulas	14
2.3.5.1- Válvulas de Bola	14
2.3.5.3- Válvula de pie o check	15
2.3.6- Otros Accesorios	16
2.4- Regímenes de flujo de fluidos en tuberías: laminar y turbulento	17
2.5- Disipación de energía	18
2.5.1- Pérdidas por fricción en tuberías	19
2.5.1.1- Fórmula de Darcy - Weisbach	20
2.5.2- Pérdidas menores en flujo por tuberías	21
2.6- Tubo de Venturi	22
2.7- Cavitación	24
2.7.1- NPSH Disponible: (Carga neta positiva de succión)	24
2.7.2- NPSH Requerido	25
<b>CAPITULO 3: MARCO METODOLOGICO</b>	<b>26</b>
3.1- Tipo de investigación	26
3.2- Área de investigación	27
3.3- Técnicas e instrumentos de recolección de datos	27
3.3.1- Revisión Bibliográfica	28
3.3.2- Observación Directa	28
3.3.3- Entrevista	28
3.4- Método del diseño	29
3.5- Tormenta de ideas	30
3.6- Propuestas	30
3.6.1- Propuesta 1	30
3.6.2- Propuesta 2	31
3.6.3- Propuesta 3	31
3.6.4- Propuesta 4	32

	<b>Pág.</b>
3.6- Análisis morfológico	32
3.6.1- Tamaño de las microburbujas	32
3.6.2- Energía de bombeo requerida	33
3.6.3- Homogeneidad en la distribución de burbujas en el estanque	33
3.6.4- Tipo de inyección de ozono (O <sub>3</sub> ) al sistema	33
3.6.5- Innovación	33
3.6.6- Pérdida de presión en la línea a través del inyector	34
3.6.7- Tipo de dosificador	34
3.6.8- Mantenimiento requerido	34
3.6.9- Confiabilidad	34
3.7- Diseño de los equipos	36
<b>CAPITULO 4: CONSIDERACIONES GENERALES Y DISEÑO DEL BANCO</b>	
<b>DE PRUEBA</b>	<b>38</b>
4.1 – Bomba	38
4.1.1- Tabla de características generales de la Bomba EB-75	39
4.2- Tubería	40
4.2.1. Sistema de tubería en el banco de pruebas	41
4.2.2- Pérdidas por fricción en el banco de pruebas diseñado	42
4.2.2.1- Coeficientes de Resistencia “K” para accesorios	42
4.3- Eyector de Ozono	46
4.4- Estanque	47
4.5- Aspersor	47
4.5.1- Diseño del aspersor	48
4.6- Banco de Prueba Diseñado	54
<b>CAPITULO 5: PRUEBAS HIDRAULICAS DEL EYECTOR</b>	<b>57</b>
5.1- Geometría del Eyector	57
5.1.1- Ángulos de Conos Internos	57

	<b>Pág.</b>
5.1.2- Diámetros estudiados para el cono divergente	59
5.2- Pruebas con el Eyector	64
5.2.1- Prueba 1	64
5.2.2- Prueba 2	65
5.2.3- Prueba 3	66
5.2.4- Prueba 4	66
5.2.5- Prueba 5	67
5.2.6- Prueba 6	68
<b>CAPITULO 6: DISCUSIÓN Y RESULTADOS</b>	<b>70</b>
6.1- Resultados	70
6.1.1- Prueba 1	70
6.1.2- Prueba 2	72
6.1.3- Prueba 3	74
6.1.4- Prueba 4	76
6.1.5- Prueba 5	78
6.1.6- Prueba 6	80
6.2- Selección de diámetro ( $D_2$ ) adecuado	82
6.3- Sistema Diseñado	83
6.4- Banco de prueba en funcionamiento	84
6.5- Aplicación del equipo diseñado a la eliminación de fenol en agua	87
6.6- Muestras Realizadas	87
6.7- Sólidos Suspendidos (Efecto F.A.D.)	90
<b>CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>91</b>
7.1- Conclusiones	91
7.2- Recomendaciones	93
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>94</b>
<b>APENDICES</b>	

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Fig. 1.1</b> Diagrama del montaje con placa porosa y trampa para ozono	2
<b>Fig. 2.1</b> Generador de oxígeno (O <sub>2</sub> )	11
<b>Fig. 2.2</b> Bomba Centrífuga Horizontal	12
<b>Fig. 2.3</b> Válvula de Bola	15
<b>Fig. 2.4</b> Válvula de pie o check	15
<b>Fig. 2.5</b> Maraca	17
<b>Fig. 2.6</b> Balance de energía para dos puntos de un fluido	19
<b>Fig. 2.7</b> Tubo de Venturi	22
<b>Fig. 3.2</b> Inyector tipo Pitot	31
<b>Fig. 4.1.</b> Bomba Centrífuga utilizada para el tratamiento	38
<b>Fig. 4.2.</b> Características del motor	39
<b>Fig. 4.3.</b> Características de la bomba	39
<b>Fig. 4.4.</b> Disposición final del sistema de tuberías y accesorios del banco de pruebas para el tratamiento.	41
<b>Fig. 4.5.</b> Curvas características	45
<b>Fig. 4.6.</b> Eyector suministrado por la empresa	46
<b>Fig. 4.7.</b> Estanque para el tratamiento	47
<b>Fig. 4.8.</b> Tubería ahuecada	48
<b>Fig. 4.9.</b> Aspersor diseñado	53
<b>Fig. 4.10.</b> Vista general del banco de pruebas	54
<b>Fig. 4.11.</b> Sistema de tratamiento	55
<b>Fig. 4.12.</b> Detalle del conjunto manómetro y eyector	55
<b>Fig. 4.13.</b> Válvula de PVC de 1"	56
<b>Fig. 4.14.</b> Montaje del Sistema	56
<b>Fig. 4.15.</b> Válvula check y maraca 1½"	56

	<b>Pág.</b>
<b>Fig. 5.1.</b> Cono convergente del eyector	58
<b>Fig. 5.2.</b> Cono divergente del eyector	59
<b>Fig. 5.3.</b> Relación de diámetros en el eyector	59
<b>Fig. 5.4.</b> Toma de medidas de presión en el eyector	60
<b>Fig. 5.5.</b> Instrumentos de medición de presión en el eyector	62
<b>Fig. 5.6.</b> Toma de presión de succión con el vacuometro	62
<b>Fig. 5.7.</b> Disposición de los manómetros	63
<b>Fig. 5.8.</b> Medición de presión ( $P_2$ ) aguas abajo	63
<b>Fig. 5.9.</b> Esquema original interno del eyector	64
<b>Fig. 5.10.</b> Cono divergente a 12mm	65
<b>Fig. 5.11.</b> Cono divergente a 15 mm	66
<b>Fig. 5.12.</b> Cono divergente a 18 mm	67
<b>Fig. 5.13.</b> Cono divergente a 20 mm	67
<b>Fig. 5.14.</b> Cono divergente a 22 mm	68
<b>Fig. 6.1.</b> Geometría final del eyector	83
<b>Fig. 6.2.</b> Eyector en funcionamiento	84
<b>Fig. 6.3.</b> Conos convergente y divergente seleccionados	85
<b>Fig. 6.4.</b> Diámetros internos, conos convergente y divergente	85
<b>Fig. 6.5.</b> Dosificador instalado	86
<b>Fig. 6.6.</b> Funcionamiento del dosificador.	86

## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla III-1.</b> Matriz Morfológica	35
<b>Tabla IV-1.</b> Características técnicas del motor	39
<b>Tabla IV-2.</b> Características técnicas de la bomba	40
<b>Tabla IV-3.</b> Coeficientes de resistencia	43
<b>Tabla IV-4.</b> Puntos pertenecientes a la curva del sistema	44
<b>Tabla IV-5.</b> Diámetros de huecos diseñados	52
<b>Tabla V-1.</b> Toma de presiones en el diseño original	64
<b>Tabla V-2.</b> Toma de presiones para diseño de 12mm	65
<b>Tabla V-3.</b> Toma de presiones para el diseño de 15 mm	66
<b>Tabla V-4.</b> Toma de presiones para el diseño de 18 mm	67
<b>Tabla V-5.</b> Toma de presiones para el diseño de 20 mm	68
<b>Tabla V-6.</b> Toma de presiones para el diseño de 22 mm	69
<b>Tabla VI-1.</b> Resultados de la prueba n° 1	70
<b>Tabla VI-2.</b> Resultados de la prueba n° 2	72
<b>Tabla VI-3.</b> Resultados de la prueba n° 3	74
<b>Tabla VI-4.</b> Resultados de la prueba n° 4	76
<b>Tabla VI-5.</b> Resultados de la prueba n° 5	78
<b>Tabla VI-6.</b> Resultados de la prueba n° 6	80
<b>Tabla VI-7.</b> Muestras tomadas durante el tratamiento	88

## INDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfico 4.1.</b> Diámetro de hueco vs n° de secciones	53
<b>Gráfico 6.1.</b> Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico (D <sub>2</sub> = 20 mm, original)	71
<b>Gráfico 6.2.</b> Porcentaje de caída de presión vs presión de succión (D <sub>2</sub> = 20 mm, original)	71
<b>Gráfico 6.3.</b> Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico (D <sub>2</sub> = 12 mm)	73
<b>Gráfico 6.4.</b> Porcentaje de caída de presión vs presión de succión (D <sub>2</sub> = 12 mm)	73
<b>Gráfico 6.5.</b> Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico (D <sub>2</sub> = 15 mm)	75
<b>Gráfico 6.6.</b> Porcentaje de caída de presión vs presión de succión (D <sub>2</sub> = 15 mm)	75
<b>Gráfico 6.7.</b> Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico (D <sub>2</sub> = 18 mm)	77
<b>Gráfico 6.8.</b> Porcentaje de caída de presión vs presión de succión (D <sub>2</sub> = 18 mm)	77
<b>Gráfico 6.9.</b> Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico (D <sub>2</sub> = 20 mm)	79
<b>Gráfico 6.10.</b> Porcentaje de caída de presión vs presión de succión (D <sub>2</sub> = 20 mm)	79
<b>Gráfico 6.11.</b> Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico (D <sub>2</sub> = 22 mm)	81
<b>Gráfico 6.12.</b> Porcentaje de caída de presión vs presión de succión (D <sub>2</sub> = 22 mm)	81
<b>Gráfico 6.13.</b> Resultados del tratamiento de 1000 L de solución 6.15 mg/L de fenol en el estanque	88

## **CAPITULO 1**

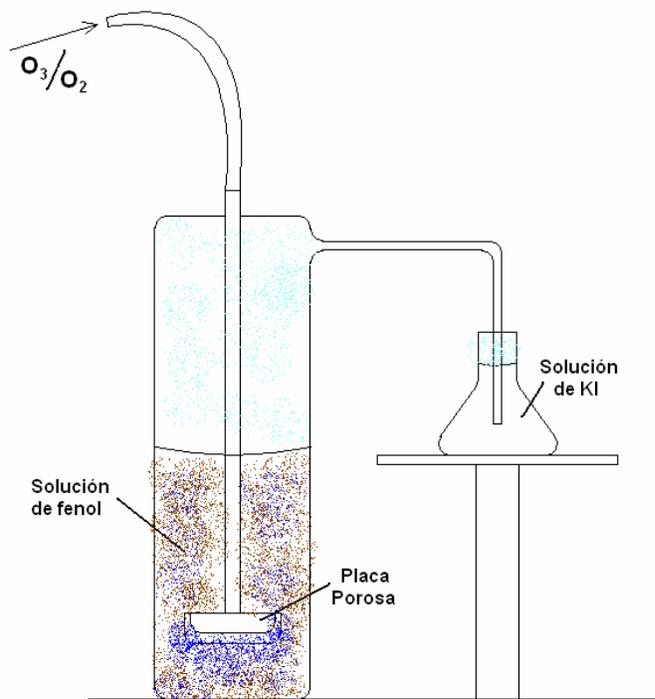
### **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1- ANTECEDENTES**

En el laboratorio de Plasma Químico, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, de la Universidad Central de Venezuela, se ha trabajado por varios años en el empleo de ozono como oxidante para eliminar fenoles en solución acuosa (Lugo, 1997; Patiño, 1999; Valles, 1994; Zambrano, 1993). Los resultados en pruebas anteriores han sido altamente satisfactorios, excepto por la cantidad de ozono suministrada en cada caso. El consumo de ozono es de 8 moles por cada mol de fenol respecto al valor teórico de 4 a 5 moles. Ello es debido a que, para inyectar el ozono a la solución, se ha empleado un burbujeador de placa porosa que produce burbujas de un diámetro apreciable, lo que conduce a la pérdida del gas que escapa sin reaccionar hacia la atmósfera.

##### **1.1.1- Sistema de Placa Porosa**

Patiño (2002) estudió la eliminación de fenol en solución acuosa inyectándole ozono proveniente de un generador O3-21 a través de una placa porosa (ver Fig. 1.1). Las burbujas generadas en este caso fueron de gran tamaño, lo que ocasionó que buena parte del ozono fuese descargado a la atmósfera sin reaccionar. El gas saliente de la solución se inyectó a un matríz conteniendo una solución de yoduro de potasio (KI), (ver Fig. 1.1). El cambio de la coloración de la solución contenida en el matríz permitió indicar la presencia de ozono libre.



**Fig. 1.1.** Diagrama del montaje con placa porosa y trampa para ozono.

En la solución de KI, el ozono oxida al ión ioduro ( $I^-$ ) y lo convierte en iodo ( $I_2$ ), este, a su vez, es posteriormente titulado con una solución de tiosulfato de sodio ( $Na_2S_2O_3$ ) en medio ácido. De esta manera se determinó que se requiere generar un total de 8.0 moles de ozono para eliminar cada mol de fenol en solución.

## 1.2- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua está presente en diversas etapas de la explotación petrolera, desde la perforación y producción, con niveles variables que pueden superar los 10 barriles de agua por barril de crudo, hasta los procesos de refinación. En varios de ellos ocurre la disolución de algunos compuestos, que forman parte del crudo, en el agua, lo que representa una fuente de contaminación. Un caso emblemático es el de los fenoles, cuyo compuesto base es el fenol o hidroxibenceno, bastante soluble en agua, que, según la normativa vigente en la legislación venezolana debe estar presente a una concentración menor de 0,5 ppm para

que el agua pueda ser vertida en el medio ambiente (Según Decreto N° 883, sobre Descargas en Cuerpos de Agua, Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de Diciembre de 1995, Apéndice 1). En algunos procesos otros componentes altamente contaminantes, tales como sulfuros, también se incorporan al agua. En toda la cadena, pero más notablemente en la producción de crudo, cierta cantidad de éste queda suspendida en la superficie del agua o emulsionada con ella. En estaciones de flujo petroleras los separadores que operan por gravedad, denominados separadores API, no están diseñados para eliminar cantidades apreciables de crudo del agua, lo que ocasiona contaminación del ambiente por eliminación de las aguas contenidas en los depósitos de crudo aguas abajo.

Habiéndose demostrado la efectividad del ozono en la eliminación de los compuestos mencionados (Patiño, 1999), se persigue, entonces, introducir el ozono en el agua de producción de forma tal que le permita permanecer en ella el mayor tiempo y de la manera más homogénea posible, para que entre en contacto con los contaminantes y los destruya. Adicionalmente, se espera que las pequeñas burbujas, al adherirse a la superficie de los sólidos suspendidos, incluidas las gotas de crudo, los hagan flotar, de manera que puedan ser removidos de la superficie del agua. Ello se conoce como Flotación por Aire Disuelto (FAD). Queda por resolver lo concerniente a la transferencia másica de este gas al efluente a ser tratado, de manera de reducir las pérdidas por volatilización lo cual reduciría los costos del proceso.

## 1.3- OBJETIVOS Y ALCANCES

### 1.3.1- Objetivo General

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas basado en la inyección de ozono, que permita la acción de destruir los hidrocarburos del petróleo presentes en el agua y la posible descarga de esta agua, mejorando, así, las condiciones ambientales.

### 1.3.2- Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas a escala piloto en un laboratorio con tubería de PVC que será utilizada para llevar el agua saturada de ozono, de manera homogénea y sin gradientes de presión, desde la bomba hasta y a través de un tanque donde se hace el tratamiento.
- Utilizar un inyector tipo Venturi (Avallone y Baumeister, 1999) a efectos de ser conectado a la tubería que va desde una bomba de agua hasta el tanque donde ocurre el tratamiento. La succión que se crea en el Venturi permite inyectar una mezcla oxígeno/ozono en la corriente de agua.
- Calcular la variación del diámetro de los orificios de tal manera que el caudal a través de los mismos sea igual; esto será a lo largo de la tubería colocada en el fondo del tanque que contendrá el agua contaminada, a efectos de garantizar la distribución de ozono de forma homogénea dentro del mismo.
- Verificar la efectividad del efecto FAD de las pequeñas burbujas.
- Verificar la operatividad del sistema de tratamiento.

### 1.3.3- Alcances

Entre las metas a lograr en el presente trabajo se cuentan las siguientes:

- Diseño de un sistema de inyección de una corriente de O<sub>3</sub> a una corriente de agua contaminada en hidrocarburos, que a su vez garantice un buen mezclado de ambos.
- Reducir la relación moles de ozono/mol de fenol, gracias a la inyección del primero en la solución acuosa en forma de pequeñas burbujas.
- Probar el diseño a escala piloto en un laboratorio, luego validar su comportamiento en campo.

### 1.4- LIMITACIONES

Inicialmente se consideró que partes de las pruebas de tratamientos se realizarían en las instalaciones de campo en PDVSA ubicadas en Barinas, sin embargo, debido al bajo presupuesto disponible para este proyecto, no se realizaron las experiencias planificadas. En su lugar, se realizaron pruebas en el laboratorio de plasmas químico de la Escuela de Química, en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela con agua de características muy parecidas a la de dicha planta.

Considerando que la totalidad de las pruebas se realizarían en este laboratorio, las restricciones de la investigación y desarrollo de la planta piloto a diseñar, fueron supeditadas a la infraestructura disponible: la capacidad de instalación, instrumentación y equipos encontrados en el mismo. A continuación se presenta un resumen de las limitaciones de laboratorio.

- a) Sistema de Bombeo: se utilizó una bomba existente en el laboratorio que por su historial de uso demostró operar a rangos de eficiencias inferiores a los de su condición original.

- b) Estanque de almacenamiento: limitado a sólo estanques abiertos.
- c) Sistema de Eyección: No se disponía de un banco de pruebas para este dispositivo, con los pocos datos recolectados en pruebas a este dispositivo se hicieron análisis y luego el rediseño de este dispositivo.
- d) Ozonificador: este sistema ya se encontraba en el laboratorio y se había utilizado en otros experimentos con sistemas de ozonificación con placa porosa.
- e) Suministro de Oxígeno: se limitó sólo a la utilización de bombonas de oxígeno, ya que el generador de oxígeno se encontraba fuera de servicio por mantenimiento.
- f) Instrumentación: instrumentos de medición de poca precisión: manómetros con rangos de medición muy altos (0-50 y 0-100 psig) y baja apreciación. No se disponía de equipos de medición de flujo, el caudal de agua contaminada se midió con un tanque aforado y un cronometro.

## **CAPITULO 2**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

El sistema para la inyección de ozono es diseñado para el tratamiento de aguas servidas de la industria petrolera. A continuación se describe la definición de este tipo de sistema y sus factores fundamentales de operación.

#### **2.1- INTRODUCCIÓN**

El ozono fue empleado por primera vez para la desinfección de aguas de abastecimiento en Francia, a principios del siglo XX y, posteriormente se expandió a diversos países europeos occidentales. Hoy en día, existen cerca de 1000 instalaciones tratamiento de agua con ozono (la mayor parte de ellas en Europa), para el tratamiento de las aguas servidas de la industria. A pesar de que, históricamente, su uso estaba limitado a la desinfección de aguas servidas, los recientes avances en materia de generación de ozono y de la tecnología de disolución han permitido que el ozono se haya convertido en una posibilidad económicamente competitiva para la desinfección de las aguas residuales.

En el tratamiento de las aguas residuales, el ozono también se puede emplear para el control de olores y para la eliminación de materia orgánica soluble refractaria, sustituyendo al proceso de adsorción con carbón activado. A continuación, se discuten aspectos relativos a la generación del ozono, su efectividad como desinfectante, y la aplicación de los procesos de ozonación.

### **2.1.1- Ventajas del uso del ozono en el tratamiento de aguas servidas:**

Otra de las ventajas que se deriva del empleo de ozono para la desinfección es la elevación de la concentración de oxígeno disuelto del efluente, hasta valores cercanos a la concentración de saturación, como consecuencia de la rápida descomposición del ozono en oxígeno. Este hecho puede permitir no tener que reaerar el efluente para cumplir con las limitaciones normativas de calidad del efluente relacionadas con la concentración de oxígeno disuelto. Es más, debido a que el ozono se descompone rápidamente, no queda en el efluente ningún compuesto químico residual que precise ser eliminado, como ocurría con el cloro residual.

### **2.2.- TECNOLOGÍA UTILIZADA**

El ozono ( $O_3$ ) es una forma alotrópica del oxígeno, de olor característico y de color azul en altas concentraciones o en estado líquido. Es gaseoso en condiciones estándar de presión y temperatura y es un poderoso agente desinfectante y bactericida. Es un oxidante más fuerte que el peróxido de hidrógeno y el cloro, estando los potenciales respectivos en las relaciones 1,52/1,30/1,00 (Weast, 1992). El  $O_3$  convierte la materia orgánica refractaria en compuestos biodegradables. Tal es el caso de compuestos fenólicos que, en solución acuosa, son convertidos en una mezcla de los ácidos fórmico, acético, oxálico, pirúvico, maleico y tartárico, metilglioxal, diacetil y, en última instancia,  $CO_2$  y agua (Roth, 1947; Niegowski, 1953; Bauch et al., 1970; Gould y Weber, 1976; Nebel et al., 1978; Spangford y McClurg, 1978; Chang y Larson, 1991; Corless et al., 1990; Cornell y Kuo, 1991; Singer, 1990; Sotelo et al., 1987; Glaze, 1987; Bhattacharyya et al., 1995 y Shu, 1995).

El sistema que operaría de una manera muy simple: una bomba toma agua de un tanque y, en la tubería de descarga de la bomba se le introduce el ozono en un ambiente de pequeñas burbujas. Este es el factor clave de la tecnología ya que permite una larga permanencia de  $O_3$  en el seno del líquido y, por ende, una mayor eficiencia en el proceso de oxidación si se compara con los sistemas tradicionales de inyección por medio de

compresores axiales o reciprocantes y difusores hechos de material poroso, con los que se crean burbujas con diámetros de varios órdenes de magnitud superior. En estos casos, la mayor parte del  $O_3$  es disipado en la atmósfera. Adicionalmente, en estos sistemas se necesita detener el proceso periódicamente para limpiar los difusores al ser bloqueados por partículas de sólido retenido.

En este sistema de oxidación utilizado no se necesitan sustancias químicas ni catalizadores que lo hagan dependiente de suministros cuyos precios son variables en el tiempo, eliminándose, además, la necesidad de transportar esos productos a las instalaciones petroleras, usualmente ubicadas a distancias respetables de sus centros de distribución. Los únicos elementos utilizados para esta tecnología son oxígeno y electricidad. En una planta para tratar decenas o cientos de miles de barriles de agua por día no es necesario adquirir oxígeno; se utiliza aire y el oxígeno se obtiene a partir éste por medio de un separador.

### **2.3- COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS BASADO EN INYECCIÓN DE OZONO**

Para el diseño del banco experimental de un sistema de tratamiento de aguas basado en la inyección de ozono se destacan los componentes siguientes:

#### **2.3.1- Generador de ozono del sistema propuesto**

Esta unidad se encarga de producir el Ozono ( $O_3$ ) que será utilizado en el sistema de tratamiento. El oxígeno molecular se hace pasar a través de placas metálicas entre las cuales se genera una descarga eléctrica de alto voltaje y bajo amperaje. En el plasma formado el oxígeno se disocia en átomos.



Luego, un átomo de oxígeno con otra molécula produce ozono



La unidad opera desde 0,054 hasta 0,333 kg de ozono por día, con una presión de salida de 0 – 103,4 kPa.

Cabe destacar que esta unidad está conectada a un generador de oxígeno (O<sub>2</sub>) para facilitar el trabajo tanto en el laboratorio como en el campo, independizando al sistema del suministro de oxígeno en bombonas.

### **2.3.2- Generador de Oxígeno (O<sub>2</sub>)**

El Generador de oxígeno es un equipo diseñado para separar las moléculas de oxígeno (O<sub>2</sub>) del aire. Este está constituido por un tamiz molecular denominado Zeolita que, bajo presión, retiene el nitrógeno dejando pasar el oxígeno.

Es un módulo totalmente autónomo cuyo funcionamiento interno está controlado electrónicamente por un microprocesador y para su funcionamiento sólo necesita ser conectado a la red eléctrica.

En adecuado para áreas de tratamiento donde no se pueda obtener bombonas de oxígeno fácilmente, como es este caso, ya que éste es indispensable para el funcionamiento del generador de ozono. Un equipo comercial se presenta en la Fig. 2.1.

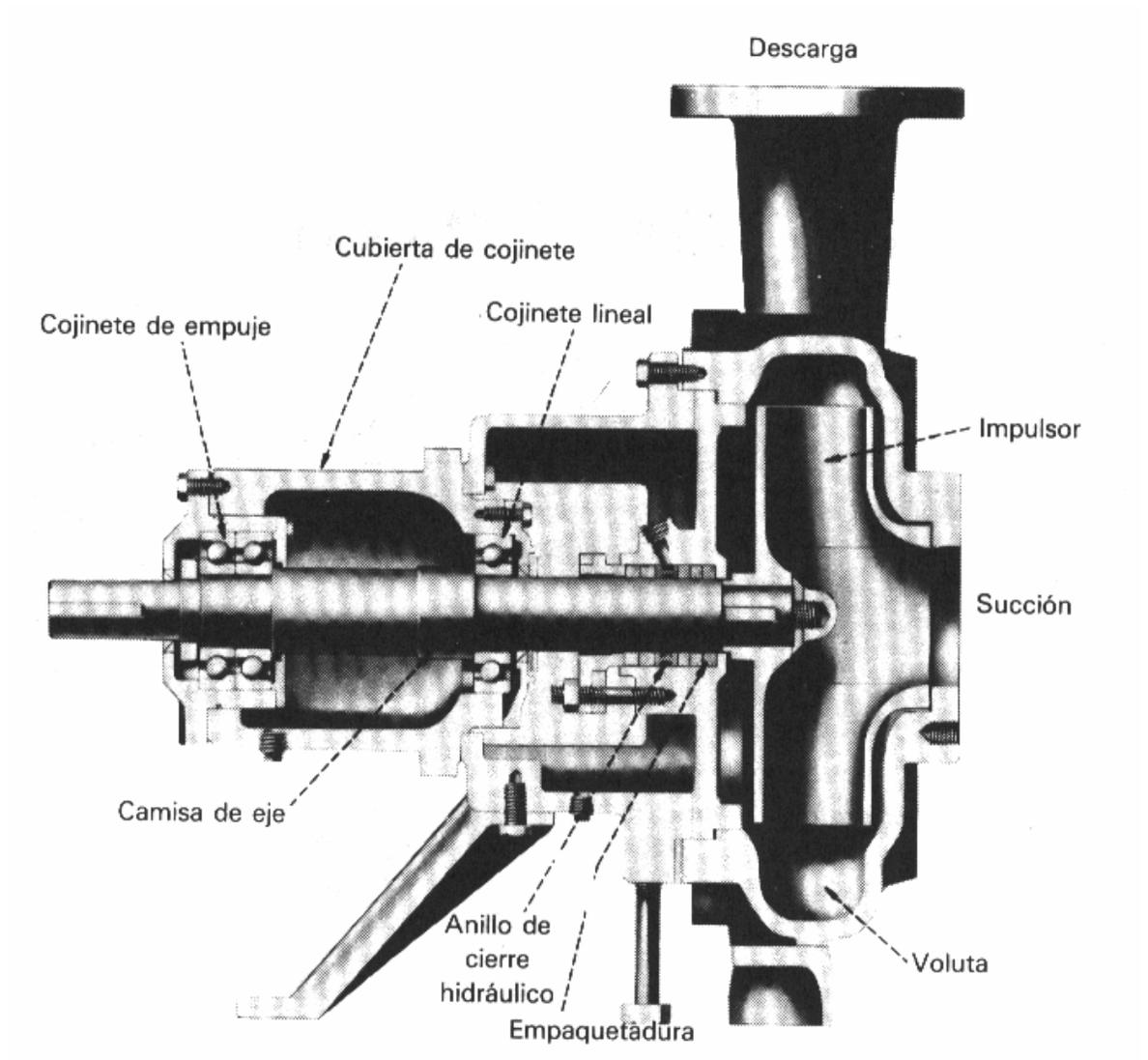


**Fig. 2.1.** Generador de oxígeno ( $O_2$ )

### **2.3.3- Bomba Centrifuga Horizontal:**

Esta es una bomba cuyo eje es horizontal y se encarga transformar la energía mecánica de un impulsor rotatorio en energía cinética y potencial que requiere el flujo de agua para circular por una tubería y subir a una mayor altura. Esta bomba se ubicará antes del sistema inyector de ozono y servirá para hacer circular el agua tratada a través del sistema.

En la Fig. 2.2 se muestra un esquema de una bomba centrifuga horizontal, identificándose sus partes más importantes.



**Fig. 2.2.** Bomba Centrífuga Horizontal

#### 2.3.4- Inyector de ozono:

Este dispositivo es capaz de suministrar al sistema de tratamiento el ozono necesario para la óptima relación ozono/agua residual. Esta relación depende directamente de la concentración de fenoles en el agua servida ya utilizada en la industria.

El principal objetivo de este sistema de inyección es garantizar la dosificación de ozono (O<sub>3</sub>) de manera homogénea en el cual el gas sea suministrado en forma de burbujas a la línea de tratamiento, y de esta manera optimizar la reacción de ozonólisis que ocurre en dicho proceso aumentado, así, su eficiencia.

Este inyector será diseñado a tal manera que ocurra una succión tipo venturi para lograr la introducción de ozono (O<sub>3</sub>) por medio de este fenómeno.

#### 2.3.4.1- Parámetros operacionales del inyector

Existen dos parámetros operacionales relevantes que definen el comportamiento del inyector. Relación de masas “**M**” y recuperación de presión “**N**”.

- *Relación de flujo másico “M”*: “Se define como la relación entre el flujo másico del flujo de baja presión y el flujo másico del flujo de alta presión” (Urbina, 2003). Este parámetro adimensional representa la relación entre lo succionado versus lo inyectado. Mientras mejor sea esta relación mejor será el comportamiento del inyector.

$$M = \frac{M_{succion}}{M_{inyeccion}} \quad \text{Ec. 2.1}$$

- *Recuperación de presión “N”*: “Se define como la relación entre la diferencia de presión entre la descarga y succión del equipo y la diferencia de presión entre la succión del fluido motriz y la descarga del equipo” (Urbina, 2003).

$$N = \frac{P_d - P_s}{P_j - P_d} \quad \text{Ec. 2.2}$$

### **2.3.5- Válvulas:**

Las válvulas son elementos que se colocan en las tuberías como auxiliares indispensables para la adecuada operación, mantenimiento y seguridad de los sistemas de conducción de fluidos. En un sistema de tratamiento de aguas residuales, será necesaria la instalación de diferentes tipos de válvulas de acuerdo a su diseño. Las más importantes serán las válvulas check que se encuentran en la succión y en la descarga de la bomba centrífuga al sistema de tratamiento, las válvulas de bolas de PVC que serán instaladas a la entrada y salida del inyector de ozono; y válvulas de compuerta que se instalarán de acuerdo al diseño del sistema.

En los puntos siguientes se destacan características generales de dichas válvulas:

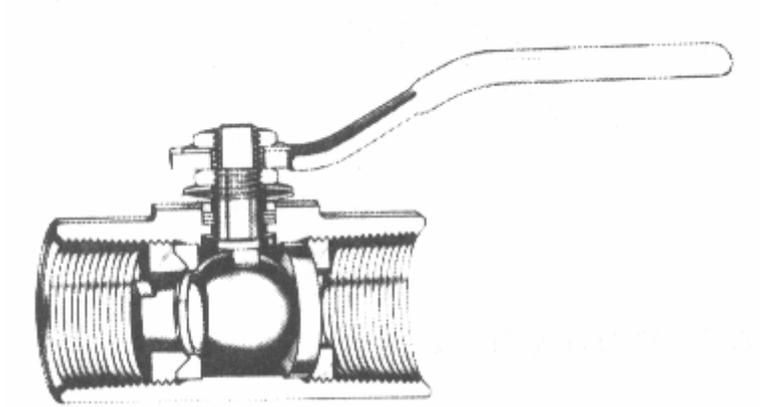
#### **2.3.5.1- Válvulas de Bola:**

La válvula de bola tiene ventajas inherentes de baja torsión de operación, buenas características de estrangulación y capacidad para alto volumen de flujo. Estas válvulas se utilizan principalmente para servicio de corte y no son satisfactorias para la estrangulación. Ver Fig. 2.3.

Son rápidas para operarlas, de mantenimiento fácil, no requieren de lubricación, producen cierre hermético con baja torsión y su caída de presión es función del tamaño del orificio.

Las limitaciones de estas válvulas suelen estar en la resistencia estructural de los materiales poliméricos para los asientos.

En este sistema de tratamiento se utilizarán válvulas de bola de PVC, lo cual es una gran ventaja ya que son muy resistentes a la corrosión que generaría el ozono ( $O_3$ ) disuelto de forma gaseosa como pequeñas burbujas en el agua a ser tratada.

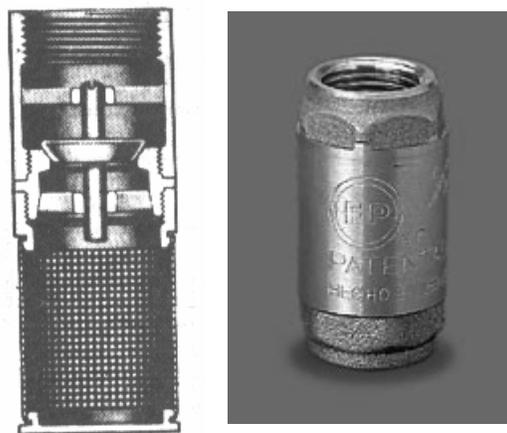


**Fig. 2.3.** Válvula de Bola.

#### **2.3.5.2- Válvula de pie o check:**

Las válvulas de retención (check) son integrales y se destinan a impedir la inversión del flujo en la tubería. La presión del fluido circulante abre la válvula y el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión en el flujo la cierran.

Estas válvulas se colocan comúnmente en la tuberías de succión y descarga de bombas para mantenerlas cebadas. Véase Fig. 2.4.



**Fig. 2.4.** Válvula de pie o check.

### 2.3.6- Otros Accesorios:

A continuación se mencionan algunas de las piezas de conexión presentes en el sistema de tubería de este proyecto:

➤ **Te**

Empleadas cuando concurren tres líneas de tuberías en ángulo recto.

➤ **Codo**

Sirven para un cambio en la dirección de la tubería, el cambio de dicha dirección puede ser 90° ó 45°.

➤ **Bushings**

Se utilizó reducir diámetro de roscado o, en su defecto, para aumentarlo.

➤ **Uniones**

Se utilizaron para unir líneas y otros accesorios del sistema de tubería.

➤ **Tapón Ciego**

Se utilizaron tapones soldados al final de la conexión del aspersor.

➤ **Maraca**

Este dispositivo retiene todo tipo de cuerpos sólidos antes de entrar a la tubería de succión de la bomba; en este caso va conectado a la válvula check. Véase la Fig. 2.5.



**Fig. 2.5.** Maraca.

#### **2.4- REGÍMENES DE FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS: LAMINAR Y TURBULENTO.**

Determinar en que régimen se encuentra el flujo de trabajo constituye un paso primordial para realizar estudios hidráulicos en sistemas de tuberías.

El agua como flujo viscoso se puede clasificar en laminar o turbulento. El tipo de flujo que se identifica en esta investigación es el de tipo **turbulento**, en el cual existe un movimiento irregular e indeterminado de las partículas del fluido en direcciones transversales a la dirección principal del flujo. La distribución de velocidades en el régimen turbulento es más uniforme que en el régimen laminar.

A pesar de que existe un movimiento turbulento a través de la mayor parte del diámetro de la tubería, siempre hay una pequeña capa de fluido en la pared de la tubería conocida como “capa periférica” o “subcapa laminar”, que se mueve en régimen laminar.

Se ha demostrado científicamente que el régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, la densidad y viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo (Potter y Wiggert, 1997). La combinación de estas variables se expresa en un valor numérico adimensional denominado **número de Reynolds** ( $R_e$ ), este puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. Este número se expresa de la siguiente manera:

$$R_e = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde  $D$  es el diámetro interior de la tubería,  $v$  es la velocidad media de flujo,  $\rho$  es la densidad del fluido y  $\mu$  es la viscosidad absoluta.

El régimen de flujo en tuberías se considera como laminar si el número de Reynolds es menor de 2000 y turbulento si es superior a 4000 (Potter y Wiggert, 1997). Entre estos dos valores está la zona denominada “crítica” donde el régimen de flujo es impredecible, pudiendo ser laminar o turbulento o de transición, dependiendo de muchas condiciones muy variantes.

## 2.5- DISIPACIÓN DE ENERGÍA

En el análisis de movimiento de fluidos es fundamental considerar las resistencias que se generan por la viscosidad, las cuales determinan la disipación de energía mecánica del flujo, debido a la acción de los esfuerzos cortantes que se generan en los contornos de circulación. A continuación se destacan las diferentes ecuaciones y consideraciones de diseño relacionadas con la disipación de energía, utilizadas en el análisis hidráulico del sistema de tratamiento antes mencionado (Fox y McDonald, 1995).

### 2.5.1- Pérdidas por fricción en tuberías:

Durante la determinación de las pérdidas en tuberías debido al roce, se aplicó la ley de conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería; el mismo nos dice que la energía total, en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debido a la presión y a la altura debido a la velocidad, es decir:

$$Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} = H \quad \text{Ec. 2.4}$$

La pérdida por rozamiento en la tubería desde el punto uno al dos ( $h_{L_{1-2}}$ ) se expresa como la pérdida de altura en metros o pies de fluido, como se indica en la Fig. 2.6.

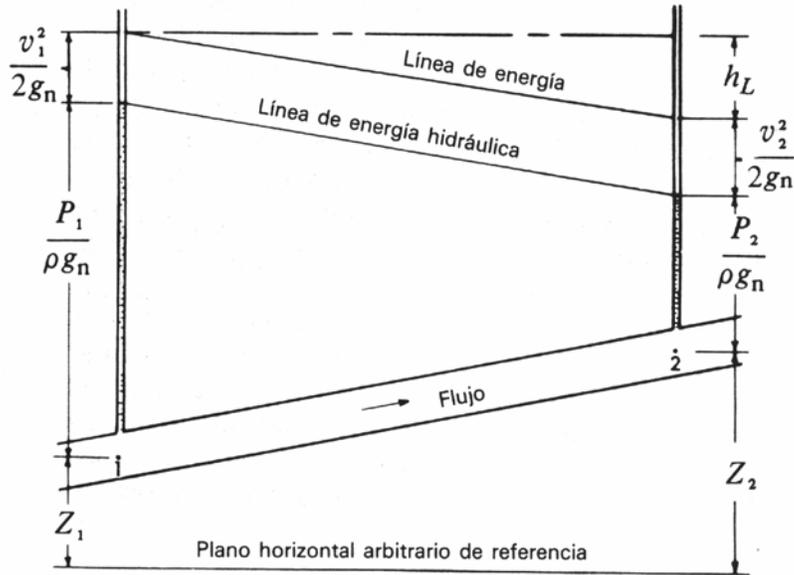


Fig 2.6. Balance de energía para dos puntos de un fluido.

Entonces, la ecuación puede escribirse de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + h_{L_{1-2}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde la suma de los dos términos  $\left( Z + \frac{P}{\rho \cdot g} \right)$  se denomina carga piezométrica y la suma de los tres términos es la carga total.

### 2.5.1.1- Fórmula de Darcy - Weisbach.

La ecuación general de la pérdida de presión, conocida como la fórmula de Darcy se expresa de la siguiente forma:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

$h_L$  : Pérdida de carga debido al flujo del fluido (m).

$f$  : Factor de fricción de Fanning.

$L$  : Longitud de tubería (m)

$D$  : Diámetro de la tubería (m)

$V$  : Velocidad media del flujo (m/s).

$g$  : Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

La pérdida de carga  $h_L$  puede ser expresada en metros (m) en el sistema métrico, mientras que en el sistema inglés lo es en pies (ft). La ecuación 2.4 también puede escribirse para obtener esta pérdida en forma de presión  $\Delta P$ , expresada en el sistema métrico en newtons por  $\text{m}^2$  (Pa). La expresión es la siguiente:

$$\Delta P = h_L \cdot \rho \cdot g \quad \text{Ec. 2.7}$$

Es importante destacar que la fórmula de Darcy puede deducirse por análisis dimensional con la excepción del factor de fricción  $f$ , que debe ser determinado experimentalmente. Este factor, para las condiciones de interés de este proyecto, es decir, para flujo turbulento ( $Re > 4000$ ) es función del número Reynolds y de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería,  $\varepsilon/d$ .

### 2.5.2- Pérdidas menores en flujo por tuberías.

Luego de considerarse la importancia de las pérdidas debido al roce, debe destacarse que los sistemas de tuberías incluyen válvulas, codos, ensanchamientos, contracciones, entradas, salidas, flexiones y otras características que causan pérdidas adicionales llamadas pérdidas menores. El flujo por una válvula o accesorio en una línea de tubería causa una reducción de la altura estática. Esta puede expresarse en función de la altura de velocidad, incluyéndose en esta expresión el coeficiente de resistencia  $K$ .

Entonces una pérdida menor se define como:

$$h_L = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Este coeficiente se considera independiente del factor de fricción y del número de Reynolds, el cual puede tratarse como constante para cualquier obstáculo dado, ya sea una válvula o un accesorio determinado, en un sistema de tuberías bajo cualquier condición de flujo.

Se han determinado experimentalmente los valores de  $K$  para los diversos accesorios y cambios de geometría que interesan en los sistemas de tuberías estos valores pueden observarse en el apéndice 10.

## 2.6- TUBO DE VENTURI

El Tubo de Venturi es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. En esencia, éste es una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. La presión varía en la proximidad de la sección estrecha; así, al colocar un manómetro o instrumento registrador en la garganta se puede medir la caída de presión y calcular el caudal instantáneo del líquido que circula por él, o bien, uniendo a otra línea se puede introducir otro líquido o gas en la corriente principal.

La entrada es una tubería corta recta del mismo diámetro que la tubería a la cual va unida. El cono de entrada, que forma el ángulo incluido de alrededor de 21°, conduce por una curva suave a la garganta de diámetro  $d$ . Un largo cono divergente, que tiene un ángulo de 7° a 8°, restaura la presión y hace expandir el fluido al pleno diámetro de la tubería. El diámetro de la garganta varía desde un tercio a tres cuartos del diámetro de la tubería.

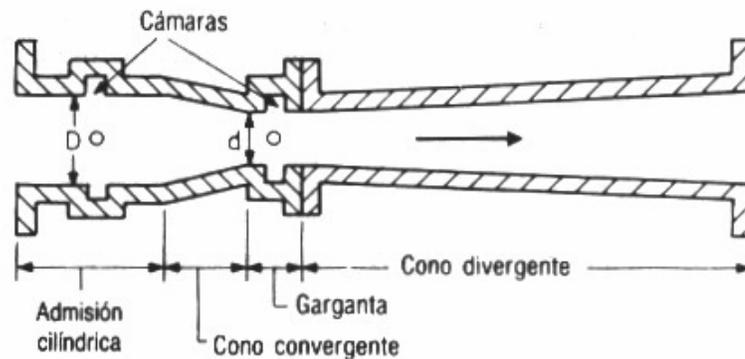


Fig. 2.7 Tubo de Venturi.

La ecuación de la energía y la ecuación de continuidad pueden utilizarse para derivar la relación a través de la cual podemos calcular la velocidad del flujo.

Ahora sabemos que para un flujo uniforme, permanente e incompresible, el caudal:

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 \quad \text{Ec. 2.9}$$

Las ecuaciones 2.3 y 2.7 son válidas solamente para fluidos incomprensibles, cual es el caso de los líquidos. Para el flujo de gases, debemos dar especial atención a la variación del peso específico  $\gamma$  con la presión. La reducción algebraica de las ecuaciones 2.5 y 2.9 es como sigue:

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + (z_1 - z_2) - h_i$$

$$v_2^2 - v_1^2 = 2g \left[ \left( \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \right) + (z_1 - z_2) - h_i \right]$$

Pero  $v_1^2 = v_2^2 \cdot \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2$ ,

Por consiguiente tenemos,

$$v_2^2 \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] = 2g \left[ \left( \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \right) + (z_1 - z_2) - h_i \right]$$

$$v = \sqrt{\frac{2g \left[ \left( \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \right) + (z_1 - z_2) - h_i \right]}{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2}}$$

Ec. 2.10

En este momento se pueden llevar a cabo dos simplificaciones. Primero, la diferencia de elevación  $(z_1 - z_2)$  es muy pequeña, aun cuando el medidor se encuentre instalado en forma vertical. Por lo tanto, este término se desprecia. Segundo, el término  $h_i$  es la pérdida de la energía del fluido conforme este corre de la sección 1 a la sección 2. El valor  $h_i$  debe determinarse en forma experimental. Pero es más conveniente modificar la ecuación 2.8 eliminando  $h_i$  e introduciendo un coeficiente de descarga C:

$$v_2 = C \sqrt{\frac{2g \left( \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \right)}{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2}}$$

Ec. 2.11

## 2.7- CAVITACIÓN

Cuando el flujo de trabajo alcanza la presión de vapor a la temperatura a la cual se encuentre el flujo, se generarán cavidades saturadas de vapor. Sometidas a los gradientes de presión que prevalecen en esa región del movimiento, estas burbujas de vapor, por su baja densidad, pueden adquirir una alta velocidad y se condensarán cuando sean transferidas a zonas de mayor presión.

Aquellas burbujas que entren en contacto con un contorno de la tubería o con unas de las partes de los componentes o accesorios asociados al sistema, determinarán vibraciones, ruidos y esfuerzos de impactos de gran magnitud, ocasionando el deterioro progresivo del respectivo material.

### 2.7.1- NPSH Disponible: (Carga neta positiva de succión)

“Es la energía absoluta en la succión referida a un plano horizontal que contiene al eje de apertura de succión (bombas horizontales) menos la presión de vapor absoluta del líquido bombeado a la temperatura del flujo” (Potter y Wiggert, 1997).

En la siguiente ecuación se muestra la expresión matemática de este concepto:

$$NPSH_D = \frac{P_I - P_V}{\gamma} - (Z_E - Z_I) - hf_{succ}$$

Ec. 2.12

### 2.7.2- NPSH Requerido:

“Es la altura absoluta que se requiere en la succión de la bomba para garantizar un funcionamiento satisfactorio de la máquina, evitando la posibilidad de la vaporización del líquido en su interior y de la subsiguiente cavitación, la cual puede causar daños a la bomba en breve tiempo” (Potter y Wiggert, 1997).

Esta altura mínima de succión denominada como  $NPSH_r$ , es una información suministrada por el fabricante de la bomba en función del caudal. Satisfacer el  $NPSH_r$  es una de las condiciones más importantes en el proceso de selección de bombas, por lo tanto se debe verificar que no existe cavitación cuando se cumpla la siguiente relación:

$$NPSH_D > NPSH_r \quad \text{Ec. 2.13}$$

## CAPITULO 3

### MARCO METODOLOGICO

Para la presente investigación se implementó un sistema metodológico para el diseño de la planta de tratamiento. Esto sirvió para comparar características, ventajas y desventajas para así obtener una buena selección de diseño y operatividad de los diferentes equipos que lo integran.

#### 3.1- TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación se considera dentro de la modalidad de un proyecto factible apoyado en una investigación experimental de carácter descriptiva.

Se dice que es un proyecto factible, debido a que se elabora una propuesta para un diseño de un modelo operativo funcional factible, para buscar una solución viable a la situación o problemática que se presenta. En este caso se trata del **DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE LA INDUSTRIA PETROLERA, BASADA EN LA INYECCIÓN DE BURBUJAS DE OZONO.**

Se considera una investigación bibliográfica ya que la información de interés fue obtenida bibliográficamente de manera de llevar a cabo un análisis, para luego estar en disposición de proponer una solución al problema. Los datos sobre la parte química fueron obtenidos en el laboratorio de Plasma Químico, Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, donde nos suministraron referencias bibliográficas.

Es de carácter descriptiva, ya que se describen las características más resaltantes de los equipos a ser diseñados para el proyecto.

### **3.2- ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de Plasma Químico, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela con el fin aportar soluciones para la realización del proyecto “Aplicación del ozono a la modificación de asfaltos y al tratamiento de aguas de origen petrolero”, CDCH 03-12-4083-99, financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV a cargo de nuestro tutor industrial, profesor Pedro Patiño.

### **3.3- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos son aquellos que nos permiten obtener la información necesaria para la elaboración de los requerimientos. Es cualquier recurso de que se valen los investigadores para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos los datos, a través de un método para recopilarlos. Los datos, según su procedencia, pueden subdividirse en dos grandes grupos, los datos primarios recolectados, los cuales son aquellos que los investigadores obtienen directamente de la realidad con sus propios instrumentos y, por otra parte, los datos secundarios que son registros escritos que proceden también de un contacto con la práctica, pero que ya han sido escogidos y muchas veces procesados por otros investigadores.

Las técnicas utilizadas para el levantamiento de la información de esta investigación son las que se presentan a continuación:

### **3.3.1- Revisión Bibliográfica**

Se consultó diferentes fuentes bibliográficas referentes al diseño de equipos para plantas de inyección de gases en líneas de efluentes (en este caso ozono, O<sub>3</sub>, en agua residual) y diseño de plantas de tratamiento de aguas a base de Ozono, para así poder determinar los elementos involucrados en el tema del proyecto.

### **3.3.2- Observación Directa**

Con esta técnica se pudo observar de manera directa el sitio en forma puntual donde iba a ser instalado el equipo diseñado. Esto fue de suma importancia ya que se tomó en cuenta la limitación de espacio y los equipos secundarios que nos servirían para ayudar con el proceso de tratamiento en la planta piloto, lo cual permitió definir la disposición final del diseño.

### **3.3.3- Entrevista**

Constituye la técnica de recolección de datos mas empleada en el análisis y diseño de obras. Estas se llevaron a cabo de manera informal sin ningún tipo de cuestionario ni formato al respecto, a través de reuniones con un equipo multidisciplinario conformado por dos Licenciados en Química, un Ingeniero en Petróleo y dos Ingenieros Mecánicos. Con dichas entrevistas se pudieron obtener los requerimientos y necesidades para el diseño y funcionamiento de los equipos que integran una planta de tratamiento de aguas a base de inyección de ozono, lo cual garantizó el éxito de la propuesta y por ende la solución de la problemática planteada. Es importante mencionar que todas las entrevistas fueron grabadas a fin de poder tener un material que verificase la situación expuesta.

### **3.4- METODO DEL DISEÑO**

Por lo general existe un número infinito de soluciones a los problemas característicos de la ingeniería y pocas veces es posible presentar un porcentaje apreciable de las diversas soluciones posibles. Por lo común, son muchas las variables que intervienen y poco el tiempo disponible para evaluar las soluciones, de tal manera que la mayoría de las veces solamente se consideran los factores mas importantes.

La ingeniería se refiere principalmente a la aplicación de métodos analíticos de los principios de las ciencias físicas, sociales y del proceso creativo, el problema de convertir nuestras materias primas y otros recursos en formas que satisfagan las necesidades de la humanidad. El proceso relacionado con la solución de este proceso de conversión es conocido comúnmente con el nombre de diseño.

Los índices principales son: Alta productividad; rendimiento económico; resistencia mecánica; fiabilidad; peso mínimo; volumen; dimensiones exteriores; capacidad energética; gastos de mano de obra; rendimiento; sencillez y seguridad de servicio; comodidad de manejo; montaje y desmontaje.

Antes de diseñar se obtendrá una secuencia para conseguir el mejor resultado al problema planteado, se desarrollará las posibles soluciones a través de un razonamiento lógico y creativo explicando someramente las características de cada idea.

Después se realizará una evaluación y comparación de cada una bajo ciertos parámetros, para discriminar las ideas menos potenciales y así seleccionar la mejor a ser desarrollada; ésta será especificada y descrita.

### **3.5- TORMENTA DE IDEAS**

Este método consiste en crear una serie de ideas para atacar el problema planteado, realizando una serie de esquemas con el fin de obtener una planta de tratamiento a base de ozono óptima con los equipos diseñados, seleccionados y aprovechar al máximo la ganancia de la inversión realizada.

Es importante señalar que para la aplicación de este punto se tendrá presente la consigna de que ninguna propuesta es mala, para así no tener obstáculos de ninguna índole y poder evaluar una mayor cantidad de sugerencias, con el objeto de seleccionar la que mejor se amolde al propósito. Cada idea tendrá una breve descripción del funcionamiento y de los componentes en términos generales para así mostrar una mejor visión.

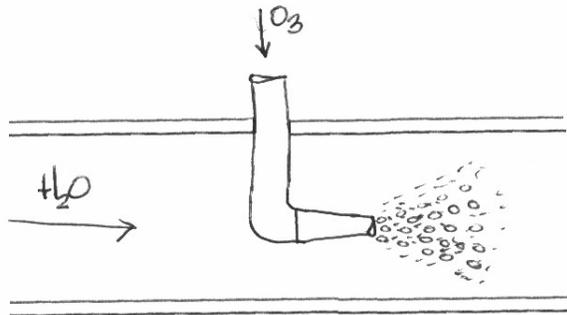
### **3.6- PROPUESTAS DE DISEÑO**

Las propuestas son series de ideas con posibles soluciones al problema planteado, en donde se observan esquemas de cada idea para luego analizarlas mediante el análisis morfológico. A continuación se presentan dichos esquemas con una breve explicación.

#### **3.6.1- Propuesta 1**

En este tipo de sistema de tratamiento (Fig. A.1, apéndice 1) la bomba se encuentra en un plano más bajo que el del agua del estanque, teniendo un poco larga la tubería de succión y sin válvula check en la entrada. La tubería de succión y descarga son de plástico PVC, el inyector es del tipo “Pitot” y el aspensor tipo hélice (como el de los sistemas de riego).

En el inyector tipo Pitot, el gas a ser inyectado (oxígeno-ozono,  $O_2-O_3$ ) tiene que estar presurizado y no sería necesario usar válvula check en la línea de  $O_3$ . A continuación, en la Fig. 3.1, se presenta un esquema del inyector tipo Pitot.



**Fig. 3.1.** Inyector tipo Pitot.

En la Fig. 3.1 podemos observar un corte transversal del inyector de ozono empleado en la propuesta n° 1.

### 3.6.2- Propuesta 2

Este tipo de sistema de tratamiento (Fig. A.2, apéndice 1) es muy parecido a la propuesta n° 1, inyector tipo Pitot. En este caso tiene una válvula check de succión y el aspersor sería parte de la tubería. Esta tendría huecos a lo largo de ella y taponada al fondo; el aspersor se coloca en el lecho del tanque redondo que mide 1.80 metros de diámetro.

### 3.6.3- Propuesta 3

En este tipo de sistema (Fig. A.3, apéndice 2) la bomba está ubicada por arriba del nivel del agua, posee una válvula check en la succión, el inyector es tipo “Venturi” el cual genera succión que es aprovechada para suministrar el gas ( $O_2- O_3$ ) a la línea de tratamiento y el aspersor es de tipo hélice; la tubería es de PVC.

#### **3.6.4- Propuesta 4**

En este tipo de sistema (Fig. A.4, apéndice 2), la bomba se coloca por arriba del nivel del agua, tubería de succión corta con válvula check a la entrada, inyector tipo Venturi y aspensor sería parte de la tubería; ésta tendría huecos a lo largo de ella, sería taponada al fondo, el aspensor y se colocaría en el lecho del tanque.

### **3.7- ANALISIS MORFOLOGICO**

A continuación se escogerán los parámetros más importantes del problema, para evaluar las diferentes alternativas consideradas en la tormenta de ideas.

- 3.7.1- Tamaño de las burbujas creadas.
- 3.7.2- Energía de bombeo requerida.
- 3.7.3- Homogeneidad en la distribución de burbujas en el estanque.
- 3.7.4- Tipo de inyección de ozono (O<sub>3</sub>) al sistema.
- 3.7.5- Innovación.
- 3.7.6- Pérdida de presión en la línea a través del inyector.
- 3.7.7- Tipo de aspensor.
- 3.7.8- Mantenimiento requerido.
- 3.7.9- Confiabilidad

#### **3.7.1- Tamaño de las pequeñas burbujas creadas.**

El tamaño de las burbujas es muy importante, a mayor tamaño de burbujas mayor será la pérdida de ozono en el sistema, tal como ocurrió en experimentos anteriores con la placa porosa. Podemos decir que se requieren pequeñas burbujas en grandes cantidades para que la eficiencia del proceso sea buena.

### **3.7.2- Energía de bombeo requerida**

Esta energía de bombeo va muy relacionada con las pérdidas por accesorios en el sistema, hay que tener en cuenta que, para un sistema de bombeo, mientras mayores sean las pérdidas tanto por accesorios, tuberías como la altura de bombeo, mayor será la energía requerida para bombear el líquido hasta su punto final.

### **3.7.3- Homogeneidad en la distribución de burbujas en el estanque**

Esto se refiere a la distribución de burbujas en el estanque donde ocurre el tratamiento, el aspersor tiene que ser de manera tal que distribuya lo mas uniformemente posible las pequeñas burbujas, ya que así garantizaríamos un buen tratamiento en todo el agua.

### **3.7.4- Tipo de inyección de ozono (O<sub>3</sub>) al sistema**

El tipo de inyección es muy importante ya que este garantizaría el tamaño de las burbujas en la línea del sistema. Tenemos que tomar en cuenta que una inyección con burbujas de tamaño muy grande bajarían el rendimiento del proceso, ya que las reacciones de químicas que ocurrirían entre el ozono y los fenoles asociados al agua a ser tratada serían poco eficaces.

### **3.7.5- Innovación**

Se refiere esencialmente a la novedad o introducción de un tipo de instalación nueva en el país.

### **3.7.6- Pérdida de presión en la línea a través del inyector**

Se refiere a la caída de presión que existe a través del sistema inyector de ozono (Inyector). Ella dependería del tipo de inyector (Pitot o Venturi) y del diseño interno del mismo.

### **3.7.7- Tipo de aspersor**

Este se encarga de distribuir las pequeñas burbujas en el estanque. Hay que tomar en cuenta la pérdida que este origina al sistema, su mantenimiento, elaboración, calidad de dosificación, etc.

### **3.7.8- Mantenimiento requerido**

Dicho parámetro se refiere a la disposición o bien sea facilidad a la hora de hacer cualquier tipo de mantenimiento en los equipos del sistema de tratamiento instalados.

### **3.7.9- Confiabilidad**

Se puede definir como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad de que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas. Esto se aplicaría en partes de la planta que pueden ser propensas a dañarse en un corto período de tiempo.

Una vez definido todos estos términos procederemos a construir nuestra matriz morfológica, la cual usando nuestros propios criterios de diseño colocamos un porcentaje a cada uno de los parámetros estudiados en ella, dependiendo de la importancia que este tenga en nuestro diseño.

**MATRIZ MORFOLOGICA**

<b>PARAMETROS</b>	<b>Propuesta 1</b>	<b>Propuesta 2</b>	<b>Propuesta 3</b>	<b>Propuesta 4</b>	<b>Ponderación [%]</b>
<b>1) Tamaño de las pequeñas burbujas.</b>	3	3	5	5	15
<b>2) Energía de bombeo requerida</b>	2	3	3	4	10
<b>3) Homogeneidad en la distribución de burbujas en el estanque</b>	4	3	4	3	15
<b>4) Tipo de inyección de Ozono (O<sub>3</sub>) al sistema</b>	3	3	5	5	10
<b>5) Innovación</b>	3	3	5	5	5
<b>6) Pérdida de presión en la línea a través del inyector</b>	5	5	3	3	10
<b>7) Tipo de aspensor</b>	3	4	3	4	15
<b>8) Mantenimiento requerido</b>	2	4	2	5	10
<b>9) Confiabilidad</b>	3	4	3	5	10

<b>TOTAL</b>	<b>3,15</b>	<b>3,55</b>	<b>3,65</b>	<b>4,25</b>	<b>100%</b>
--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

**Tabla III-1**

Fuente: Elaboración Propia.

Escala:	5	Excelente
	4	Muy Bueno
	3	Bueno
	2	Regular
	1	Deficiente

La escala utilizada, fue tipo Likert, con respuestas: Excelente, Muy bueno, Bueno, Regular, Deficiente. El instrumento realizado para la selección fue elaborado por Da costa M. Karina y Vellorí I, Néstor I, en su tesis de grado elaborado en el año 2001; en dicho cuestionario a los encuestados (los expertos), se les leyó las alternativas de respuestas a cada sujeto y se anotaron lo que respondieron según su percepción en una escala de 5 puntos, donde:

- Excelente corresponde a 5 puntos
- Muy bueno a 4 puntos
- Bueno a 3 puntos
- Regular a 2 puntos
- Deficiente a 1 punto

La escala final se califica multiplicando el porcentaje de ponderación por cada renglón y luego sumando los resultados.

### **3.8- DISEÑO DE LOS EQUIPOS**

El diseño de los equipos de tratamiento se realizó bajo parámetros de carácter experimental, los dos equipos diseñados fueron el inyector de ozono y el aspersor. El diseño dependió directamente del trabajo que cumpliría cada equipo en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

El equipo inyector de ozono, Venturi, en este caso, se probó para la admisión de ozono a la línea de tratamiento, ya que la succión generada por dicho dispositivo, es decir, la entrada de ozono ( $O_3$ ) permitía que mejorara la eficiencia de inyección en el sistema y, conjuntamente la creación de burbujas de diámetros relativamente pequeños.

El equipo aspersor de agua tratada se diseñó de manera tal que, el ozono presente en la línea fuese dosificada de manera homogénea en todo el estanque, ya que la permanencia de ozono en este es de suma importancia, teniendo en cuenta que esto mejoraría un poco la reacción ozono-fenol.

Es importante destacar que estos diseños serán aplicados a un sistema piloto, con lo cual después se podrá trabajar en operaciones de campo con otros equipos, más grandes y operativamente más sofisticados, en donde se observará su validez para la implantación en la industria petrolera o cualquier otra industria.

Las mediciones se realizarán con nuestro banco de pruebas que será diseñado. Probarémos diferentes tipos de bocinas divergentes dentro del inyector, variando los diámetros internos y observando su comportamiento hidráulico. Serán medidas las presiones tanto de entrada ( $P_1$ ), la presión de salida del dispositivo ( $P_2$ ) y la presión de succión de la línea ozono ( $P_s$ ).

Con las pruebas realizadas al inyector obtendremos el dispositivo más óptimo de los que estudiaremos, donde, más adelante será utilizado para las reacciones de ozono-fenol.

## CAPITULO 4

### CONSIDERACIONES GENERALES Y DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBA

El banco de pruebas fue diseñado con equipos e instrumentos existentes en el laboratorio de Plasma Químico los cuales e describe a continuación.

#### 4.1 - BOMBA

En el laboratorio de Plasma Químico, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, de la Universidad Central de Venezuela, se disponía de una bomba centrífuga, la cual se había utilizado para pruebas hidráulicas de pequeña magnitud. Se tomó la decisión de utilizar dicha bomba (Fig. 4.1) para este proyecto, con el fin de minimizar costos, adaptando el diseño del sistema de tratamiento a la operatividad de este equipo.



**Fig. 4.1.** Bomba Centrífuga utilizada para el tratamiento.

Se puede observar las características tanto del motor como de la bomba (Fig. 4.2 y Fig. 4.3).

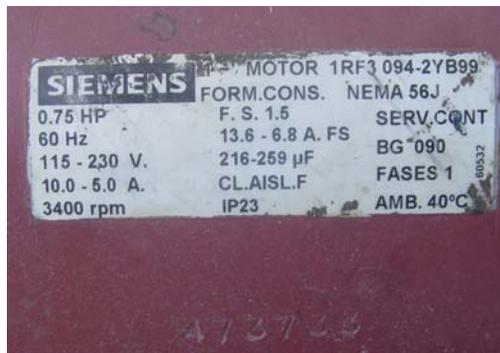


Fig. 4.2. Características del motor.



Fig. 4.3. Características de la bomba.

#### 4.1.1- Tabla de características generales de la Bomba EB-75

Motor Eléctrico	
Marca	Siemens
Modelo	1RF3 094-2YB99
Potencia	0,75 HP
Frecuencia	60 Hz
Tensión	115 – 230 Volt.
Amperaje	10 – 5 Amp.

Tabla IV-1. Características técnicas del motor.

<b>Bomba</b>	
Tipo	Horizontal
Marca	EBRO
Etapas	1
Modelo	EB-75
Caudal máx.	34 GPM
Altura máx.	30 m
Velocidad	3400 r.p.m
D. Succión	32 mm (1 ¼”).
D. Descarga	25 mm (1”)

**Tabla IV-2.** Características técnicas de la bomba.

#### **4.2- TUBERIA**

La selección de la tubería se basó en cálculos de pérdidas del sistema. En la tubería de succión se halló que la más adecuada era de un diámetro nominal de 1 ½ pulgadas, teniendo en cuenta que el diámetro de succión de la bomba es de 1 ¼ pulgadas.

Fue importante la utilización de tubos de PVC, ya que el ozono es un poderoso oxidante y corroe cualquier parte metálica, incluyendo tuberías de acero.

Para tuberías de PVC, el diámetro nominal de 1 ¼ no fue hallado en el mercado, por lo que se acordó tomar el diámetro mayor siguiente para este tipo de tubos, lo cual fue de 1½ de pulgadas.

En la tubería de descarga se halló que la más adecuada era la del mismo diámetro de descarga de la bomba, es decir, 1 pulgada. No se tomó en cuenta otro diámetro menor ya que este generaría mayor pérdida de fricción en la línea.

La tubería fue diseñada bajo ciertos parámetros ideales, es decir, no se tomó en cuenta la presencia de flujo bifásico dentro de la misma. Para el diseño se trabajó con flujo monofásico y tomando en cuenta que el líquido de operación es agua.

#### 4.2.1. Sistema de tubería en el banco de pruebas.

Según el análisis morfológico realizado en el capítulo anterior, la propuesta de banco de prueba a construir fue la número 4. La falta de espacio en el laboratorio trajo como consecuencia disminuir el tamaño del banco a los valores métricos que se muestran en la Fig. 4.4.

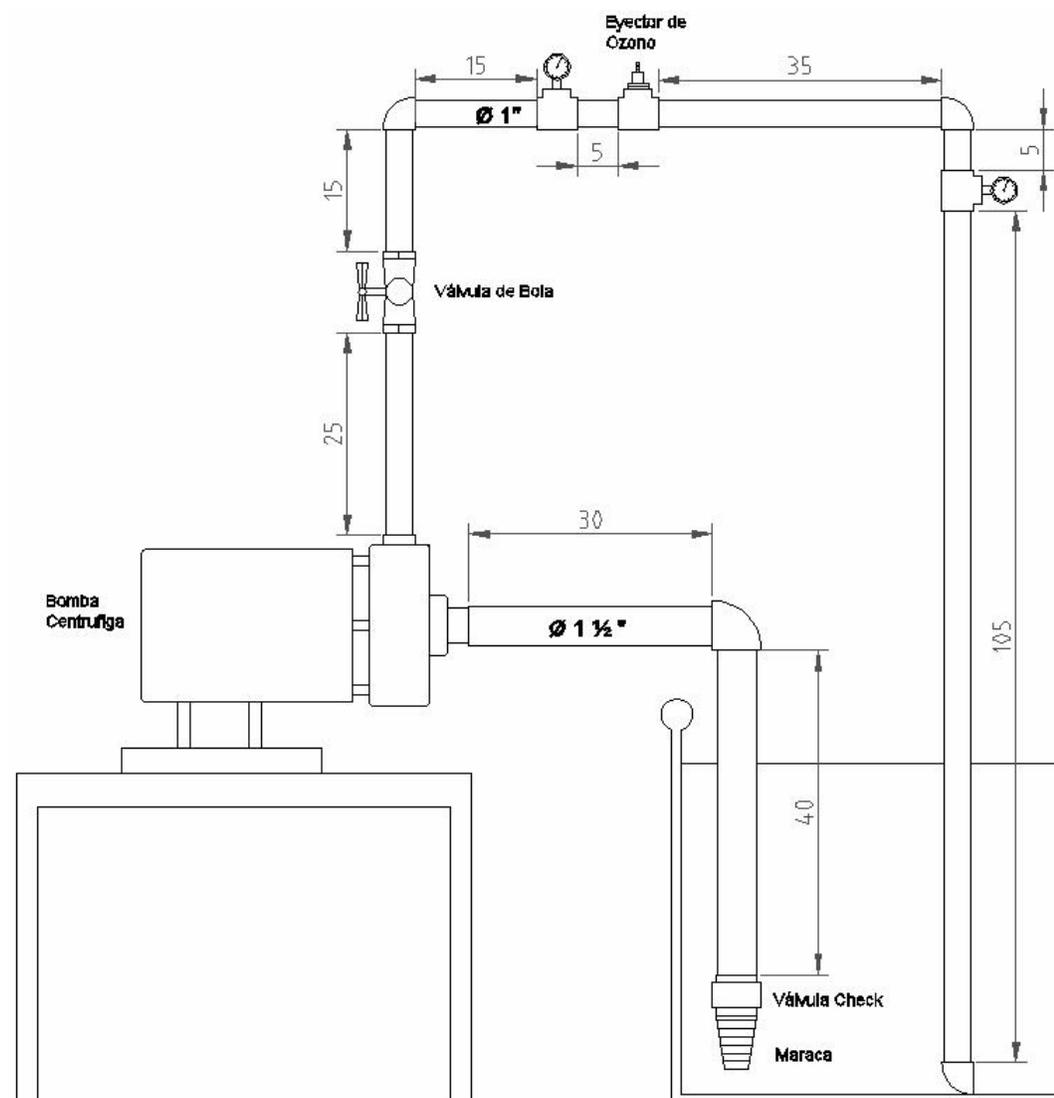


Fig. 4.4. Disposición final del sistema de tuberías y accesorios del banco de pruebas para el tratamiento.

#### **4.2.2- Pérdidas por fricción en el banco de pruebas diseñado.**

Es de suma importancia conocer la curva de pérdidas del sistema. Una vez conocida la disposición de la tubería es necesario saber cual será su caudal de operación; este se obtiene al interceptar la curva del sistema con la de la bomba utilizada para esta planta.

La disposición de medidas de longitud para la tubería obedeció al propósito de ahorrar el mayor espacio en el laboratorio. Luego, se decidió fijar estas medidas que serían necesarias para la elaboración de la curva del sistema.

El caudal de operación de este sistema fue de gran importancia, ya que al obtener este parámetro se procedió a diseñar el eyector y, posteriormente, el aspensor. Conocido el caudal se determinó la presión de la línea.

Es importante destacar que las pérdidas en este sistema se hallarán tomando en cuenta el flujo monofásico en toda la línea. En la Fig. 4.20 se ve en detalle la disposición final del sistema de tratamiento.

##### **4.2.2.1- Coeficientes de Resistencia “K” para accesorios**

El coeficiente de resistencia “K” es un coeficiente obtenido experimentalmente y depende del tamaño y del tipo de accesorio.

Los coeficientes fueron hallados en tablas (Crane, 1992); a continuación se muestran los mismos para cada accesorio utilizado en el sistema.

Dispositivo	Ø Nominal (pulg.)	Valor de K
Válvula Check Tipo Obturador ascendente	1 ½	8,82
Codo estándar de 90°	1 ½	0,63
Válvula de Bola	1	0,07
Codo estándar de 90°	1	0,69
“T” estándar Flujo Directo	1	0,46
Salida de líquido de la tubería (hacia un tanque)	1	1

**Tabla IV-3.** Coeficientes de resistencia.

Para el cono convergente, tomando en cuenta un ángulo incluido de 21° (Fig. 2.7) y una relación hipotética de diámetros  $\beta$  igual a 0,5, el coeficiente de resistencia “K” es de 1,75 (formula 1, apéndice 10).

Para el cono divergente, por otra parte, tomando en cuenta un ángulo incluido de 8° (Fig. 2.7) y la misma relación de diámetros del cono convergente, produce un factor de resistencia K igual a 2,45 (formula 3, apéndice 10).

Conociendo todos los factores, procedemos a la elaboración de la curva del sistema; ésta se rige por la siguiente ecuación:

$$H = \frac{P_{II} - P_I}{\gamma} + Z_{II} - Z_I + \frac{C_{II}^2 - C_I^2}{2 \cdot g} + hf_{I-B} + hf_{B-II} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde, tomando en cuenta que  $P_{II} = P_I$ ;  $Z_{II} = Z_I$  y  $C_{II}^2 - C_I^2 = 0$

La ecuación 4.1 queda, entonces, reducida a:

$$H = hf_{I-B} + hf_{B-II} \quad \text{Ec 4.2}$$

Sustituyendo los valores de “K” y las distancias “L” de los tramos de la tubería llegamos a la ecuación de la curva del sistema, la cual es

$$H = 0,007 Hf_{1,5''} + 9,45 \frac{C_I^2}{2 \cdot g} + 0,018 Hf_{1''} + 8,72 \frac{C_{II}^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ec. 4.3}$$

Donde,  $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ ,  $C = Q/A_{\text{int}}$

✓ Areas internas de tuberías :

- $A_{is} = 0,00142397 \text{ m}^2$
- $A_{id} = 0,00063704 \text{ m}^2$

Q (L/min)	H (m)
19	0,14
38	0,53
57	0,99
76	2,28
95	3,74
114	5,17
132	6,84

**Tabla IV-4.** Puntos pertenecientes a la curva del sistema.

Con la tabla IV-4 procedemos a construir la curva del sistema e insertarla en la curva de la bomba para obtener, así, el caudal de operación.

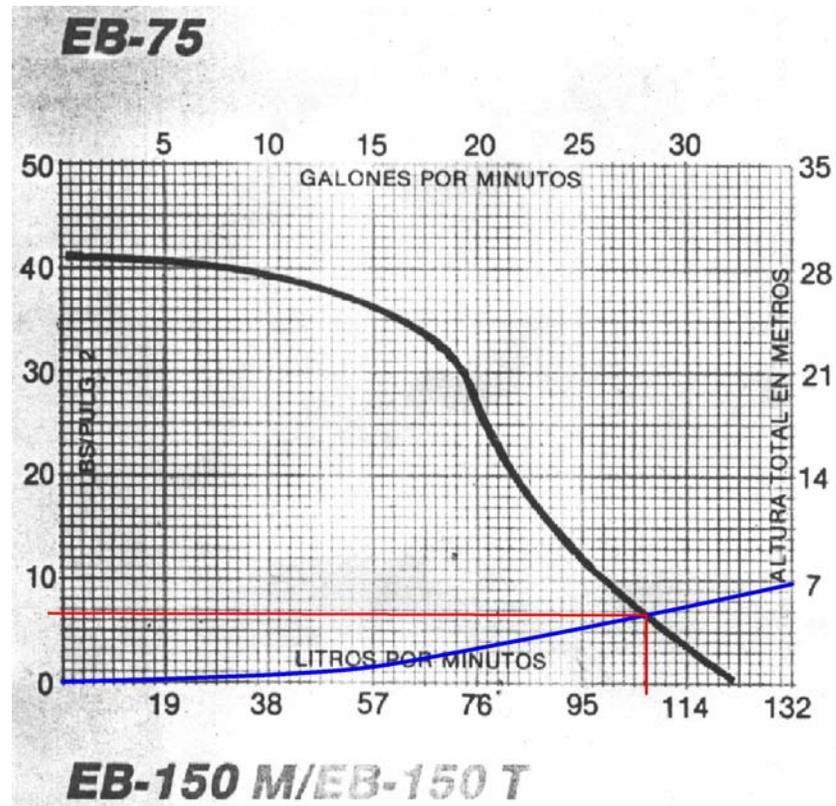


Fig. 4.5. Curvas características.

En la Fig. 4.5 podemos observar el punto de operación teórico del sistema, la línea azul muestra la curva del sistema mientras que la línea negra la curva de la bomba. La intersección de ambas curvas genera el punto de operación de nuestro sistema.

El valor de caudal  $Q$  obtenido para la bomba mediante este procedimiento fue el siguiente:

$$\underline{Q = 105 \text{ l/min}}$$

El valor de presión  $P$  obtenido fue el siguiente:

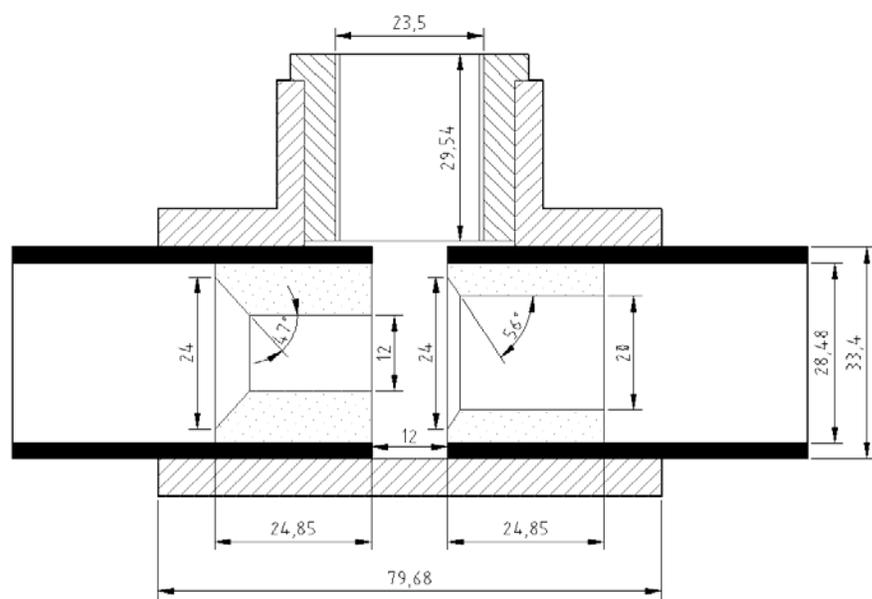
$$\underline{P = 7 \text{ lbs / pu lg}^2}$$

### 4.3- EYECTOR DE OZONO

El eyector utilizado fue del tipo comercial (Pioneer Petroleum de Vzla.) presentó diversas dificultades tanto en pérdidas de presión a través del mismo como la poca eficiencia de la mezcla que se generaba en él. Motivado a esto, se tomó la decisión de rediseñarlo e implementarlo en el equipo de nuestro proyecto.

El eyector se encarga de introducir el ozono en forma gaseosa a la línea de tratamiento. No debe generar pérdidas de fricción considerables, ya que altas pérdidas a través de este sistema bajan sensiblemente la eficiencia de dicho proceso.

Se midieron todas las dimensiones del eyector suministrado y se elaboró un plano donde se pudieron visualizar las características internas de dicho dispositivo. En la Fig. 4.6 se muestra el plano elaborado.



**Fig. 4.6.** Eyector suministrado por la empresa.

#### 4.4- ESTANQUE

El estanque (o piscina), tiene un diámetro de 1,8 metros y una profundidad de 0,35 metros, aproximadamente (ver Fig. 4.7). Alberga un poco más de 1000 Litros ( $1 \text{ m}^3$ ) de agua a ser tratada.

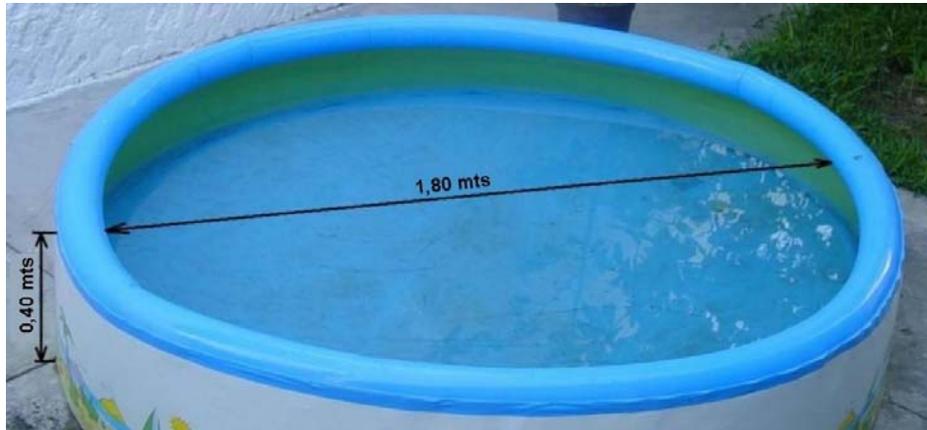


Fig. 4.7. Estanque para el tratamiento.

#### 4.5- ASPERSOR

El aspersor se encarga de distribuir uniformemente el ozono en el estanque. Fue elaborado con una tubería de PVC de 1" de diámetro. Esta es agujereada con orificios de diámetro a determinar. Para que exista una distribución uniforme tendríamos que tener el mismo caudal de salida para garantizar la homogeneidad de microburbujas en el estanque.

Como vimos anteriormente, el estanque tiene 1,80 metros de diámetro, por lo cual decidimos colocar la tubería (aspersor) en el fondo del mismo. El largo de la tubería fue de 1,4 metros, de manera tal que quedara holgada.

Se propuso que el espaciamiento entre orificios fuera de 0,1 metros (10 cm), ya que de esta manera garantizaríamos una buena distribución de ozono en todo el estanque. Con esta propuesta se definió en 14 el número de secciones a lo largo de esta tubería de dosificación, teniendo en cuenta que cada sección tendría un orificio de salida.

#### 4.5.1- Diseño del aspersor

Una vez a nuestro propio criterio escogido el largo de esta tubería y las características, procedimos a calcular el diámetro de los orificios de la siguiente manera:

Se tiene un tubo como se muestra en la figura 4.8.

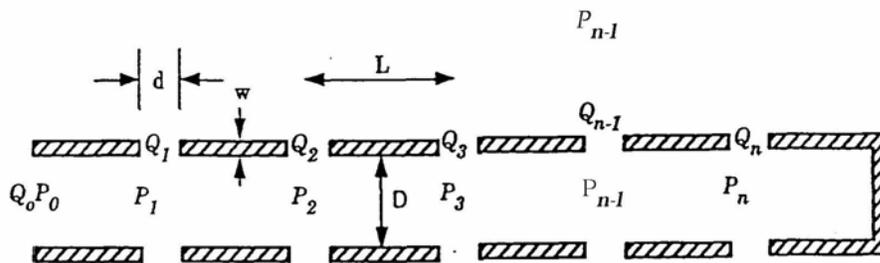


Fig. 4.8. Tubería ahuecada

Dicha tubería se encuentra taponada en el extremo derecho. Aunque se muestran dos agujeros por sección se podrán considerar tantos como sea necesario siempre y cuando la tubería no quede debilitada por ello. Para el flujo incompresible constante, la ecuación de la energía se puede escribir como:

$$\frac{V_a^2}{2} + \frac{P_a}{\rho} = \frac{V_b^2}{2} + \frac{P_b}{\rho} + h_f \quad \text{Ec.4.4}$$

Donde V es la velocidad, P es la presión,  $\rho$  es la densidad del fluido, y  $h_f$  es la pérdida por fricción en la tubería. Los subíndices a y b se refieren a cualesquiera dos secciones adyacentes en la tubería.

La pérdida de fricción  $h_f$  viene dada por tablas experimentales de pérdidas en tuberías PAVCO (apéndice 25). Despejando  $f$  de la ecuación de Darcy-Weisbach (Ecuación 2.6) se tiene la ecuación 4.5:

$$f = h_f \cdot \frac{D}{L} \cdot \frac{2}{Q^2} \cdot A^2 \quad \text{Ec. 4.5}$$

Donde  $\varepsilon$  es la rugosidad absoluta. La ecuación sólo aplica para flujos turbulentos y agua a características ideales. El valor de  $\varepsilon$  para tubos de PVC es de 0,000001m, ya que poseen una rugosidad extremadamente baja debido al material.

Puesto que un extremo de la tubería está taponado, por conservación de masa se requiere que el diseño cumpla con la siguiente ecuación:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \dots + Q_{n-1} + Q_n = Q_0 \quad \text{Ec. 4.6}$$

Pero, dado que se requiere, que el caudal en cada uno de los orificios de la tubería sea el mismo, tenemos:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \dots = Q_{n-1} = Q_n = \frac{Q_0}{N \cdot n} \quad \text{Ec.4.7}$$

Donde  $n$  es el número de secciones que hay a lo largo de la tubería y  $N$  es el número de huecos por sección.

Ahora bien, combinando las ecuaciones 4.4 y 4.5, y despreciando la velocidad radial de entrada, el flujo de salida (caudal) por cada sección viene dada por:

$$Q = N \cdot \left( \frac{1}{1 + f \cdot \frac{w}{d_i}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \pi \cdot \frac{d_i^2}{4} \cdot \left( \frac{2 \cdot (\Delta P_i)}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 4.8}$$

Donde  $N$  es el número de huecos por sección,  $w$  es el espesor de pared del tubo,  $d$  es el diámetro del orificio,  $\Delta P_i$  es el cambio de presión a través de la pared de la tubería, y el factor de fricción,  $f$ , se evalúa dependiendo del flujo para sección de cada salida.

De las ecuaciones 4.4 y 4.5 tenemos que la presión en cada estación de la tubería,  $i$ , viene dada sucesivamente por la siguiente ecuación:

$$P_i = P_{i-1} - f \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{L}{D} \cdot \left( \frac{Q_0 - Q_1 - Q_2 - \dots - Q_i}{\left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right)} \right)^2 \quad \text{Ec. 4.9}$$

Tenemos que  $\Delta P_i = | P_i - P_{i-1} |$  y, sabiendo que los caudales de salida de cada orificio son iguales, podemos escribir la ecuación anterior como:

$$\Delta P_i = f \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{L}{D} \cdot \left( \frac{Q_0 - i \cdot Q}{\left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right)} \right)^2 \quad \text{Ec. 4.10}$$

Donde  $f$  es el factor de fricción en las paredes de la tubería de diámetro.

Con el caudal encontrado en la Fig. 4.5 ( $105 \text{ L/min} = 0,00175 \text{ m}^3/\text{s}$ ), se calcula el número de Reynolds para la sección más desfavorable con la ecuación 2.3, quedando este:

$$Re = 86401,2$$

Tomando la pérdida por fricción  $h_f$  en el apéndice 25 de las tablas de pérdidas por fricción PAVCO y para  $L = 100$  mts, y  $Q = 1,75$  L/s, aplicado a la ecuación 4.2, tenemos que el factor de fricción es:

$$f = 0,000996 \cong 0.001$$

Este factor de fricción se utilizará para las ecuaciones 4.5 y 4.7 para hallar el  $\Delta P_i$  y el diámetro del orificio respectivamente.

Ahora determinaremos el caudal a través de cada orificio de la siguiente manera:

Donde  $Q_0 = 0,00175$  m<sup>3</sup>/s; para  $N = 2$  y  $n = 14$ , se tiene que:

$$Q_i = 6,25E-05 \text{ m}^3/\text{s}$$

Es necesario saber que  $i = n - 1$ ; esto sería el inicio de las iteraciones para calcular el  $\Delta P_i$

Se realizaron cálculos iterativos para hallar el valor de  $D_h$ .

A continuación se registran los valores calculados en la tabla IV-5, donde:

- $n$ :** n° de secciones.
- $\Delta P_i$ :** Caída de presión a través de la tubería en cada tramo.
- $Q_n$ :** Caudal a la entrada de la sección  $n$ .
- $D_h$ :** Diámetro total de hueco de salida de cada sección.
- $D_s$ :** Diámetro estándar de sección.
- $D_h - D_s$ :** Diferencia entre el diámetro total de huecos y diámetro estándar.

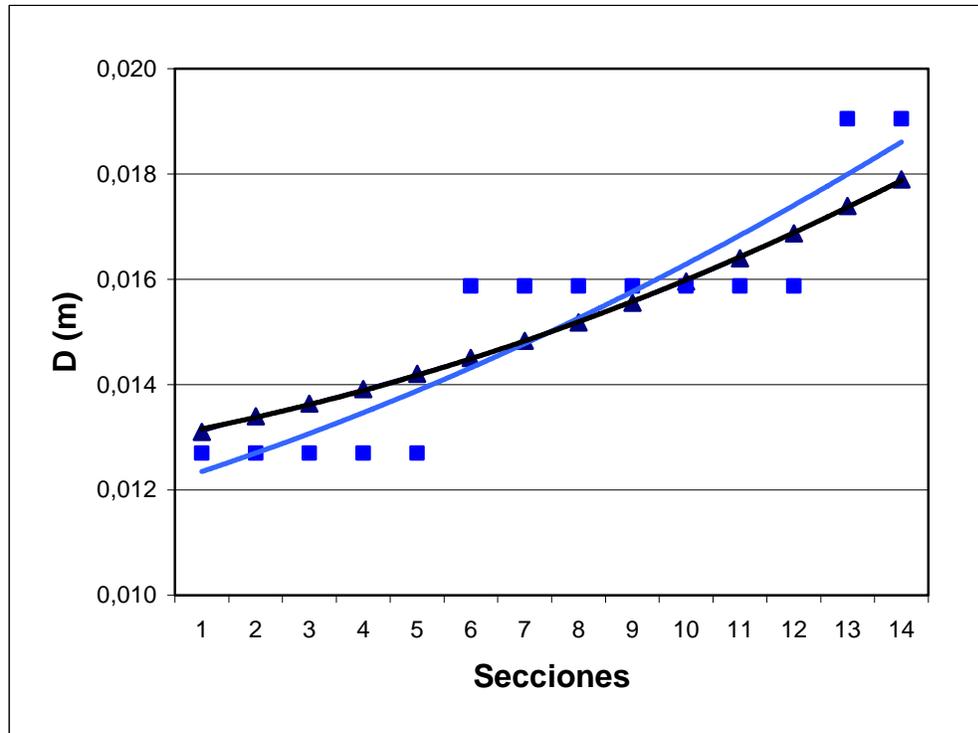
El diámetro estándar ( $D_s$ ) es el diámetro con que se trabajó realmente, las mechas de perforación tenían diámetros de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{5}{8}$  y  $\frac{3}{4}$  de pulgadas.

La diferencia de estos diámetros arrojó el error que se cometía al implementar el diámetro estándar.

<i>n</i>	$\Delta P_i$ (Pa)	$Q_n$ (L/s)	$D_h$ (m)	$D_s$ (m) [pulg]	$D_h - D_s$
<b>1</b>	13,155	1,750	0,013100	<b>0,012700</b> [1/2]	0,000400
<b>2</b>	12,232	1,583	0,013400	<b>0,012700</b> [1/2]	0,000700
<b>3</b>	11,343	1,461	0,013640	<b>0,012700</b> [1/2]	0,000940
<b>4</b>	10,487	1,339	0,013915	<b>0,012700</b> [1/2]	0,001215
<b>5</b>	9,665	1,217	0,014202	<b>0,012700</b> [1/2]	0,001502
<b>6</b>	8,876	1,096	0,014507	<b>0,015875</b> [5/8]	-0,001368
<b>7</b>	8,121	0,974	0,014833	<b>0,015875</b> [5/8]	-0,001042
<b>8</b>	7,399	0,853	0,015182	<b>0,015875</b> [5/8]	-0,000693
<b>9</b>	6,712	0,731	0,015557	<b>0,015875</b> [5/8]	-0,000318
<b>10</b>	6,057	0,609	0,015960	<b>0,015875</b> [5/8]	0,000085
<b>11</b>	5,437	0,487	0,016400	<b>0,015875</b> [5/8]	0,000525
<b>12</b>	4,849	0,365	0,016874	<b>0,015875</b> [5/8]	0,000999
<b>13</b>	4,296	0,244	0,017393	<b>0,019050</b> [3/4]	-0,001657
<b>14</b>	3,775	0,122	0,017900	<b>0,019050</b> [3/4]	-0,001150

$$Error = 0,000138$$

**Tabla IV-5.** Diámetros de huecos diseñados.



**Gráfico 4.1.** Diámetro de hueco vs n° de secciones.

En el gráfico 4.1 se observa el comportamiento tanto de  $D_h$  (línea negra) como de  $D_s$  (línea azul). Se escogieron los diámetros estándares de manera que presentara el menor error posible.

Una vez diseñados los diámetros óptimos de huecos para la tubería de dosificación se perforaron los huecos a través de la tubería y se montó en el sistema descrito anteriormente.



**Fig. 4.9.** Aspensor diseñado

En la Figura 4.9 se muestra el aspensor diseñado para nuestro proyecto.

#### **4.6- BANCO DE PRUEBA DISEÑADO**

En siguientes figuras se puede observar el conjunto ensamblado de todos los dispositivos que conforman este banco de pruebas.



**Fig. 4.10.** Vista general del banco de pruebas.



**Fig. 4.11.** Sistema de tratamiento.



**Fig. 4.12.** Detalle del conjunto manómetro y eyector.



Fig. 4.13. Válvula de PVC de 1”.



Fig. 4.14. Montaje del Sistema



Fig. 4.15. Válvula check y maraca 1/2”.

## **CAPITULO 5**

### **PRUEBAS HIDRAULICAS DEL EYECTOR**

El objetivo de este eyector es el de proveer de un sistema de mezclado y aceleración de fluidos que incremente el intercambio másico de ozono con el fluido a purificar en un tiempo más corto. El mezclado mejora con las dimensiones de la sección de mezcla (cono) y la aceleración depende de la energía suministrada y de las dimensiones de entrada y salida del dispositivo.

En este capítulo realizaremos los experimentos hidráulicos al eyector en el banco de pruebas, variando el cono interno divergente en diferentes tamaños. Estas experiencias hidráulicas serán de gran importancia al momento de escoger el diámetro del cono en donde ocurra la mejor mezcla en el dispositivo.

#### **5.1- GEOMETRIA DEL EYECTOR**

Es importante conocer que dimensiones de los conos internos del eyector, que estudiaremos durante las pruebas hidráulicas que se realizarán.

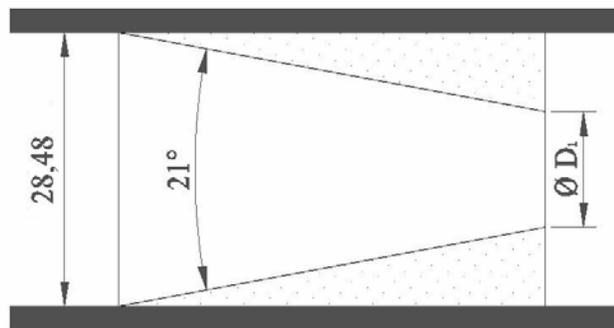
Estos conos de salida se construyeron con el mismo material utilizado inicialmente (nylon). Se utilizó barras cilíndricas de 30 mm de diámetro para su elaboración. El proceso de fabricación de dichas piezas fue el torneado.

##### **5.1.1- Ángulos de Conos Internos**

En eyector original se observó un ángulo de entrada de  $94^\circ$ . En la salida se observó ángulo recto, esta sección sería la más crítica ya que de no existir esta forma geométrica (como la de un difusor) no se lograría recuperar la caída de presión generada en el primer cono.

El sistema de eyección consta de dos conos, uno convergente, donde el ángulo incluido es de  $21^\circ$ , según la teoría de Venturi, y otro cono tipo divergente, donde el ángulo incluido es de  $7$  a  $8^\circ$ . La finalidad del cono divergente es reducir la pérdida global de presión en el medidor (Vila, 1980).

Se decidió disminuir el ángulo incluido de la boquilla de entrada de  $94^\circ$  a  $21^\circ$  para que el flujo entrara de manera continua y sin ángulos rectos al sistema y se disminuyera las pérdidas en la entrada. En la figura 5.1 se puede observar la reducción.



**Fig. 5.1.** Cono convergente del eyector.

Para este dispositivo se dejó fijo el diámetro  $D_1$  en 12mm como estaba anteriormente.

El rediseño se enfocó principalmente en el cono divergente del eyector (Fig. 5.2), ya que se observó una variación de diámetro con respecto a la entrada del dispositivo (Fig. 5.3). Dicha variación influye un poco en la succión de ozono del eyector y se quiso profundizar observando el comportamiento del eyector al trabajar con diferentes diámetros.

Por otra parte, se aplicó un cono divergente después de la sección de diámetro  $D_2$ . Este cono según la teoría de recuperación de presión del Venturi es de  $8^\circ$  a  $9^\circ$  en este caso particular se aplicó a  $8^\circ$  por la dificultad del maquinado cónico interno aplicado (Avallone y Baumeister, 1999).

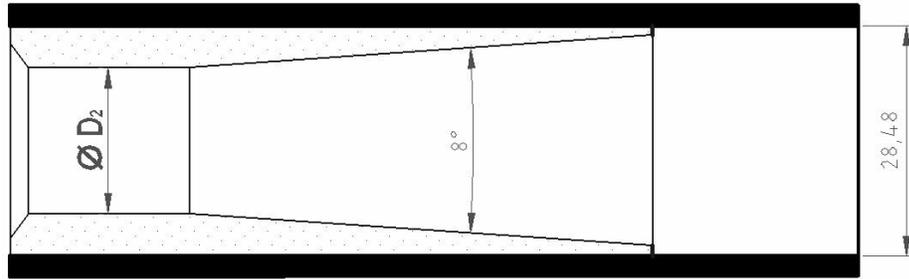


Fig. 5.2. Cono divergente del eyector.

### 5.1.2- Diámetros estudiados para el cono divergente

En las pruebas realizadas experimentalmente se construyeron 5 conos divergentes (12, 15, 18 y 22mm) respectivamente. Con esto observaríamos el diámetro óptimo de diseño para generar una succión adecuada para el suministro del ozono. El diámetro del cono de succión está señalado entre las líneas punteadas en la Fig. 5.3.

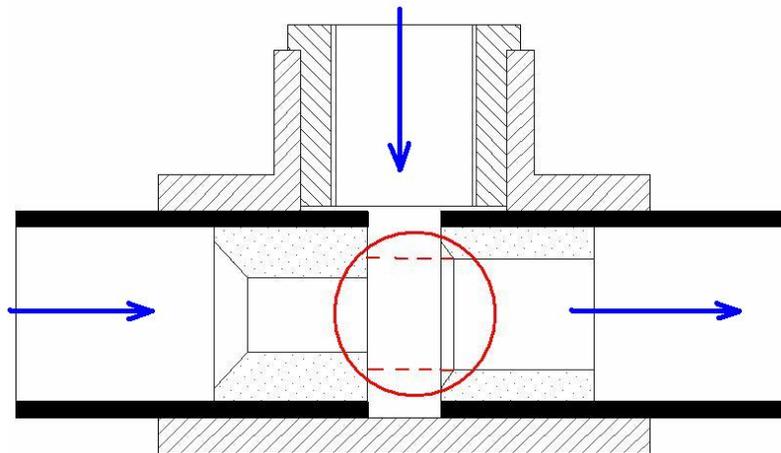
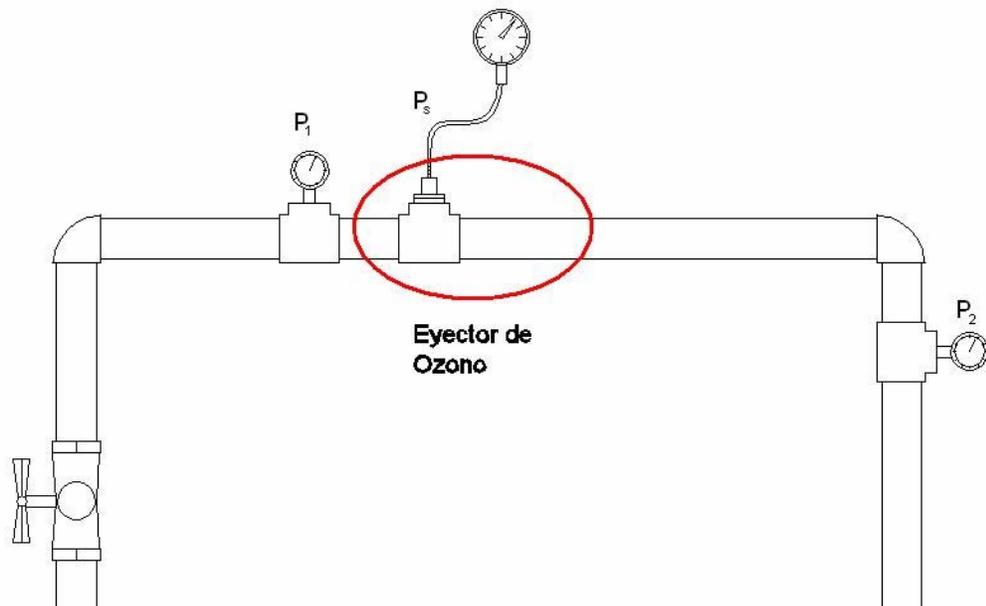


Fig. 5.3. Relación de diámetros en el eyector.

La relación de diámetros de los conos convergente y divergente (encerrado en rojo en la Fig. 5.3) es de suma importancia para crear una buena succión del flujo, tomando en cuenta parámetros como la relación del flujo másico “M” y la recuperación de presión “N” (Jiao, Schmidt y Blais, 1990). Esta relación de diámetros se define como la relación del área menor transversal de la boquilla de entrada por donde atraviesa el fluido impulsor y el área de la sección transversal de la salida del dispositivo. En este caso dicha área viene dada por el diámetro señalado en la línea punteada.

Se ensayó con varios diámetros del cono divergente,  $D_2$ , a fin de verificar como se comporta el dispositivo en relación a la variación de este diámetro. Se midió presión de entrada al dispositivo ( $P_1$ ), presión de succión ( $P_s$ ) y presión de salida del eyector ( $P_2$ ). Para estas pruebas los equipos fueron montados según se había propuesto en el banco de pruebas, a diferencia del dosificador. Las mediciones de presión se tomaron según se muestra en la Fig. 5.4.



**Fig. 5.4.** Toma de medidas de presión en el eyector.

Realizamos estos ensayos para determinar qué diámetro de salida ( $D_2$ ) era el más favorable para que ocurriese la menor caída de presión en el dispositivo y, de la misma manera, verificar la presión de succión.

La toma de medidas se realizaron con dos manómetros de 0-15 psi. Estos tienen una apreciación de 0,5 psi. Para la toma de medida de succión se empleó un vacuómetro de 1000 mBar, con apreciación de 10 mBar.

Estas pruebas se realizaron a fin de verificar el comportamiento del dispositivo y escoger un área óptima para ser aplicada al diseño anteriormente expuesto.

Para esta prueba se escogieron varios diámetros ( $D_2$ ) los cuales fueron los siguientes:

- $D_2 = 12$  mm
- $D_2 = 15$  mm
- $D_2 = 18$  mm
- $D_2 = 20$  mm
- $D_2 = 22$  mm

Todos los experimentos se realizaron a una temperatura promedio de 25 °C medida con un termómetro analógico.

El caudal fue regulado por medio de la válvula de bola observándose la variación de presiones a la entrada ( $P_1$ ), a la salida ( $P_2$ ) y en la succión ( $P_s$ ). Adicionalmente se midió el caudal de agua que circulaba a través del dispositivo eyector, por medio de un tanque aforado y un cronometro.

En las siguientes figuras podemos apreciar disposición del conjunto de medición de presión.



**Fig. 5.5.** Instrumentos de medición de presión en el eyector.



**Fig. 5.6.** Toma de presión de succión con el vacuometro.



**Fig. 5.7.** Disposición de los manómetros.



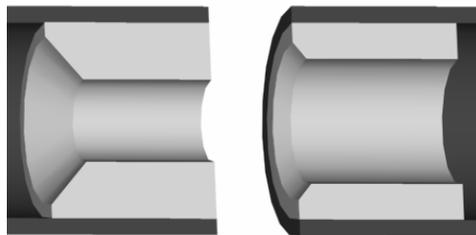
**Fig. 5.8.** Medición de presión ( $P_2$ ) aguas abajo.

## 5.2- PRUEBAS CON EL EYECTOR

Estos experimentos consistieron en tomar mediciones de presión ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_s$ ) y valores de caudal de agua. Se probaron diferentes diámetros del cono divergente (12, 15, 18, 20 y 22 mm) para posteriormente elaborar los parámetros operacionales del eyector “M” y “N”.

### 5.2.1- Prueba n° 1

Se le realizaron pruebas al eyector original (Fig. 5.9) obteniéndose la data mostrada en la tabla V-I



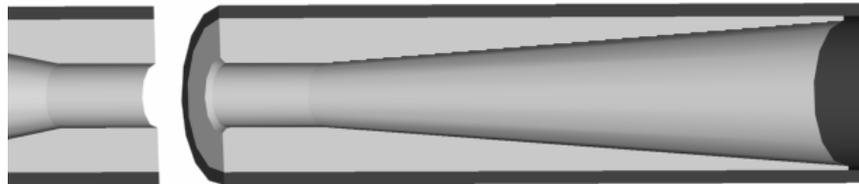
**Fig. 5.9.** Esquema original interno del eyector.

$P_1$ [psi]	$P_2$ [psi]	$P_s$ [mBar]	$Q_{\text{agua}}$ [L/min.]
13	2	-500	93,1
11	1,5	-410	96,9
9	1	-350	101,7
7	0,5	-290	106,4
5	0,5	-210	110,2

**Tabla V-1.** Toma de presiones en el diseño original.

### 5.2.2- Prueba n° 2

Esta prueba se realizó con un diámetro de 12 mm. Este diámetro es igual al de salida de la boquilla, donde la relación de diámetros es igual a 1. En la figura 5.10 se muestra como queda constituido el sistema, la parte izquierda es la boquilla de entrada y la de la derecha es el cono de salida. Nótese los conos convergente y divergente tiene el mismo diámetro tanto de salida como de entrada respectivamente.



**Fig. 5.10.** Cono divergente a 12mm.

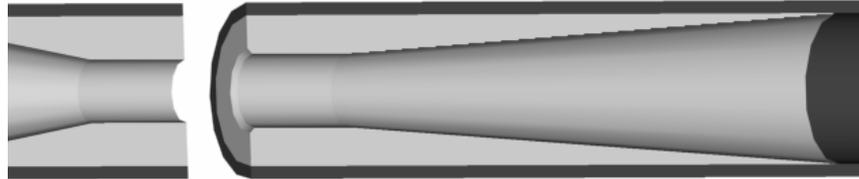
Los datos tomados en la prueba n° 2 fueron los siguientes:

$P_1$ [psi]	$P_2$ [psi]	$P_s$ [mBar]	$Q_{agua}$ [L/min]
11	2	-200	96,9
10	2	-220	98,8
8	1,5	-250	104
7	1,5	-270	106,4
6	1	-300	108,3
4	1	-340	112,1
3	0,5	-330	115,9
2	0,5	-320	118,8

**Tabla V-2.** Toma de presiones para diseño de 12mm.

### 5.2.3- Prueba n° 3

Esta prueba se realizó con un diámetro de 15 mm. La relación de diámetros es igual a 0,8. En la figura 5.11 se muestra la relación entre diámetros.



**Fig. 5.11.** Cono divergente a 15 mm.

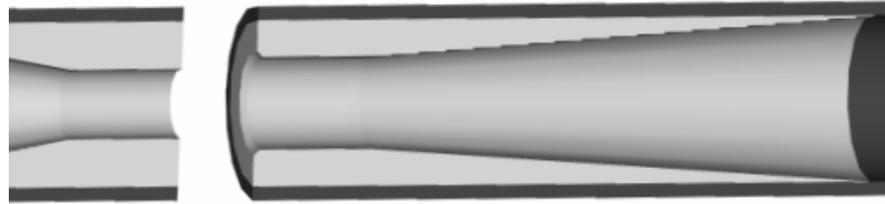
Los datos tomados en la prueba n° 3 fueron los siguientes:

$P_1$ [psi]	$P_2$ [psi]	$P_s$ [mBar]	$Q_{\text{agua}}$ [L/min]
9	2,5	-480	101,7
8	2	-470	104
6	1,5	-420	108,3
4	1,5	-250	112,1
3	1	-210	115,9
2	1	-180	118,8

**Tabla V-3.** Toma de presiones para el diseño de 15 mm.

### 5.2.4- Prueba n° 4

La prueba se realizó con un diámetro de 18 mm. La relación de diámetros es de 0,667. Esta relación se muestra en la figura 5.12.



**Fig. 5.12.** Cono divergente a 18 mm.

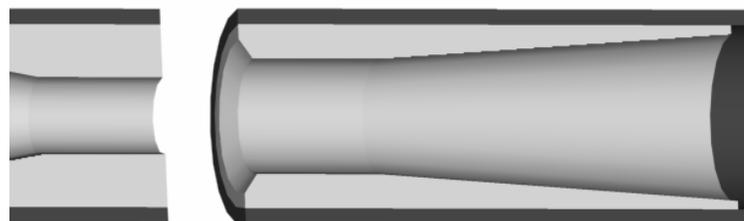
Los datos tomados en la prueba n° 4 fueron los siguientes:

$P_1$ [psi]	$P_2$ [psi]	$P_s$ [mBar]	$Q_{\text{agua}}$ [L/min]
8	3	-700	104
6,5	2,5	-600	107,4
5,5	2	-500	109,3
4	1,5	-400	112,1
2,5	1	-300	117,4
1,5	0,5	-200	118,8

**Tabla V-4.** Toma de presiones para el diseño de 18 mm.

### 5.2.5- Prueba n° 5

La prueba se realizó con un diámetro de 20 mm, donde la relación de diámetros fue de 0,6. Véase la Fig. 5.13.



**Fig. 5.13.** Cono divergente a 20 mm.

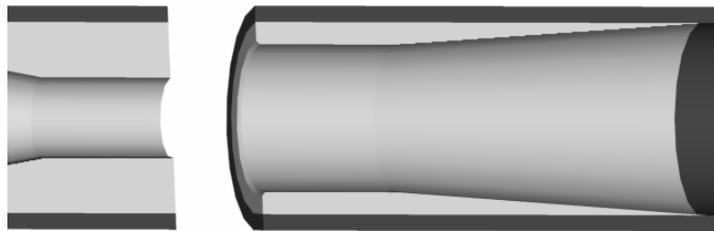
Los datos tomados en la prueba n° 5, fueron los siguientes:

$P_1$ [psi]	$P_2$ [psi]	$P_s$ [mBar]	$Q_{agua}$ [L/min]
9	3	-640	101,7
8	2,5	-550	104
6,5	2	-470	107,4
5	1,5	-390	110,2
3,5	1	-300	114
2	0,5	-200	118,8

**Tabla V-5.** Toma de presiones para el diseño de 20 mm.

### 5.2.6- Prueba n° 6

La última prueba se realizó con un diámetro de 22 mm y una relación de diámetros de 0,5455, como se muestra en la Fig. 5.14.



**Fig. 5.14.** Cono divergente a 22 mm.

Los datos tomados en la prueba n° 6 fueron los siguientes:

<b>P<sub>1</sub> [psi]</b>	<b>P<sub>2</sub> [psi]</b>	<b>P<sub>s</sub> [mBar]</b>	<b>Q<sub>agua</sub> [L/min]</b>
10	1,5	-270	98,8
8	1	-230	104
6	1	-180	108,3
4	0,5	-120	112,1

**Tabla V-6.** Toma de presiones para el diseño de 22 mm.

## CAPITULO 6

### DISCUSION Y RESULTADOS

Una vez realizadas las mediciones de presiones ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_s$ ) del dispositivo eyector, se analizaron los casos estudiados, definiéndose el más favorable en función de la recuperación de presión (N) y la relación de masas (M).

Un factor muy resaltante es que este tipo de dispositivo genera una caída de presión del fluido impulsor muy elevada. Se buscará con este análisis experimental observar el comportamiento del dispositivo y de las presiones antes mencionadas.

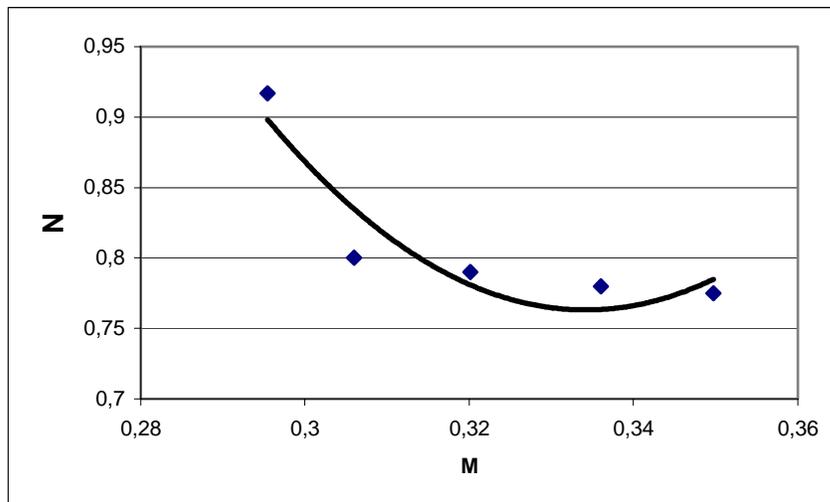
#### 6.1- RESULTADOS

Analizando gráficamente la configuración de cada prueba, se pudo obtener lo siguiente:

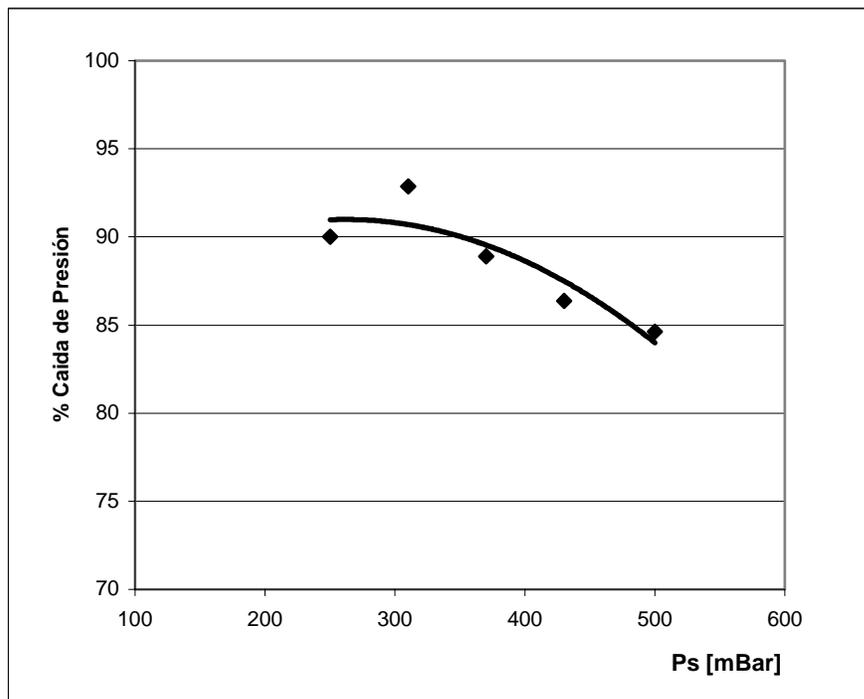
##### 6.1.1- Prueba n° 1

$P_1$ [kPa]	$P_2$ [kPa]	$P_s$ [kPa]	N	M	$Q_{\text{agua}}$ [m <sup>3</sup> /s]
26,8	15,8	6,5	0,78	0,35	0,00155
24,8	15,3	7,5	0,78	0,34	0,00162
22,8	14,8	8,4	0,79	0,32	0,00170
20,8	14,3	9,3	0,80	0,31	0,00177
18,8	14,3	10,2	0,92	0,30	0,00184

**Tabla VI-1.** Resultados de la prueba n° 1.



**Gráfico 6.1.** Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico ( $D_2 = 20$  mm, original).



**Gráfico 6.2.** Porcentaje de caída de presión vs presión de succión ( $D_2 = 20$  mm, original).

Esta prueba se realizó con el dispositivo inicial. Presentó una elevada caída de presión en la salida del eyector; el diámetro de salida fue de 20mm. No poseía geometría alguna que aumentara la presión para tratar de recuperarla.

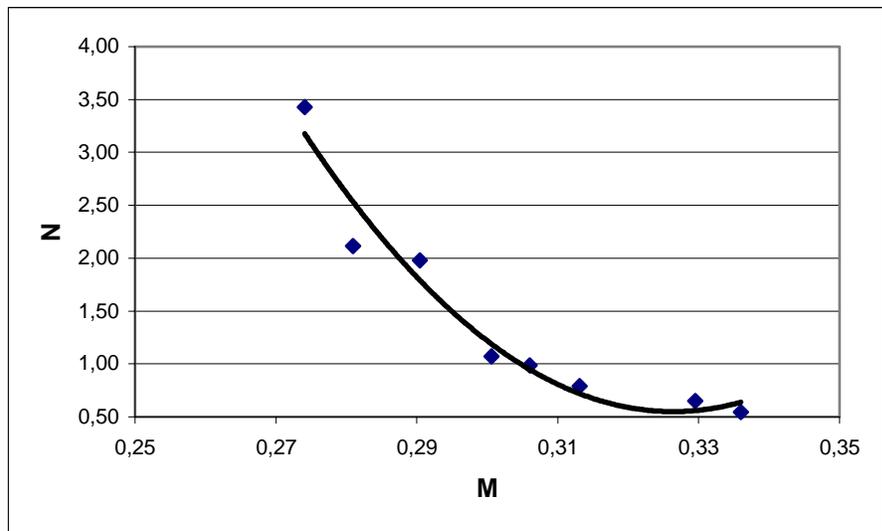
La relación de flujo másico estuvo aproximadamente entre 0,3 y 0,35 (gráfica 6.1). Por otra parte, se observó el mayor porcentaje de caída de presión en 91% aproximadamente para una succión de 250 mBar. Este porcentaje de caída de presión fue disminuyendo al aumentar la presión de succión. Dicho fenómeno se puede observar en el gráfico 6.2.

El porcentaje de caída de presión osciló entre 84 y 93 %, siendo esta configuración de diámetro poco eficiente.

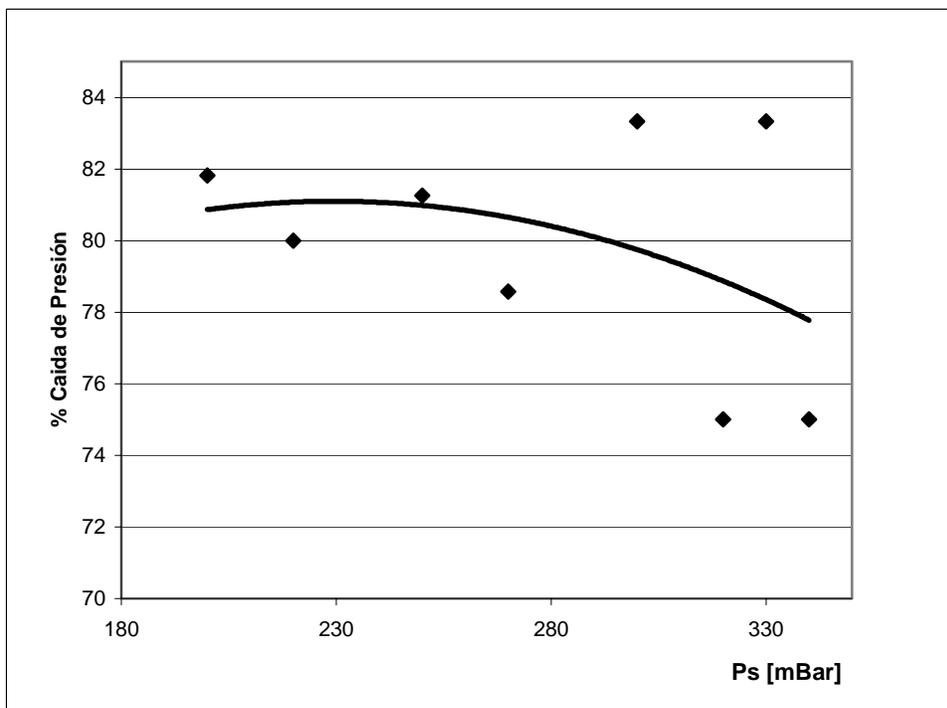
#### 6.1.2- Prueba n° 2

<b>P<sub>1</sub> [kPa]</b>	<b>P<sub>2</sub> [kPa]</b>	<b>P<sub>s</sub> [kPa]</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>Q [m<sup>3</sup>/s]</b>
24,8	15,8	10,9	0,54	0,34	0,00162
23,8	15,8	10,6	0,65	0,33	0,00165
21,8	15,3	10,2	0,79	0,31	0,00173
20,8	15,3	9,9	0,98	0,31	0,00177
19,8	14,8	9,4	1,07	0,30	0,00181
17,8	14,8	8,8	1,98	0,29	0,00187
16,8	14,3	9,0	2,11	0,28	0,00193
15,8	14,3	9,1	3,43	0,27	0,00198

**Tabla VI-2.** Resultados de la prueba n° 2.



**Gráfico 6.3.** Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico ( $D_2 = 12$  mm).



**Gráfico 6.4.** Porcentaje de caída de presión vs presión de succión ( $D_2 = 12$  mm).

Para una relación de diámetros igual a 1, se probó el cono divergente el cual tenía un ángulo incluido de 8°. El diámetro de salida estudiado en este caso fue de 12mm.

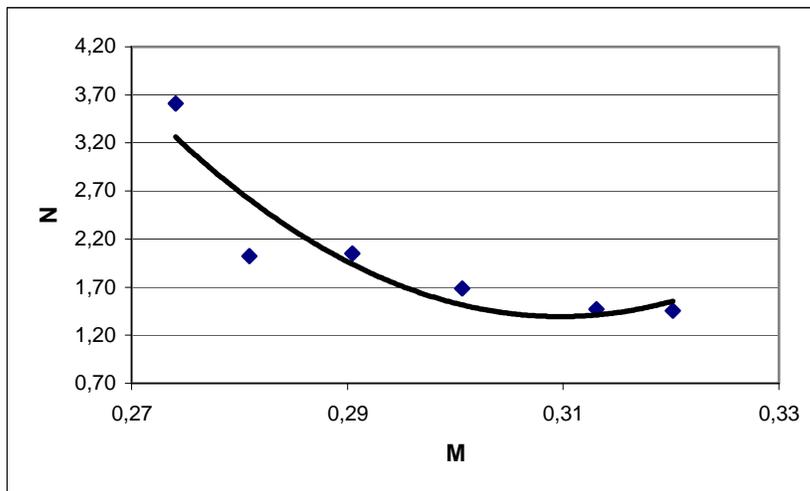
La presión de succión estuvo entre 200 y 340 mBar, aproximadamente. Por otra parte, se observaron dos porcentajes de caída de presión mayores los cuales fueron de 81%, aproximadamente, para una succión de 250 mBar y 300 mBar. Estos porcentajes de caída de presión oscilaron al aumentar la presión de succión, tendiendo siempre a disminuir al aumentar  $P_s$ . Dicho fenómeno se puede observar en el gráfico 6.4.

La relación de flujo másico estuvo aproximadamente entre 0,5 y 3,5 (gráfica 6.3). El porcentaje de caída de presión osciló entre 75 y 82%. Esta configuración sigue siendo poco eficiente ya que el comportamiento del dispositivo no es el más adecuado.

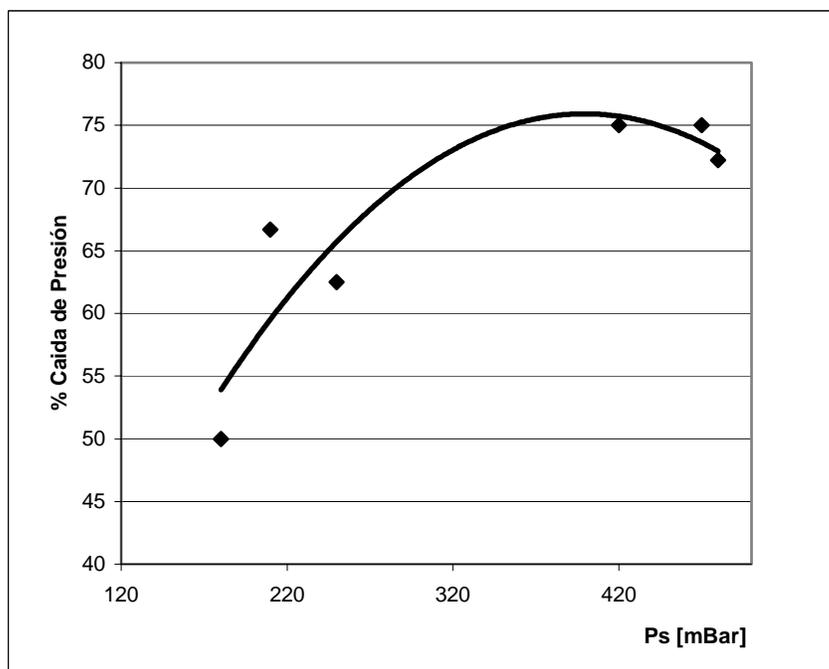
### 6.1.3- Prueba n° 3

$P_1$ [kPa]	$P_2$ [kPa]	$P_s$ [kPa]	N	M	Q [m <sup>3</sup> /s]
22,8	16,3	6,8	1,46	0,32	0,00170
21,8	15,8	7,0	1,47	0,31	0,00173
19,8	15,3	7,7	1,69	0,30	0,00181
17,8	15,3	10,2	2,05	0,29	0,00187
16,8	14,8	10,7	2,02	0,28	0,00193
15,8	14,8	11,2	3,61	0,27	0,00198

**Tabla VI-3.** Resultados de la prueba n° 3.



**Gráfico 6.5.** Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico ( $D_2 = 15$  mm).



**Gráfico 6.6.** Porcentaje de caída de presión vs presión de succión ( $D_2 = 15$  mm).

Esta configuración fue realizada con un diámetro de salida de 15 mm, con una relación de diámetros de 0,8.

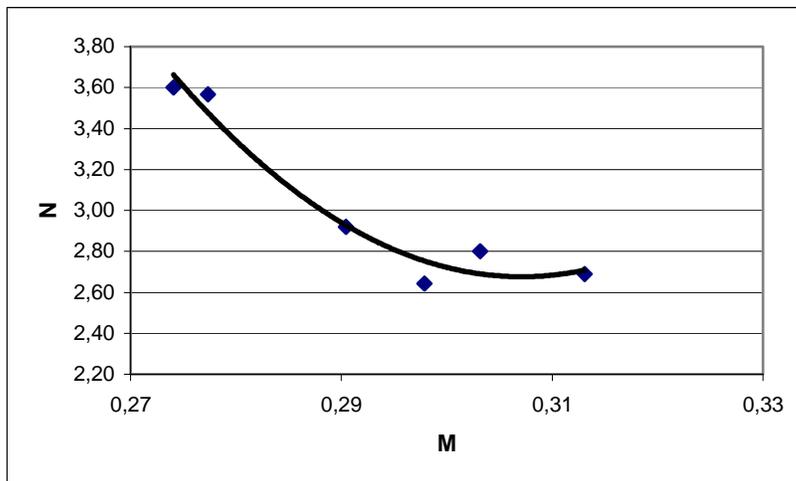
La presión de succión estuvo entre 150 y 450 mBar, aproximadamente. Por otra parte, se observó el mayor porcentaje de caída de presión en 76%, aproximadamente, para una succión de 400 mBar. El porcentaje de caída de presión fue aumentando al aumentar la presión de succión hasta un valor de 400 mBar, luego fue disminuyendo hasta que se alcanzó la máxima succión de 450 mBar. Dicho fenómeno se puede observar en el gráfico 6.6.

La relación de flujo másico estuvo aproximadamente entre 1,3 y 3,2 (gráfica 6.5). El porcentaje de caída de presión osciló entre 54 y 76 %, siendo esta configuración mucho más eficiente que el anterior (12 mm).

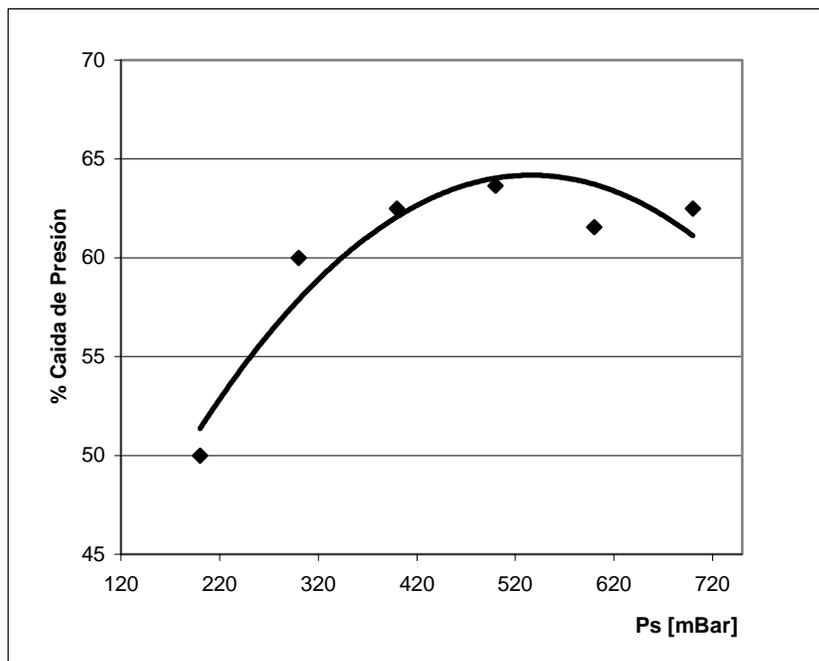
#### 6.1.4- Prueba n° 4

<b>P<sub>1</sub> [kPa]</b>	<b>P<sub>2</sub> [kPa]</b>	<b>P<sub>s</sub> [kPa]</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>Q [m<sup>3</sup>/s]</b>
21,8	16,8	3,3	2,69	0,31	0,00173
20,3	16,3	5,1	2,80	0,30	0,00179
19,3	15,8	6,5	2,64	0,30	0,00182
17,8	15,3	8,0	2,92	0,29	0,00187
16,3	14,8	9,4	3,57	0,28	0,00196
15,8	14,3	10,9	2,27	0,27	0,00198

**Tabla VI-4.** Resultados de la prueba n° 4.



**Gráfico 6.7.** Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico ( $D_2 = 18$  mm).



**Gráfico 6.8.** Porcentaje de caída de presión vs presión de succión ( $D_2 = 18$  mm).

Esta configuración fue realizada con un diámetro de salida de 18 mm, con una relación de diámetros de 0,667.

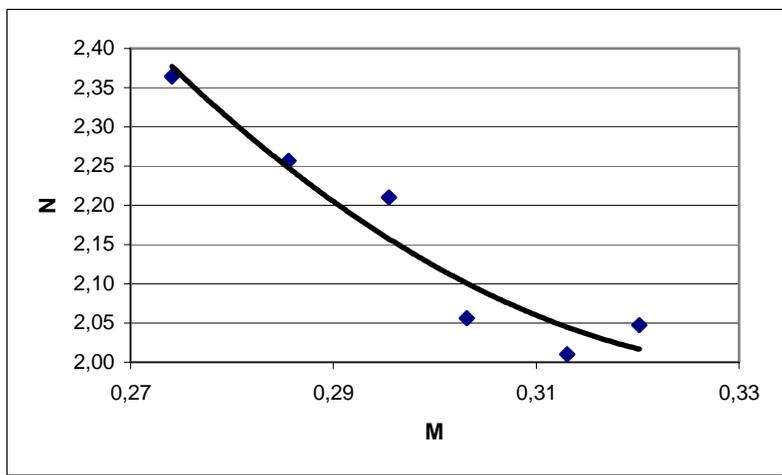
La presión de succión estuvo entre 180 y 700 mBar, aproximadamente. Por otra parte, se observó el valor máximo de porcentaje de caída de presión en 64%, aproximadamente, para una succión de 500 mBar. Este porcentaje de caída de presión fue aumentando hasta llegar a 500 mBar, luego fue disminuyendo al aumentar la presión de succión después de los 500 mBar. Dicho fenómeno se puede observar en el gráfico 6.8.

La relación de flujo másico estuvo aproximadamente entre 2,6 y 3,6 (gráfica 6.7). El porcentaje de caída de presión osciló entre 50 y 65 %, obteniéndose una notable disminución. Cabe destacar que en esta prueba se alcanzó la máxima succión obtenida en todas las pruebas y la menor caída de presión.

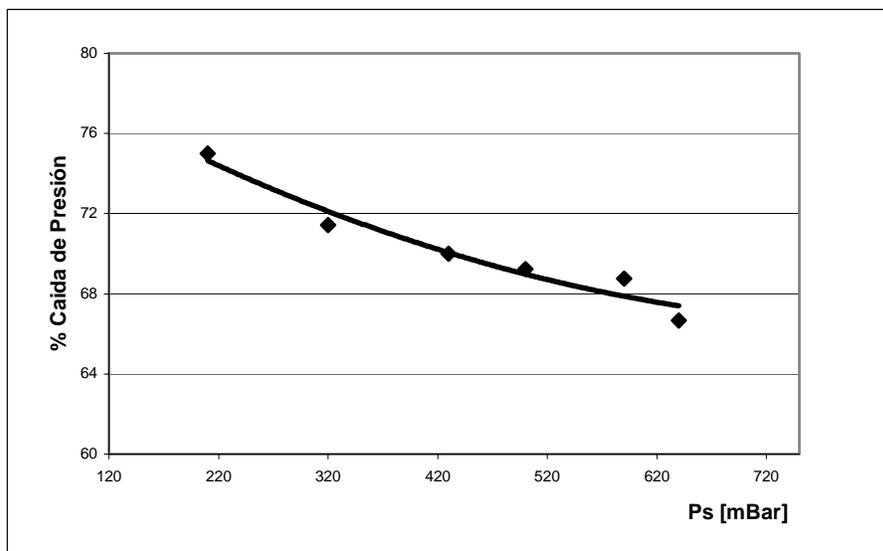
**6.1.5- Prueba n° 5**

<b>P<sub>1</sub> [kPa]</b>	<b>P<sub>2</sub> [kPa]</b>	<b>P<sub>s</sub> [kPa]</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>Q [m<sup>3</sup>/s]</b>
22,8	16,8	4,5	2,05	0,32	0,00170
21,8	16,3	5,2	2,01	0,31	0,00173
20,3	15,8	6,5	2,06	0,30	0,00179
18,8	15,3	7,5	2,21	0,30	0,00184
17,3	14,8	9,1	2,26	0,29	0,00190
15,8	14,3	10,7	2,36	0,27	0,00198

**Tabla VI-5.** Resultados de la prueba n° 5.



**Gráfico 6.9.** Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico ( $D_2 = 20$  mm).



**Gráfico 6.10.** Porcentaje de caída de presión vs presión de succión ( $D_2 = 20$  mm).

Esta configuración fue realizada con un diámetro de salida de 20 mm, con una relación de diámetros de 0,6.

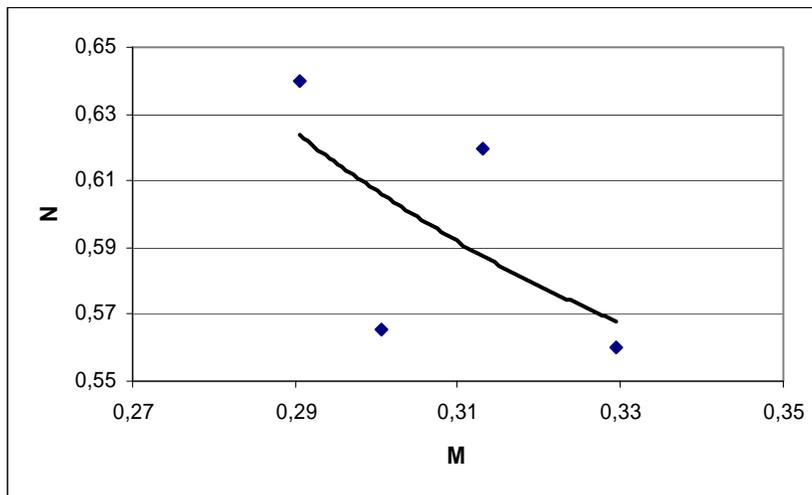
La presión de succión estuvo entre 200 y 650 mBar aproximadamente, por otra parte se observó el valor máximo de porcentaje de caída de presión en 75% aproximadamente para una succión de 220 mBar, este porcentaje de caída de presión fue disminuyendo al aumentar la presión de succión después de los 220 mBar, dicho fenómeno se puede observar en el gráfico 6.10.

La relación de flujo másico estuvo aproximadamente entre 2,0 y 2,35 (gráfica 6.9). El porcentaje de caída de presión osciló entre 66 y 75 %, siendo esta una buena configuración pero menos más eficiente que el anterior (18 mm).

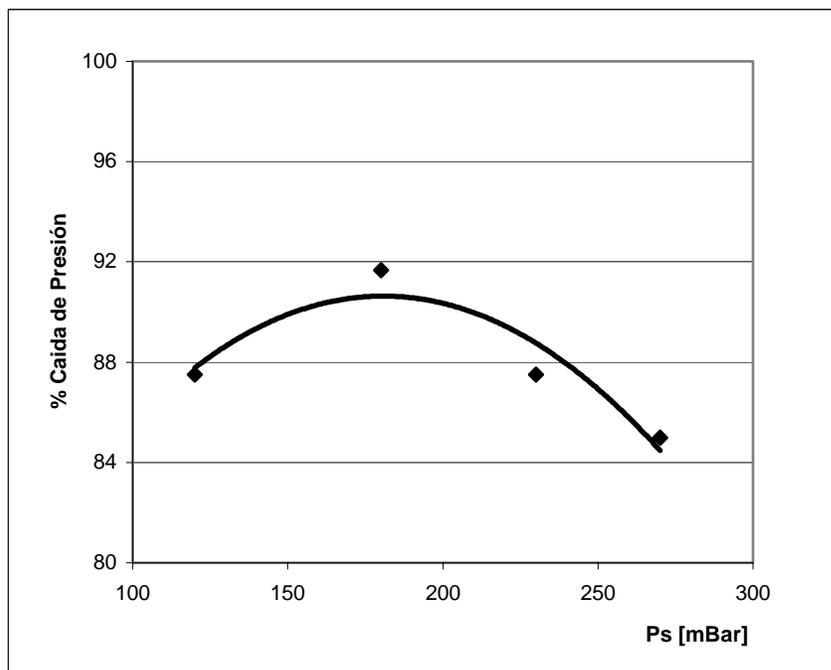
#### 6.1.6- Prueba n° 6

<b>P<sub>1</sub> [kPa]</b>	<b>P<sub>2</sub> [kPa]</b>	<b>P<sub>s</sub> [kPa]</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>Q [m<sup>3</sup>/s]</b>
23,8	15,3	9,9	0,64	0,33	0,00165
21,8	14,8	10,4	0,62	0,31	0,00173
19,8	14,3	11,2	0,57	0,30	0,00181
17,8	14,3	12,0	0,64	0,29	0,00187

**Tabla VI-6.** Resultados de la prueba n° 6.



**Gráfico 6.11.** Recuperación de Presión vs Relación de flujo másico ( $D_2 = 22$  mm).



**Gráfico 6.12.** Porcentaje de caída de presión vs presión de succión ( $D_2 = 22$  mm)

Esta configuración fue realizada con un diámetro de salida de 22 mm, con una relación de diámetros de 0,5455.

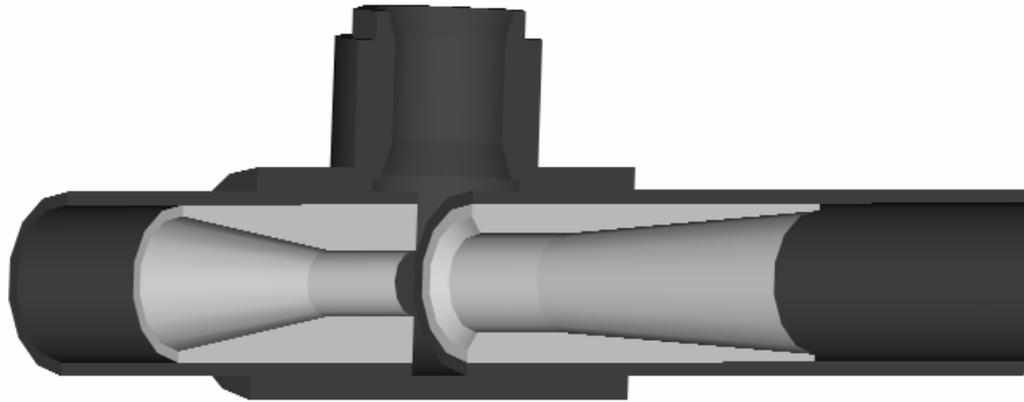
La presión de succión estuvo entre 120 y 270 mBar aproximadamente, por otra parte se observó el valor máximo de porcentaje de caída de presión en 91% aproximadamente para una succión de 180 mBar, este porcentaje de caída de presión fue aumentando hasta llegar a una succión de 180 mBar, luego fue disminuyendo al aumentar la presión de succión después del valor anterior, dicho fenómeno se puede observar en el gráfico 6.12.

La relación de flujo másico estuvo aproximadamente entre 0,57 y 0,63 (gráfica 6.11). El porcentaje de caída de presión osciló entre 85 y 90%. Con esta configuración el dispositivo generaba caídas de presión demasiado altas en donde la presión de salida ( $P_2$ ) era muy baja.

## **6.2- Selección de diámetro ( $D_2$ ) adecuado.**

Una vez analizado los datos tomados experimentalmente para obtener el diámetro de salida ( $D_2$ ) del eyector deseado para la aplicación de nuestro sistema de tratamiento, se seleccionó el de 18mm, ya que en las pruebas experimentales esta configuración fue la que arrojó menor caída de presión conjuntamente con la mayor succión.

Es importante destacar que este procedimiento es limitado para estudiar diversos tamaños de diámetros de salida para este dispositivo. Es por ello que se eligieron estos 5 diferentes tamaños (12, 15, 18, 20 y 22mm) con el fin de escoger el que mejor se adaptara a nuestro diseño.



**Fig. 6.1.** Geometría final del eyector.

En la Fig. 6.1 se puede apreciar la disposición final del eyector que será utilizado en nuestro sistema. Este inicialmente se ubicaba en un rango de porcentaje de caída de presión de 84 a 92%, mientras que el porcentaje de caída de presión a través de este dispositivo oscila entre 50 y 65%.

En este dispositivo se vio beneficiada la succión, que ahora pudimos apreciar que incrementó en 200 mBar, pasando de un punto máximo de 500 mBar a 700 mBar de succión en el eyector con sólo disminuir el diámetro de salida ( $D_2$ ) de 20 mm a 18 mm y aplicar la pequeña tobera y el difusor de salida.

### **6.3- Sistema Diseñado**

Una vez descritos y diseñados todos los equipos del sistema de tratamiento elaborado en este proyecto, la construcción del sistema fue realizado fuera de laboratorio, donde se probó su funcionamiento sin el ozonizador; luego, este fue trasladado al sitio y el conjunto fue ensamblado para realizar las pruebas. Los análisis químicos fueron realizados en el laboratorio de plasma.

Se probó el sistema y el caudal de operación fue de 102 L/min, el caudal se midió con un método el cual se aforo un tanque a 100 litros y se utilizo un cronometro para medir el tiempo en que se llenaba, se hicieron varias mediciones y se obtuvo el caudal promedio antes mencionado.

#### 6.4- Banco de prueba en funcionamiento.

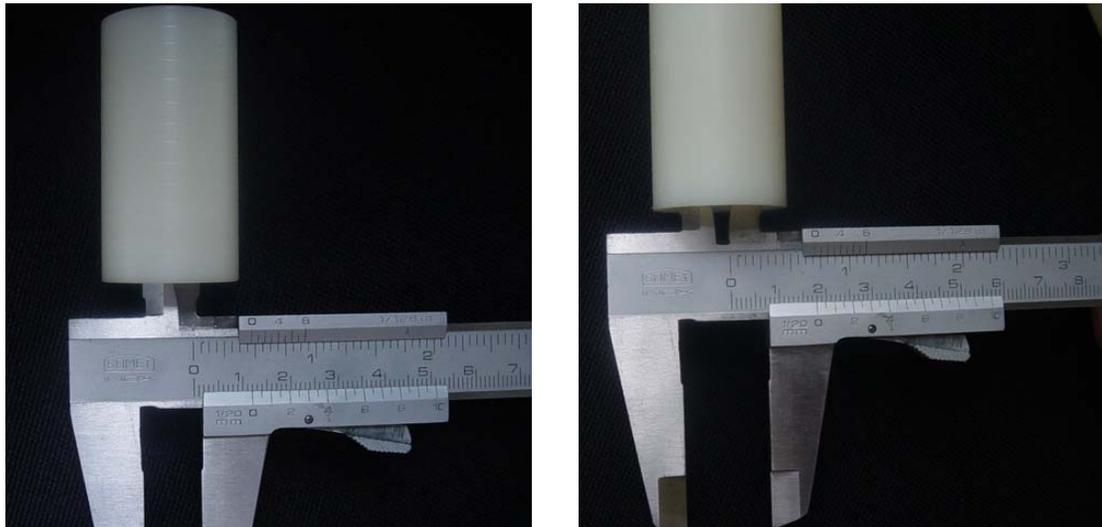
En las siguientes figuras se puede observar el banco de pruebas en pleno funcionamiento:



**Fig. 6.2.** Eyector en funcionamiento.



**Fig. 6.3.** Conos convergente y divergente seleccionados.



**Fig. 6.4.** Diámetros internos, conos convergente y divergente.



**Fig. 6.5.** Dosificador instalado.



**Fig. 6.6.** Funcionamiento del dosificador.

### **6.5- Aplicación del equipo diseñado a la eliminación de fenol en agua.**

Tal como se observa en la Fig. 4.6, a través del eyector, donde se crean las pequeñas burbujas, se introduce el ozono.

Este se produce en un generador de la casa O<sub>3</sub> Associates, modelo 03-21, con rendimiento máximo de 13,8 g por hora. El equipo utiliza oxígeno industrial, que es suministrado desde un cilindro. El ozono es generado en dos reacciones consecutivas, siendo la primera la disociación de una molécula de oxígeno por impacto con un electrón y la segunda es la combinación de un átomo con otra molécula según se verifica en la primera parte de este trabajo.

El agua, con una alta concentración de ozono, se inyecta al estanque de manera continua, de suerte que la bomba toma más agua del mismo y repite el proceso de introducción de ozono y re-inyección.

### **6.6- Muestras Realizadas**

El tratamiento de soluciones de fenol con ozono mediante el sistema diseñado en esta tesis, se realizó en un estanque o piscina de plástico de 1100 litros, mostrada en la Fig. 4.7. El ozonizador fue operado a una capacidad de producción de 11.64 g de O<sub>3</sub> por hora.

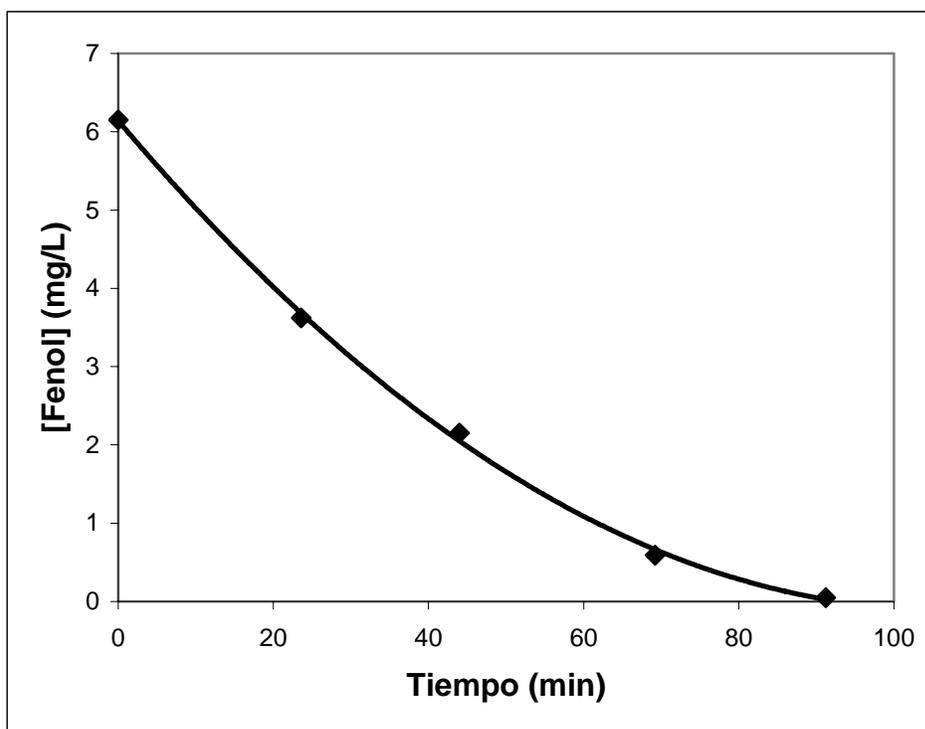
Todos los análisis de fenol en las muestras, tanto originales como tratadas, fueron realizados con un equipo DR/2000 de HACH Co., siguiendo el método estándar N° 5530 D, descrito en la literatura (Greenberg et al., 1992).

Los reactivos fueron obtenidos de HACH Co. y se utilizó agua bidestilada en la preparación de las soluciones. Los solventes que se utilizaron fueron de grado p.a. y fueron adquiridos de la casa Aldrich Chemical Co.

En la tabla VI-7 se muestran los datos tomados durante el desarrollo del tratamiento para eliminar el Fenol del agua.

[Fenol] ppm	Tiempo [min.]
6,15	0
3,62	23,6
2,15	44
0,59	69,2
0,05	91,2

**Tabla VI-7.** Muestras tomadas durante el tratamiento.



**Gráfico 6.13.** Resultados del tratamiento de 1000 L de solución 6.15 mg/L de fenol en el estanque.

En el estanque se colocó 1000 L de solución de fenol con una concentración de 6,15 mg/L (ppm) y el seguimiento de la concentración de esta especie siguió el comportamiento que se muestra en la gráfica 6.13. Allí puede observarse el decaimiento continuo de la cantidad de ozono, lográndose reducirla hasta 0,05 mg/L a 91,2 minutos. Es importante resaltar, que ese valor es 10 veces menor que el máximo permitido por la normativa legal venezolana, vale decir, 0,5 mg/L.

Tenemos que para 1000 L x 6,10 mg/L de fenol (la concentración eliminada en 91,2 minutos) nos indica, que en el estanque reaccionó 6100 mg = 6,1 g de dicho compuesto. Dividiendo esa masa por el peso molecular de fenol (96 g/mol), ello corresponde a 0,0635 moles.

La cantidad de ozono suministrada al estanque fue de:

$$91,2 \text{ minutos fue de } 11,64 \text{ g/hora} \times 91,2 \text{ min} / 60 \text{ min/hora} = 17,693 \text{ g.}$$

Al dividir esta cantidad por el peso molecular del ozono (48 g/mol), determinamos que se utilizó 0,3686 moles de O<sub>3</sub> para eliminar el fenol de la solución. Todo ello nos permite concluir que se consumió  $0,3686/0,0635 = 5,8$  moles de O<sub>3</sub> por mol de fenol.

Estos resultados indican que ha habido una mejora del  $(8,0 - 5,8)/8,0 \times 100 = 27,5\%$  en la eficiencia del uso del ozono si se compara con la inyección con el difusor de placa porosa. Teniendo en cuenta que la generación de ozono es el elemento más costoso del proceso, dado que, como se indicó anteriormente, no se emplea catalizadores, modificadores de pH ni otras sustancias químicas en esta tecnología, estamos en presencia de una disminución de costos importante en el tratamiento de aguas servidas.

### **6.7- Sólidos Suspendidos (Efecto F.A.D.)**

Un aspecto adicional estudiado en el presente trabajo fue la eliminación de sólidos suspendidos en aguas. La flotación por aire disuelto (F.A.D.), que también se fundamenta en la generación de burbujas de aire, permite reducir las cantidades de sólidos suspendidos presentes en efluentes contaminados, incluidos los aceites y grasas, a niveles por debajo de la normativa legal. Las pequeñísimas burbujas se adhieren a la materia suspendida, lo que produce una disminución de la densidad relativa del conjunto aire/partícula, haciéndola flotar y, así, se puede retirar de la superficie del sistema.

En el sistema diseñado se realizó un ensayo agregándole aceite de motor, virutas de madera y otros desperdicios al agua del estanque. Sin adicionar ozono al sistema, ya que sólo se trataba de eliminar el material sólido, se inyectó unos 20 g de sulfato de aluminio,  $Al_2(SO_4)_3$ , al estanque, por medio del dispositivo eyector. Esta sal es un reconocido agente floculante que coadyuva la flotación de sólidos no disueltos.

Debido al efecto de las pequeñas burbujas de aire, se formó una espesa capa de espuma en la superficie del agua y en su tope se observó la acumulación del aceite y los otros materiales. La remoción de la espuma se pudo realizar muy fácilmente, con la consecuente eliminación de los sólidos, esto se determinó visualmente.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó y probó 5 tipos diferentes boquillas divergentes del eyector y de su evaluación se seleccionó el arreglo con el cual se obtuvo menor caída de presión y mayor mezclado, se seleccionó aquella boquilla donde la eliminación de fenoles fue la mayor.
- La reacción de ozono-fenol ocurrió en mayor cantidad en el eyector con la boquilla de la prueba n° 4, encontrándose que el aspensor dentro del estanque es un factor secundario.
- Se encontró un arreglo de boquilla que permitió un mezclado de ozono con el agua en una relación 10 a 1 con respecto a otros sistemas de purificación de agua con este principio, este resultado indicó que el eyector es una excelente herramienta para mezclado que puede generar ahorros a los costos en una proporción 10 a 1.
- El mejoramiento de mezclado de los fluidos se evidenció por la ausencia de ozono libre en la superficie del estanque.
- La inyección de ozono al sistema de tratamiento por medio del equipo diseñado, ha permitido reducir el consumo de ozono en un 27,5% respecto a equipos operados con difusores tradicionales.
- Se diseñó el cono divergente en diferentes diámetros (12, 15, 18, 20 y 22 mm.) seleccionando el más favorable para el mezclado en el eyector. Adicionalmente, se mejoró el ángulo incluido de entrada del dispositivo desde 94° a 21° y el cono divergente a la salida, con un ángulo incluido de salida de 8°.

- El sistema de tratamiento diseñado en este trabajo permitiría obtener efluentes con una calidad apropiada para descarga en el ambiente o para su inyección en la formación de origen del petróleo asociado. Su aplicación en diferentes áreas operativas de la industria petrolera promete ser una herramienta eficiente en la solución de problemas de índole ambiental inherentes a los procesos de dicha industria.

## RECOMENDACIONES

- Se sugiere profundizar los estudios del dispositivo eyector con simulaciones o montajes en bancos de prueba a fin de aumentar al máximo el rendimiento de este dispositivo y, en consecuencia, el del proceso de tratamiento.
- Variar la geometría en el cono de salida como en el cono de entrada para escoger la configuración óptima.
- Promover el uso de tuberías y accesorios de PVC para sistemas a ser operados en el campo, ya que la mezcla ozono/oxígeno es un potente agente corrosivo y podría afectar fuertemente a metales ferrosos.
- Implementar el uso de luz ultravioleta (UV) para acelerar la reacción ozono/fenol y por consiguiente bajar el tiempo de tratamiento para la reducción de la concentración de fenoles en el agua tratada.
- Para el diseño del dosificador se recomienda tomar en cuenta la condición de fluido bifásico, ya que éste se considera de gran influencia el gas asociado en la variación de orificios a lo largo de tubería de dosificación.
- Diseñar un experimento basado en similitud dinámica para una futura implementación de este sistema de purificación de agua en campo.

**BIBLIOGRAFÍA****Libros:**

1. Avallone, E. y Baumeister III, T. (1999) Manual del Ingeniero Mecánico, Tomo I y II, 9° Edición, McGraw-Hill, México.
2. Bauch, H.; Burchard, H.; and Arsovic, H. (1970) Ozone as an Oxidative Desintegrant for Phenols in Aqueous Solutions. *Hesundheits-Ingenieur*.
3. Bhattacharyya, D.; Van Dierdonck, T.; West, S. and Freshour, A. (1995) Two-phase Ozonation of Chlorinated Organics. *J. Hazard. Mater.*
4. Cameron (1981) Hydraulic Data. Ingersoll-Rand, Phillipburg, USA
5. Chan, W. y Larson, R. (1991) Mechanisms and Products of Ozonolysis of Aniline in Aqueous Solution Containing Nitrite Ion. *Water Res.* **25**, 1539.
6. Corless, C.; Reynolds, G.; Graham, N. y Perry, R. (1990) Ozonation of Pyrene in Aqueous Solutions, *Water Res.* **24**, 1119.
7. Cornell, L. and Kuo, C. (1991) Solid-liquid Mass Transfer Study of the Ozonation of Phenantrene. *Chem. Eng. Commun.*
8. Crane. (1989) Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Editorial McGraw – Hill, México.
9. Fairbanks, Morse (1995). Bomba centrífuga. Folleto. Caracas, Venezuela.
10. Fox, Robert y McDonald Alan. (1995), Introducción a la mecánica de fluidos, Editorial McGraw – Hill, New York.
11. Ghaly, M. y Hartel, G. (2001) Aromatic Compounds Degradation in Water by Using Ozone and AOPs. A Comparative Study. *Ozone Sci. Eng.* **23**, 127.
12. Glaze, W. (1987) Drinking Water Treatment with Ozone. *Environ. Sci. Technol.* **21**, 224.
13. Greenberg, A.; Clesceri, L. y Eaton, A. (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18ª Edición, Washington, DC - USA.
14. Greene, Richard W, 1992, “Válvulas Selección, Uso y Mantenimiento”, Editorial McGraw – Hill, México.

15. Hernández, Sampieri y Otros (2000) Metodología de la Investigación, Segunda edición, Editorial Mc Graw -Hill. México.
16. Huang, C. y Shu, H. (1995) The Reaction Kinetics, Decomposition Pathways and Intermediate Formations of Phenol in Ozonation, UV/O<sub>3</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Processes. J. Hazard. Mater. **41**, 47.
17. Lewis, N.; Topudurti, K.; Welshans, G. y Foster, R. (1990) Removal of Organics in Water using Hydrogen Peroxide in Presence of Ultraviolet Light. Water Res. **24**, 540
18. McNaughton, Kenneth, (1992) Bombas Selección, Uso y Mantenimiento, Editorial McGraw – Hill, México.
19. Nebel, C.; Gottschling, R.; Holmes, J. y Unangst, P., (1978) Ozone Oxidation of Phenolic Effluents. In: R.G. Rice, P. Pichet and M.A. Vincent (ed). Proc. Sec. International Symposium on Ozone Technology. International Assoc. Inst. Cleveland, Ohio- USA
20. Niegowski, S. (1953) Destruction of Phenol by Oxidation with Ozone, Ind. Engng. Chem. **45**(3), 632.
21. Patiño, P. (1999) Tratamiento de Aguas Producto de la Perforación de Pozos Petroleros, Información Tecnológica: **10**(2), 41-46.
22. PAVCO (1999) Hoja Técnica de Sistemas de Tuberías y Accesorios a Presión. Folleto. Caracas, Venezuela.
23. Pietersz, Frank (2000) Pérdidas por Fricción en Tuberías Debido a la Resistencia del Flujo de Líquidos. Folleto, Unimet, Caracas
24. Potter, Merle y Wiggert, David. (1998) Mecánica de Fluidos, Editorial Prentice Hall, México.
25. Roca Vila, R. (1980) Introducción a la Mecánica de los Fluidos. Editorial Limusa, México.
26. Singer, P. y Gurol, M. (1983) Dynamics of Ozonation of Phenol. Water Res. **17**(9), 1163.
27. Sotelo, J.; Beltran S.; Benitez, F. y Beltran-Heredia, J. (1987) Ozone Decomposition in Water: Kinetic Study. Ind. Eng. Chem. Res. **26**, 39.
28. Spanggard, R. y McClurg, V. (1978) Ozone Methods and Ozone Chemistry of

- Selected Organics in Water. pp. 115-125. In: R.G. Rice and J.A. Cotruvo, (ed). Ozone/Chlorine Dioxide Oxidation Products of Organic Materials. International Ozone Assoc. Cleveland, Ohio - USA.
29. Sundstrom, D.; Weir, B. y Klei, T. (1989) Destruction of Aromatic Pollutants by UV Light Catalyzed Oxidation with Hydrogen Peroxide. Environ. Progr. **8**, 6.
30. Trapido, M.; Veressinina, Y. y Kallas, J. (2001) Degradation of Aqueous Nitrophenols by Ozone Combined with UV-Radiation and Hydrogen Peroxide. Ozone-Sci. Eng. **23**, 333.
31. Weast, R. (1992) CRC Handbook of Chemistry and Physics. 73<sup>a</sup> edición, CRC Press, Inc., Florida, USA.
32. Yu, C. y Yu, Y. (2001) Mechanisms of Reaction of Ozone with p-Nitrophenol. Ozone-Sci. Eng. **23**, 303.

**Trabajos de Grado:**

33. Da Costa, Karina y Vellorí, Nestor. (2001), Diseño de un Sistema Procesador de Tamarindo Descascarado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas, Venezuela
34. Lugo, P. (1997) Reacciones de asfaltenos con ozono, Tesis de Licenciatura en Química, U.C.V.
35. Roth, W. (1947) Ozonation of Phenol in Water Solutions. M.S. Thesis, New York University, New York, NY - USA.
36. Urbina, Maricé. (2003) Factibilidad técnica de la recuperación de vapores en tanques de almacenamiento de crudo utilizando la tecnología jet como metodo de extracción. Msc. Tesis, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
37. Valles, A. (1994) Ozonólisis de compuestos orgánicos sulfurados en suspensión o en solución. Tesis de Licenciatura en Química, U.C.V.
38. Zambrano, C. (1993) Estudio de la Oxidación de fenoles mediante ozono generado en plasmas de alto voltaje. Tesis de Licenciatura en Química, U.C.V.

**Páginas en la Word Wide Web (WWW):**

39. [http://www.erres.com/airliquide/prueba/pr\\_carac\\_gases\\_o3.htm](http://www.erres.com/airliquide/prueba/pr_carac_gases_o3.htm) [20/08/2003]
40. <http://www.pavco.com.ve/> [30/08/2003]
41. <http://www.mazzei.net/industrial/index.html> [05/09/2003]
42. <http://www.monografias.com/trabajos6/tube/tube.shtml> [12/09/2003]
43. <http://www.lmnoeng.com/venturi.htm> [02/10/2003]

## **Apéndices**

➤ Propuesta N° 1

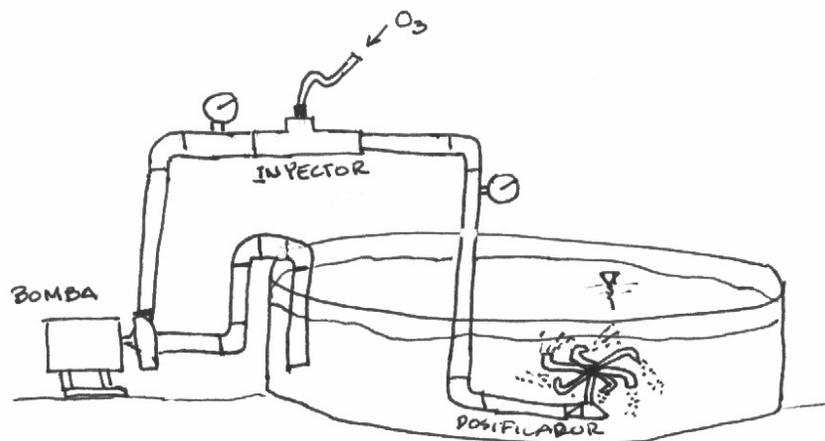


Figura A.1. Esquema de propuesta n° 1

➤ Propuesta n° 2

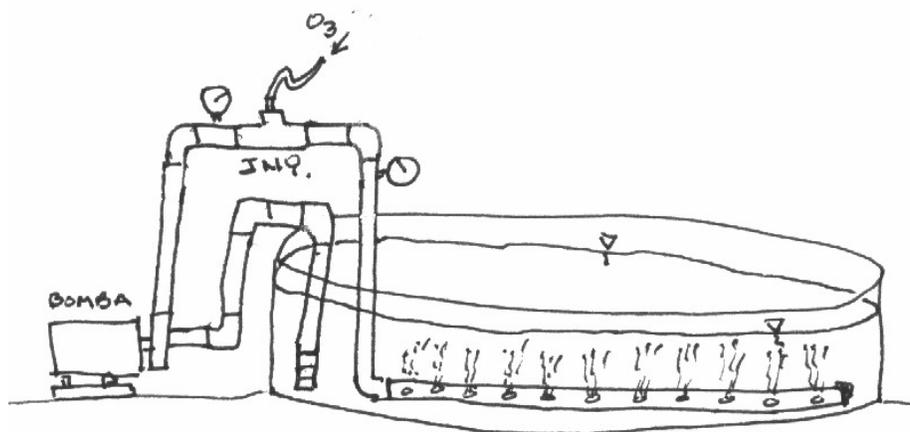


Figura A.2. Esquema de propuesta n° 2.

➤ Propuesta n° 3

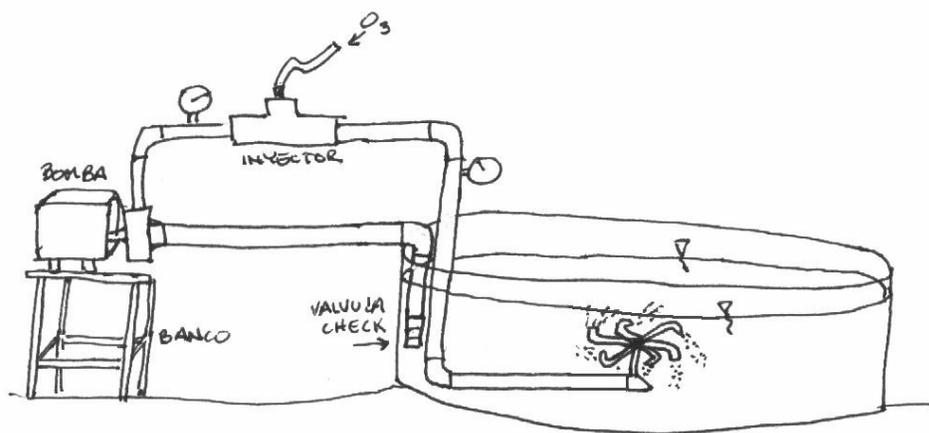


Figura A.3. Esquema de propuesta n° 3.

➤ Propuesta n° 4

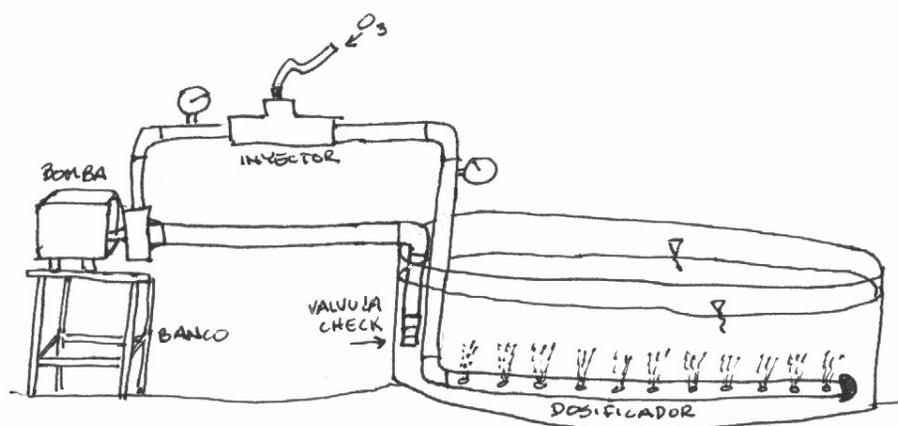


Figura A.4. Esquema de la propuesta n° 4.

# GACETA OFICIAL

## DE LA REPUBLICA DE VENEZUELA

AÑO CXXIII — MES III

Caracas, lunes 18 de diciembre de 1995

N° 5.021 Extraordinario

## SUMARIO

## Presidencia de la República

Decreto N° 883, mediante el cual se dictan las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.

## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

Decreto N° 883

11 de octubre de 1995

**RAFAEL CALDERA**  
Presidente de la República

En ejercicio de las atribuciones que le confiere el ordinal 10° del artículo 190 de la Constitución y de conformidad con lo establecido en los artículos 19, 20 y 21 de la Ley Orgánica del Ambiente, en Consejo de Ministros,

## CONSIDERANDO

Que es deber del Estado la protección de las cuencas hidrográficas, la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y el control de los vertidos o efluentes líquidos susceptibles de degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente,

## CONSIDERANDO

Que el Ejecutivo Nacional mediante Decreto N° 125 de fecha 13 de abril de 1.994, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 35.445 de fecha 22 de abril de 1994, instruyó a la Comisión Nacional de Normas Técnicas para la Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente, a proceder dentro del plazo de un año, contado a partir de la fecha de publicación del respectivo Decreto, a la evaluación de las disposiciones técnicas contenidas en los Decretos N°s 2.221, 2.222 y 2.224, publicados en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°s 4.418 Extraordinario de fecha 27 de abril de 1.992, a los efectos de su mejor adecuación a la realidad ambiental y socio-económica del país y en atención a la dinámica científica y técnica,

## CONSIDERANDO

Que durante el plazo antes indicado la Comisión Nacional de Normas Técnicas para la Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente ha realizado una cuidadosa revisión de las disposiciones técnicas contenidas en los Decretos N°s 2.221, 2.222, 2.224 y 125 a la luz de la situación actual de calidad de las aguas en las diversas cuencas hidrográficas del país y de los resultados obtenidos hasta el presente en el control de los vertidos o efluentes líquidos, resultando de tal revisión la conveniencia de dictar un nuevo cuerpo normativo más adecuado a la realidad ambiental y socio-económica del país y las exigencias de la dinámica científica y técnica,

## DECRETA

las siguientes

### NORMAS PARA LA CLASIFICACION Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA Y VERTIDOS O EFLUENTES LIQUIDOS

#### CAPITULO I Disposiciones Generales

**Artículo 1°:** El presente Decreto establece las normas para el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos líquidos.

**Artículo 2°:** A los fines de este Decreto se entiende por:

**Acuífero lenticular:** Acuífero de desarrollo local y completamente aislado o cerrado por todos lados con una roca impermeable.

**Acuífero no aprovechable:** Aquel cuya calidad no permite su aprovechamiento para consumo humano o actividad agropecuarias de una manera económicamente viable.

**Yacimiento de petróleo:** Formación geológica porosa y permeable, denominada roca recipiente que, cubierta por una roca impermeable denominada "techo", contenga petróleo o gas, o ambas cosas y esté deformado u obstruido en forma tal que el petróleo y el gas queden atrapados.

**Acuífero de un yacimiento de petróleo:** Parte de la misma formación geológica que contiene hidrocarburos, saturada con agua. En el caso de acumulación de petróleo, el acuífero puede encontrarse por encima o por debajo de las acumulaciones de petróleo, dependiendo de la densidad del mismo.

**Aguas servidas:** Aguas utilizadas o residuales provenientes de una comunidad, industria, granja u otro establecimiento, con contenido de materiales disueltos y suspendidos.

**Bioacumulación:** Proceso de acumulación progresiva de sustancias químicas en los tejidos de los seres vivos, a medida que se asciende en la cadena alimenticia.

**Calidad de un cuerpo de agua:** Caracterización física, química y biológica de aguas naturales para determinar su composición y utilidad al hombre y demás seres vivos.

**Carga máxica de un efluente:** Cantidad total de contaminante descargado por unidad de tiempo.

**Caudal de diseño de control:** Caudal específico seleccionado en un curso de agua (río o estuario) para servir de base al diseño de control de la contaminación del mismo y, por lo tanto, de control de los vertidos o efluentes líquidos contaminantes que a él sean descargados. La estipulación del caudal de diseño de control fija las condiciones hidrológicas para las cuales se aplican las normas de calidad de aguas y la capacidad de asimilación de contaminantes del curso de agua receptor, a los fines del control de vertidos o efluentes.

**Contaminación de las aguas:** Acción o efecto de introducir elementos, compuestos o formas de energía capaces de modificar las condiciones del cuerpo de agua superficial o subterráneo de manera que se altere su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica para el desarrollo de la vida acuática y ribereña.

**Descarga submarina:** Descarga de aguas servidas, crudas o tratadas, desde la costa hasta un punto final de descarga en el fondo de un sector marino-costero, mediante una tubería o conducto.

**Línea de costa:** La franja comprendida entre la línea de separación agua-tierra durante la ocurrencia de marea alta y la línea de profundidad de tres metros, medida durante el período de marea baja.

**Población equivalente (PE):** Población estimada que contribuiría con una cantidad determinada de un parámetro específico, indicador de contaminación (DBO<sub>5,20</sub> en el caso de contaminación orgánica, microorganismos coliformes en contaminación microbiana). Las conversiones de carga orgánica a PE se basarán en una contribución de 54 g de DBO<sub>5,20</sub>/persona/día, las de carga microbiana en número más probable/per cápita/día de 200x10<sup>9</sup> coliformes.

**Vertido líquido:** Descarga de aguas residuales que se realice directa o indirectamente a los cauces mediante canales, desagües

o drenajes de agua, descarga directa sobre el suelo o inyección en el subsuelo, descarga a redes cloacales, descarga al medio marino-costero y descargas submarinas.

**Zona de mezcla térmica:** Volumen de agua donde tiene lugar la dispersión inicial de la descarga en el cuerpo receptor. Su dimensión vendrá determinada por las características de cada descarga y cuerpo receptor en particular.

## CAPITULO II De la clasificación de las aguas

**Artículo 3º:** Las aguas se clasifican en:

**Tipo 1** Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.

Las aguas del tipo 1 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

<b>Sub-Tipo 1A:</b>	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
<b>Sub-Tipo 1B:</b>	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
<b>Sub-Tipo 1C:</b>	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.

**Tipo 2.** Aguas destinadas a usos agropecuarios.

Las aguas del Tipo 2 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

<b>Sub Tipo 2A:</b>	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
<b>Sub Tipo 2B:</b>	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.

**Tipo 3** Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.

**Tipo 4** Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.

Las aguas del Tipo 4 se desagregan en los siguientes subtipos:

<b>Sub Tipo 4A:</b>	Aguas para el contacto humano total.
<b>Sub Tipo 4B:</b>	Aguas para el contacto humano parcial.

**Tipo 5** Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.

**Tipo 6** Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.

**Tipo 7** Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.

Artículo 4°. A los efectos de esta Norma, se establecen los siguientes criterios para la clasificación de las aguas, así como los niveles de calidad exigibles de acuerdo con los usos a que se destinen:

1. Las aguas del sub-tipo 1A son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D)	mayor de 4,0 mg/l. (*)
pH	mínimo 6,0 y máximo 8,5.
Color real	menor de 50, U Pt-Co.
Turbiedad	menor de 25, UNT.
Fluoruros	menor de 1,7 mg/l.
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 2000 NMP por cada 100 ml.

\* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 50%

2. Las aguas del sub-tipo 1B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D.)	mayor de 4,0 mg/l. (*)
pH	mínimo 6,0 y máximo 8,5.
Color real	menor de 150, U Pt-Co.
Turbiedad	menor de 250, UNT.
Fluoruros	menor de 1,7 mg/l.
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 10000 NMP por cada 100 ml.

\* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 50%

3. Las aguas de los sub-tipo 1A y 1B no deberán exceder, además, los siguientes límites:

Elementos o compuestos	Límites
Aceites minerales	0,3 mg/l
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1,0 mg/l
Cadmio total	0,01 mg/l
Cianuro total	0,1 mg/l
Cloruros	600 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cromo Total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Dispersantes	1,0 mg/l
Dureza, expresada como CaCO <sub>3</sub>	500 mg/l
Extracto de carbono al cloroformo	0,15 mg/l
Fenoles	0,002 mg/l
Hierro total	1,0 mg/l
Manganeso total	0,1 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitritos + Nitratos (N)	10,0 mg/l
Plata total	0,05 mg/l
Plomo total	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sodio	200 mg/l
Sólidos disueltos totales	1500 mg/l
Sulfatos	400 mg/l

Zinc	5,0 mg/l
------	----------

Biocidas	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

Radiactividad	
Actividad α	máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l)
Actividad β	máximo 1,0 Becquerelio por litro (Bq/l)

4. Las aguas del Sub-Tipo 1C son aquellas en las cuales el pH debe estar comprendido entre 3,8 y 10,5.

5. Las aguas del Sub-Tipo 2A son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 1000 NMP por cada 100 ml
Organismos coliformes fecales	menor a 100 NMP por cada 100 ml.

6. Las aguas del Sub-Tipo 2B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 5000 NMP por cada 100 ml.
Organismos coliformes fecales	menor a 1000 NMP por cada 100 ml.

7. Las aguas de los Sub-Tipo 2A y 2B no deberán exceder, además, los siguientes límites:

Elementos o compuestos	Límites
Aluminio	1,0 mg/l
Arsénico	0,05 mg/l
Bario	1,0 mg/l
Boro	0,75 mg/l
Cadmio	0,005 mg/l
Cianuro	0,2 mg/l
Cobre	0,20 mg/l
Cromo Total	0,05 mg/l
Hierro Total	1,0 mg/l
Litio	5,0 mg/l
Manganeso Total	0,5 mg/l
Mercurio	0,01 mg/l
Molibdeno	0,005 mg/l
Níquel	0,5 mg/l
Plata	0,05 mg/l
Plomo	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sólidos disueltos totales	3000 mg/l
Sólidos flotante	Ausentes
Vanadio	10,0 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Biocidas	
Organofosforados y carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

Radiactividad	
Actividad $\alpha$	máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l)
Actividad $\beta$	máximo 1,0 Becquerelio por litro (Bq/l)

8. Las aguas del Tipo 3 son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D)	mayor de 5,0 mg/l. (*)
pH	mínimo 6,5 y máximo 8,5.
Aceites minerales	0,3 mg/l
Detergentes no biodegradables	menor de 1 mg/l.
Detergentes biodegradables	menor de 0,2 mg/l.
Residuos de petróleo, sólidos sedimentables y flotantes	ausentes
Metales y otras sustancias tóxicas	no detectable (***)
Fenoles y sus derivados	0,002 mg/l

Biocidas	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

Organismos coliformes totales (**)	a) promedio mensual menor a 70 NMP por cada 100 ml. b) el 10% de las muestras puede exceder de 200 NMP por cada 100 ml
------------------------------------	---

Radiactividad	
Actividad $\alpha$	máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l).
Actividad $\beta$	máximo 1,0 Becquerelio por litro (Bq/l).

\* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 60%

\*\* Las muestras deben ser representativas de la calidad del cuerpo de agua a ser aprovechado. De existir fuentes de contaminación las muestras deberán ser tomadas en las zonas afectadas. En ambos casos se muestreará bajo las condiciones hidrográficas más desfavorables, a juicio del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

\*\*\* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

9. Las aguas del Sub-Tipo 4A son aquellas cuyas características corresponden con límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	a) menor a 1000 NMP por cada 100 ml en el 90% de una serie de muestras consecutivas. b) menor a 5000 NMP en el 10% restante.
Organismos coliformes fecales	a) menor a 200 NMP por cada 100 ml en el 90% de una serie de muestras consecutivas. b) menor a 400 NMP en el 10% restante.
Moluscos infectados con S. mansoni	Ausentes.

10. Las aguas del Sub-Tipo 4B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	a) menor a 5000 NMP por cada 100 ml en el 80% de una serie de muestras consecutivas. b) menor a 10000 NMP en el 20% restante.
Organismos coliformes fecales	menor a 1000 NMP por cada 100 ml en la totalidad de las muestras.
Moluscos infectados con S. mansoni	Ausentes.

11. Las aguas del Tipo 4 deberán cumplir, además, con las siguientes condiciones:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (OD)	mayor de 5,0 mg/l (*)
pH	mínimo 6,5 y máximo 8,5.
Aceites minerales	0,3 mg/l.
Detergentes	menor de 1 mg/l.
Sólidos disueltos	desviación menor de 33% de la condición natural
Residuos de petróleo, sólidos sedimentables y flotantes	Ausentes
Metales y otras sustancias tóxicas	no detectable (**)
Fenoles y sus derivados	0,002 mg/l

Biocidas	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

Radiactividad	
Actividad $\alpha$	máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l).
Actividad $\beta$	máximo 1,0 Becquerelio por litro (Bq/l).

\* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 60%

\*\* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

12. Las aguas del tipo 5 son aquellas cuyas características corresponden a los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Fenoles	menor de 0,002 mg/l.
Aceites y espumas	Ausente.
Sustancias que originen sedimentación de sólidos y formación de lodos	Ausente.

13. Las aguas del Tipo 6 son aquellas cuyas características corresponden a los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (OD)	mayor de 4 mg/l.
Sólidos flotantes y sedimentables o depósitos de lodo.	concentraciones que no interfieran la navegación o la generación de energía

14. Las aguas del Tipo 7 son aquellas cuyas características correspondan a los límites siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (OD)	mayor de 3 mg/l.

**Artículo 5°:** El Ejecutivo Nacional mediante Decreto establecerá la clasificación correspondiente a cada cuerpo de agua o sectores de éstos. En los respectivos Decretos podrán establecerse normas específicas sobre vertidos, de acuerdo con las especiales condiciones del cuerpo de agua objeto de la clasificación.

**Parágrafo Único:** El Ejecutivo Nacional podrá establecer un orden de prioridades para la clasificación de los cuerpos de agua, de acuerdo con la intensidad del grado de intervención o degradación de sus aguas. Los cuerpos de agua que no hayan sido objeto de clasificación se regirán por las disposiciones generales establecidas en este Decreto.

**Artículo 6°:** El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá diseñar planes maestros de control y manejo de la calidad de aguas específicos para cada cuenca hidrográfica en el territorio nacional, a los fines de mejorar la calidad de un determinado cuerpo de agua o de tramos de éstos.

**Parágrafo Único:** Los Planes de control serán formulados con base a las variables siguientes:

- Relaciones causa - efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas.
- Alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros.
- Condiciones en que se permitirán los vertidos de efluentes, presentes y futuros, incluyendo los límites de descargas máximas permisibles para cada fuente contaminante.
- Normas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de la calidad de las aguas.

**CAPITULO III**  
Del control de los vertidos líquidos

**SECCION I**  
De las actividades sujetas a control

**Artículo 7°:** Las actividades que se someterán a la aplicación de este Decreto, de acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de las Naciones Unidas, son las siguientes:

División	Agrupación	Grupo	Título
11	111	1110	Producción agropecuaria (bovinos, equino, granjas avícolas, granjas piscícolas y cultivos agrícolas intensivos).
		1111	Explotación Porcina.
21	210	2100	Explotación de Minas de Carbón.
22	220	2200	Producción de Petróleo Crudo y Gas Natural.
23	230	2301	Extracción de mineral de hierro.
		2302	Extracción de minerales no ferrosos.
29	290	2901	Extracción de piedra, arcilla y arena.
		2902	Extracción de minerales para fabricación de abonos y elaboración de productos químicos.
		2903	Explotación de minas de sal.
		2909	Extracción de minerales.
31	311	3110	Fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas.
		3111	Matanza de ganado y preparación y conservación de carne.
		3112	Fabricación de productos lácteos.
		3113	Envasado y conservación de frutas y legumbres.
		3114	Elaboración de conservas de pescado, crustáceos y otros productos marinos.
		3115	Fabricación de aceites y grasas, vegetales y animales.
		3118	Fábrica y refinería de azúcar.
		3121	Elaboración de productos alimenticios diversos, entre ellos: productos de molinería, pastas alimenticias y productos amiláceos.
		3122	Elaboración de alimentos preparados para animales.
	313	3131	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas.
		3132	Industrias vinícolas.
		3133	Fabricación de cerveza.
		3134	Industrias de bebidas no alcohólicas y agua gaseosa.
	314	3140	Industria del tabaco.
32	321	3211	Hilado, tejido y acabado de textiles. Fabricación de fibras textiles naturales y sintéticas.
	323	3231	Curtidurías y talleres de acabado.
		3232	Industria de la preparación y teñido de pieles.
34	341	3411	Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón.
		3419	Fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón.
			Industria de la madera.
35	351	3511	Fabricación de sustancias químicas industriales básicas, excepto abonos.
		3512	Fabricación de abonos y plaguicidas.
		3513	Fabricación de resinas sintéticas, materias plásticas y fibras artificiales, excepto el vidrio.

	352	3521	Fabricación de pinturas, barnices y lacas.
		3522	Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos.
		3523	Fabricación de jabones y preparación de productos de limpieza, perfumes, cosméticos y otros productos de tocador.
		3529	Fabricación de productos químicos no especificados y transformación de materiales y plásticos.
	353	3500	Refinación de petróleo.
	354	3540	Fabricación de productos diversos derivados del petróleo y del carbón.
		3559	Fabricación de productos de caucho no especificados.
36		3620	Fabricación de vidrio y productos del vidrio.
	369	3692	Fabricación de cemento, cal y yeso.
37	371	3710	Industrias básicas de hierro y acero.
	372	3720	Industrias básicas de metales no ferrosos.
38	381	3819	Fabricación de productos metálicos no especificados, exceptuando maquinaria y equipos.
	384	3841	Construcciones navales y reparaciones de naves.
		3843	Fabricación de vehículos (automóviles).
41	410	4101	Generación y transmisión de energía eléctrica, industria termoeléctrica.
63	632	6320	Hoteles.
71	711	7115	Transporte por oleoductos o gasoductos.
	712	7123	Servicios relacionados con el transporte por agua (Puertos)
	719	7192	Depósito y almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados.
92	920	9200	Servicios de saneamiento y similares.
94	949	9490	Servicios de diversión y esparcimiento (urbanizaciones y clubes).
	952	9520	Establecimientos de teñido y prelavado.
	959	9592	Laboratorios fotográficos, incluida la fotografía comercial.

Artículo 8º: Quedan también sujetas a las disposiciones contenidas en este Decreto las actividades que generen vertidos líquidos no incluidas en la lista del artículo anterior, que se señalan a continuación:

- a) Actividades cuyos vertidos contengan elementos tóxicos o nocivos indicados en el artículo 9, grupo I.
- b) Actividades cuyos vertidos superen una Población Equivalente (PE) de 1000 PE en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5,20</sub>), con sólidos suspendidos por encima de 90 g/hab/día o DBO<sub>5,20</sub> mayor

de 54 g/hab/día, o que afecten desde el punto de vista sanitario áreas recreacionales o cuerpos de agua.

- c) Las aguas servidas que en su conjunto, en cada ciudad población, tengan descargas que excedan el límite de 10 PE, en términos de DBO<sub>5,20</sub> o con una DBO<sub>5,20</sub> mayor 54 g/hab/día.

**SECCION II**

De la clasificación de los constituyentes en los vertidos líquidos

Artículo 9º: Los constituyentes de los vertidos líquidos agrupan en dos categorías:

- I. GRUPO I: Sustancias para las cuales existe evidencia teórica o práctica de su efecto tóxico, agudo o crónico:
  - 1.- Compuestos organohalogenados y sustancias que puedan dar origen a compuestos de este tipo en el medio acuático.
  - 2.- Compuestos organofosfóricos.
  - 3.- Sustancias cancerígenas.
  - 4.- Mercurio y compuestos de mercurio.
  - 5.- Cadmio y compuestos de cadmio.
  - 6.- Aceites minerales persistentes e hidrocarburos derivados de petróleo, de lenta descomposición.
  - 7.- Metaloides, metales y sus compuestos de la siguiente lista: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boró, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio, Telurio, Titanio, Uranio, Vanadio y Zinc.
  - 8.- Biocidas y sus derivados.
  - 9.- Compuestos organosilícicos tóxicos o persistentes.
  - 10.- Cianuros y fluoruros.
  - 11.- Sustancias radiactivas
  - 12.- Sustancias sintéticas persistentes que puedan flotar o permanecer suspendidas o sedimentar perjudicando cualquier uso de las aguas.
- II. GRUPO II: Sustancias o parámetros que aún cuando no se conozca de su efecto tóxico, agudo o crónico, genera condiciones en el cuerpo receptor que afectan la biota o perjudican cualquier uso potencial de sus aguas:
  - 1.- Aceites naturales e hidrocarburos degradables o poco persistentes.
  - 2.- Materia orgánica carbonácea expresada en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5,20</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO).
  - 3.- Compuestos inorgánicos del fósforo y fósforo elemental.
  - 4.- Compuestos orgánicos no tóxicos del fósforo.
  - 5.- Compuestos orgánicos e inorgánicos del nitrógeno.
  - 6.- Cloruros
  - 7.- Detergentes
  - 8.- Dispersantes.
  - 9.- Sólidos suspendidos totales que no contengan elementos tóxicos.
  - 10.- Color.
  - 11.- Temperatura.
  - 12.- pH.
  - 13.- Parámetros biológicos.

Parágrafo Primero: Los límites de descarga del primer grupo deberán cumplirse, sin excepción, para todas las descargas

...pos de agua, medio marino-costero y submarino, redes locales y para disposición directa sobre el suelo. Asimismo, deberán cumplirse para la infiltración en el subsuelo, salvo en los casos expresamente previstos en esta Norma. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables determinará los límites para sustancias que no los tengan fijados, en función de los estudios que presente el administrado.

Parágrafo Segundo: Los límites de descarga del segundo grupo podrán ajustarse a las características actuales del receptor, sujetas a las restricciones que imponga la capacidad de asimilación de éste, aplicando como criterio general que las descargas no alteren la calidad del mismo. En los casos de cuerpos de agua sujetos a una clasificación la calidad de las aguas estará definida por los parámetros que correspondan según el uso a que hayan sido destinadas. El control de estos parámetros se efectuará en base a límites de cargas máximas en kg/d o en kg de constituyente/unidades de producción (expresadas en la unidad que aplique a cada caso particular).

SECCION III  
De las descargas a cuerpos de agua

Artículo 10: A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses:

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales.	20 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aldehidos	2,0 mg/l
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Color real	500 Unidades de Pt-Co.
Cromo Total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> )	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l

Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
Nitritos + Nitratos (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
pH	6 - 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos Totales	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l
Sulfatos	1000 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Biocidas	
Orgánico fosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Orgánico clorados	0,05 mg/l

\* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Radioactividad	
Actividad α	máximo 0,1 Bq/l.
Actividad β	máximo 1,0 Bq/l.

Parámetros Biológicos

Número más probable de organismos coliformes totales no mayor de 1.000 por cada 100 ml, en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 ml.

Parágrafo Primero: En ríos la variación de la temperatura media de una sección fluvial en la zona de mezcla, comparada con otra aguas arriba de la descarga del vertido líquido, no superará los 3°C. En lagos y embalses la diferencia de temperatura del vertido con respecto al cuerpo de agua receptor no superará los 3°C.

Artículo 11: El Ejecutivo Nacional mediante Decreto podrá establecer límites diferentes para los vertidos a determinados cuerpos de agua, en función de sus características específicas. Igualmente podrá fijar el caudal de diseño de control para cada curso de agua receptor y condiciones especiales para determinadas épocas del año, conforme a la variación de las condiciones de caudal por cada período estacional, y límites de efluentes para determinados sectores industriales en los parámetros que les son relevantes, sujetos a las restricciones adicionales que imponga la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor.

SECCION IV  
De las descargas al medio marino-costero

Artículo 12: Las descargas al medio marino-costero sólo podrán efectuarse en zonas donde se produzca mezcla rápida del vertido con el cuerpo receptor y cumplan con los rangos y límites máximos establecidos en la siguiente lista:

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Color	500 Unidades de Pt/Co

Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> )	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel total	2,0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
pH	6 - 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,2 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sulfuros	2,0 mg/l
Zinc	10 mg/l

\*Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Biocidas	
Organo fosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Organo clorados	0,05 mg/l

Radiactividad	
Actividad α	máximo 0,1 Bq/l
Actividad β	máximo 1,0 Bq/l

**Parámetros Biológicos**

Número más probable de organismos coliformes totales no mayor de 1.000 por cada 100ml, en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 ml.

Parágrafo Unico: Se prohíbe la descarga al medio marino-costero de efluentes líquidos con temperatura diferente a la del cuerpo receptor. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables definirá, previa justificación y conforme a las evaluaciones de las propuestas y de los estudios técnicos que presenten los administrados, las zonas de mezcla térmica en las cuales se podrá permitir la descarga de efluentes con temperatura

diferente a la del cuerpo receptor. La variación de temperatura media del cuerpo marino-costero en la zona de mezcla comparada con la temperatura media del cuerpo receptor no del ser mayor de 3°C.

**Artículo 13:** Quienes realicen operaciones de explotación exploración petrolera en la Plataforma Continental y la Zona Económica Exclusiva, dispondrán de los sistemas necesarios para evitar la descarga de hidrocarburos o la mezcla de ellos, medio marino.

**Artículo 14:** Las descargas submarinas se harán a una profundidad y distancia tal que se logre una rápida dilución inicial y una satisfactoria dispersión y asimilación por el medio receptor y se minimice el retorno de los contaminantes a la línea de la costa. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Renovables establecerá en la autorización correspondiente conforme al artículo 21 de la Ley Orgánica del Ambiente, las condiciones particulares para las descargas submarinas. A tales efectos los interesados presentarán los siguientes recaudos:

1. Descripción de las características de la tubería y efluentes a descargar.
2. Estudios sobre la calidad físico-química y bacteriológica del agua en el área de influencia de la descarga.
3. Estudio batimétrico y de corrientes submarinas y superficial en el sitio de la descarga.
4. Rasgos de la línea de costa (configuración y morfología).
5. Características hidrográficas.
6. Geología de la zona.
7. Difusión horizontal y vertical estimada y posible estratificación del campo de aguas servidas.

**SECCION V**

**De la descarga a redes cloacales**

**Artículo 15:** Los parámetros de calidad de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales no deberán ser mayores de los rangos y límites permisibles establecidos en la siguiente lista:

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	150 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> )	350 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	900 mg/l
Detergentes	8,0 mg/l
Dispersantes	8,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l

Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Hierro total	25 mg/l
Manganeso total	10 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel total	2,0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
pH	6 - 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,2 mg/l

Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	400 mg/l
Sólidos totales	1600 mg/l
Sulfatos	400 mg/l
Sulfuros	2,0 mg/l
Temperatura	40°C
Vanadio	5,0 mg/l
Zinc	10 mg/l

\* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

<b>Biocidas</b>	
Organo fosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Organo clorados	0,05 mg/l

<b>Radiactividad</b>	
Actividad $\alpha$	máximo 0,1 Bq/l.
Actividad $\beta$	máximo 1,0 Bq/l.

SECCION VI

De las descargas o infiltración en el subsuelo

**Artículo 16:** Se prohíbe la descarga, infiltración o inyección en el suelo o en el subsuelo de vertidos líquidos tratados o no, cuyo contenido de sustancias pertenecientes al Grupo I, especificadas en el artículo 9, superen los límites establecidos en el artículo 10 de este Decreto.

**Artículo 17:** Se exceptúa de lo dispuesto en el artículo anterior a las actividades de inyección asociadas a la exploración y explotación de hidrocarburos en acuíferos no aprovechables y yacimientos petrolíferos, en los siguientes casos:

A.- En acuíferos no aprovechables: se permitirá, previo análisis técnico, económico y ambiental de alternativas, cuando se trate de:

- Lodos de perforación en base a agua y aceite en etapas de exploración.
- Lodos de perforación en base a agua en etapas de desarrollo y explotación.
- Lodos de perforación en base a agua y aceite, aguas de formación y aguas efluentes de procesos de producción

de crudos, en acuíferos lenticulares, previa determinación de su condición como tal, en etapas de desarrollo y producción.

La inyección se efectuará cumpliendo las siguientes condiciones:

- A.1. Profundidad mayor de 200 m por debajo de la base del acuífero aprovechable más profundo, con una capa impermeable de separación con un espesor de por lo menos 30 metros o una capa semipermeable de por lo menos 200 m.
- A.2. Acuíferos receptores con barreras impermeables supra e infra-yacentes de espesor no menor de 2 m cada una, construidas con material arcilloso, lutítico o equivalente, que impidan el movimiento vertical del fluido inyectado.
- A.3. Condiciones petrofísicas (permeabilidad, porosidad y cantidad de arcilla) y de espesor y desarrollo lateral de la capa de almacén que garanticen la inyección sin exceder la presión de fractura de las barreras impermeables ni limiten la capacidad de almacenamiento del volumen de lodo planificado para la inyección. A tales efectos, se deberá cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

- a) Permeabilidad: mayor de 50 milidarcy.
- b) Cantidad de arcilla: menor de 15%.
- c) Porosidad: mayor de 12%
- d) Espesor de la capa almacén: mayor a 3 metros

A.4. Sellos de cemento entre el revestimiento y la formación que eviten la migración del fluido inyectado hacia el acuífero aprovechable más profundo.

A tales efectos, se deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

- a) Longitud mínima de 30 m para el sello supra yacente del acuífero receptor.
- b) Longitud mínima de 200 m para el sello de la base del acuífero aprovechable más profundo.

3. En yacimientos petrolíferos y acuíferos asociados: cuando se trate de aguas de formación, aguas efluentes de procesos de producción de crudos, lodos de perforación, hidrocarburos o desechos de hidrocarburos. Las condiciones para la inyección se fijarán de acuerdo a las características de cada yacimiento.

**Parágrafo Unico:** El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá ordenar la perforación de pozos a nivel de acuíferos aprovechables, como medida de monitoreo y control para operaciones permanentes de inyección. Asimismo, para exigir el uso de técnicas como registros eléctricos, de flujo, de presión y de temperatura, pruebas de cementación y de cualquier otro mecanismo, que permita el seguimiento y control del avance del fluido inyectado en el acuífero o yacimiento receptor.

**Artículo 18:** Las actividades de inyección establecidas en este Capítulo quedan sujetas a la autorización previa del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. A tales efectos los interesados presentarán ante el señalado Ministerio una solicitud acompañada de los siguientes recaudos:

**A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 1 de 4)**  
**Coefficientes 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 Nominal	mm pulg	15 ½	20 ¾	25 1	32 1¼	40 1½	50 2	65, 80 2½, 3	100 4	125 5	150 6	200, 250 8, 10	300-400 12-16	450-600 18-24
Factor de fricción (f <sub>r</sub> )		.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

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

$$K_2 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\sin \frac{\theta}{2} (1 - \beta^2)^3} + (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Fórmula 7

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

$$K_2 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

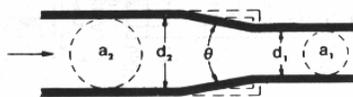
$$\beta = \frac{d_1}{d_2}$$

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

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

\*Úsese 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**



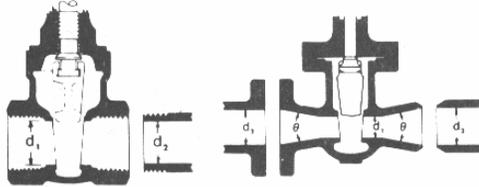
Si:  $\theta < 45^\circ$  .....  $K_2 = \text{Fórmula 3}$

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

**A-24 TABLA DEL FACTOR "K" (página 2 de 4)**  
**Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios**

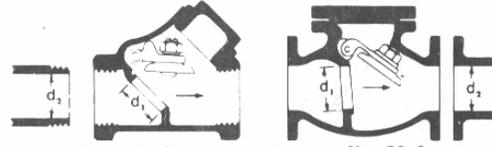
**VÁLVULAS DE COMPUERTA**

De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



Si:  $\beta = 1, \theta = 0 \dots\dots\dots K_1 = 8 f_T$   
 $\beta < 1$  y  $\theta < 45^\circ \dots\dots\dots K_2 = \text{Fórmula 5}$   
 $\beta < 1$  y  $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots\dots K_2 = \text{Fórmula 6}$

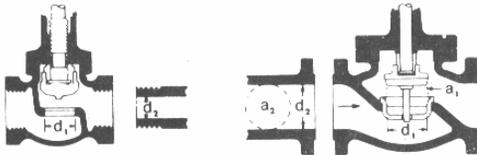
**VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE**



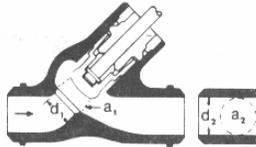
Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

(m/seg) =  $45 \sqrt{V}$  =  $75 \sqrt{V}$   
 (pie/seg) =  $35 \sqrt{V}$  =  $60 \sqrt{V}$   
 U/L Registradas =  $120 \sqrt{V}$  =  $100 \sqrt{V}$

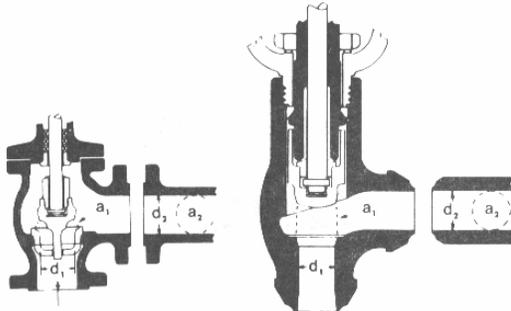
**VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES**



Si:  $\beta = 1 \quad K_1 = 340 f_T$



Si:  $\beta = 1 \dots\dots K_1 = 55 f_T$

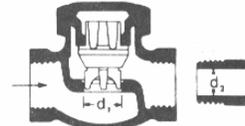


Si:  $\beta = 1 \dots K_1 = 150 f_T$  Si:  $\beta = 1 \dots\dots K_1 = 55 f_T$

Todas las válvulas de globo y angulares con asiento reducido  $\phi$  de mariposa

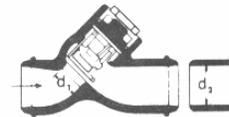
Si:  $\beta < 1 \dots\dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

**VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE OBTURADOR ASCENDENTE**



Si:  $\beta = 1 \dots\dots K_1 = 600 f_T$   
 $\beta < 1 \dots\dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

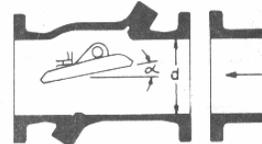
Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador =  $50 \beta^2 \sqrt{V}$  m/seg  $40 \beta^2 \sqrt{V}$  pie/seg



Si:  $\beta = 1 \dots\dots K_1 = 55 f_T$   
 $\beta < 1 \dots\dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador =  $170 \beta^2 \sqrt{V}$  m/seg  $140 \beta^2 \sqrt{V}$  pie/seg

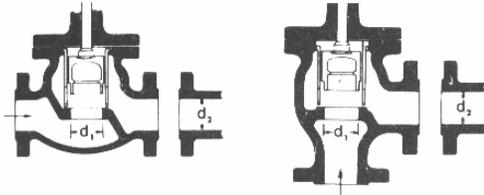
**VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO BASCULANTE**



Pasos	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$
50 mm (2") a 200 mm (8")	$40 f_T$	$120 f_T$
250 mm (10") a 350 mm (14")	$30 f_T$	$90 f_T$
400 mm (16") a 1200 mm (48")	$20 f_T$	$60 f_T$
Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador = m/seg	$100 \sqrt{V}$	$40 \sqrt{V}$
pie/seg	$80 \sqrt{V}$	$30 \sqrt{V}$

**A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 3 de 4)**  
**Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios**

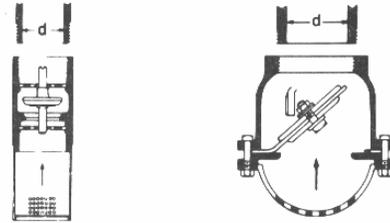
**VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE**  
 (Tipos recto y angular)



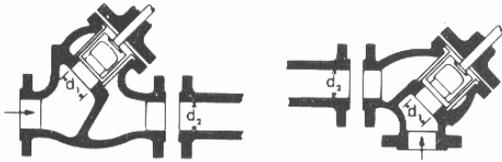
<p>Si:  <math>\beta = 1 \dots K_1 = 400 f_T</math>  <math>\beta &lt; 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}</math>                  Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador  <math>m/\text{seg} = 70 \beta^2 \sqrt{V}</math>  <math>\text{pie}/\text{seg} = 55 \beta^2 \sqrt{V}</math></p>	<p>Si:  <math>\beta = 1 \dots K_1 = 200 f_T</math>  <math>\beta &lt; 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}</math>                  Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador  <math>= 95 \beta^2 \sqrt{V}</math>  <math>= 75 \beta^2 \sqrt{V}</math></p>
---	--

**VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO**

Obturador ascendente      Obturador oscilante

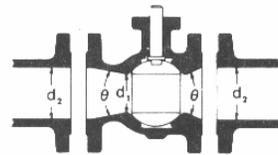


<p><math>K = 420 f_T</math>                  Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador  <math>m/\text{seg} = 20 \sqrt{V}</math>  <math>\text{pie}/\text{seg} = 15 \sqrt{V}</math></p>	<p><math>K = 75 f_T</math>                  Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador  <math>= 45 \sqrt{V}</math>  <math>= 35 \sqrt{V}</math></p>
--	--



<p>Si:  <math>\beta = 1 \dots K_1 = 300 f_T</math>  <math>\beta &lt; 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}</math>                  velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador  <math>m/\text{seg} = 75 \beta^2 \sqrt{V}</math></p>	<p>Si:  <math>\beta = 1 \dots K_1 = 350 f_T</math>  <math>\beta &lt; 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}</math>  <math>\text{pie}/\text{seg} = 60 \beta^2 \sqrt{V}</math></p>
--	--

**VÁLVULAS DE GLOBO**

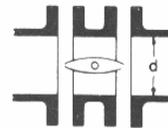


Si:  $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 3 f_T$   
 $\beta < 1$  y  $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$   
 $\beta < 1$  y  $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$



<p><math>\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T</math>  <math>\beta &lt; 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}</math>                  Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador  <math>m/\text{seg} = 170 \beta^2 \sqrt{V}</math></p>	<p><math>\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T</math>  <math>\beta &lt; 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}</math>  <math>(\text{pie}/\text{seg}) = 140 \beta^2 \sqrt{V}</math></p>
--	---

**VÁLVULAS DE MARIPOSA**



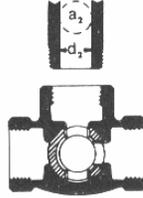
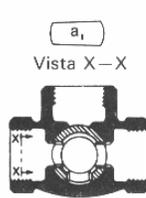
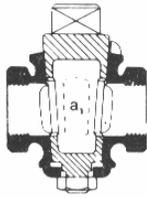
Diámetro 50 mm (2") a 200 mm (8") . . . . .  $K = 45 f_T$   
 Diámetro 250 mm (10") a 350 mm (14") . . .  $K = 35 f_T$   
 Diámetro 400 mm (16") a 600 mm (24") . . .  $K = 25 f_T$

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

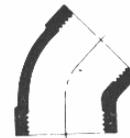
**CODOS ESTÁNDAR**

90°

45°

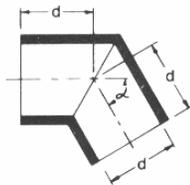


$K = 30 f_T$



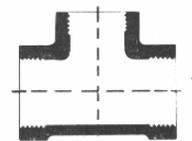
$K = 16 f_T$

**CURVAS EN ESCUADRA O FALSA ESCUADRA**



$\alpha$	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  $K_{B1}$ , para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

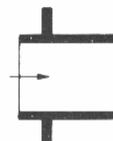
$$K_B = (n - 1) \left( 0.25 \pi f_T \frac{r}{d} + 0.5 K \right) + K$$

$n$  = número de curvas de 90°

$K$  = coeficiente de resistencia para una curva de 90° (según tabla)

**ENTRADAS DE TUBERÍA**

Con resalte hacia el interior

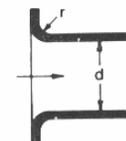


$K = 0.78$

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

\*de cantos vivos

A tope



Véanse los valores de  $K$  en la tabla

**CURVAS DE 180° DE RADIO CORTO**



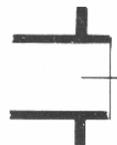
$K = 50 f_T$

**SALIDAS DE TUBERÍA**

Con resalte

De cantos vivos

Redondeada



$K = 1.0$



$K = 1.0$



$K = 1.0$

---

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
Manual Técnico PAVCO

1

---

**Ventajas de la tubería y accesorios de Presión PAVCO**

La amplia aceptación de la Tubería y Accesorios **Presión PAVCO** se debe a sus numerosas propiedades y ventajas sobre otras.

A continuación mencionamos algunas de estas ventajas:

**Resistente a la corrosión**

La Tubería PAVCO resiste los ácidos, álcalis, soluciones salinas y productos químicos industriales, sin mostrar el más mínimo deterioro a través de los años. Su vida útil se estima en 50 años. Para consulta, puede ver la Tabla de Resistencia Química

**Resistente a la electrólisis**

La Tubería PAVCO es inmune a la acción galvanoplástica o electrolítica que destruye las tuberías metálicas. Por lo tanto puede colocarse bajo tierra, bajo el agua o en contacto con metales.

**Libre de incrustaciones**

Las paredes lisas y libres de porosidad de la Tubería PAVCO impiden la formación de incrustaciones comunes en las tuberías metálicas, proporcionando una vida útil mucho más larga con una mayor eficiencia.

**Menores pérdidas de presión**

La superficie interior de la Tubería PAVCO es lisa, reduciendo considerablemente las pérdidas de presión por fricción. (Véanse las Tablas de Pérdida de Presión) El coeficiente de fricción "C" para la fórmula de Hazen-Williams es de C=150.

**Resistencia mecánica**

El PVC (Policloruro de Vinilo) y el CPVC (Policloruro de Vinilo Clorado) proporcionan a las Tuberías de PAVCO una alta resistencia a la tensión y al impacto; por lo tanto la tubería puede soportar presiones elevadas, además de poseer una excelente trabajabilidad.

**Liviana**

La Tubería PAVCO es considerablemente más liviana que las tuberías metálicas, facilitando enormemente su manipulación, almacenaje e instalación.

**Rigidez**

Gracias a su rigidez, la Tubería PAVCO se puede colocar en instalaciones aéreas o externas empleando un mínimo de soportes. (Véase la tabla de Espaciamiento de Soportes).

---

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
**Manual Técnico PAVCO**

2

**Facilidad de instalación**

El sistema de unión de Tubos y Accesorios PAVCO consiste en conexiones soldadas. Este sistema de unión por medio de soldadura líquida, resulta en una unión monolítica de las partes que desarrolla máxima resistencia en un mínimo de tiempo. Como consecuencia la instalación es muy sencilla, rápida y segura. El equipo necesario es mínimo, no se necesitan tarrajas y basta una segueta o un serrucho para hacer los cortes.

**Agua caliente**

PAVCO ofrece Tubería y Accesorios de CPVC (Policloruro de Vinilo Clorado) para la conducción de agua caliente. Diseñados para una presión de trabajo de 100 Psi y una temperatura de 82°C del agua.

**Auto-extinguible**

La Tubería PAVCO no forma llama ni facilita la combustión.

**Baja conductividad térmica**

Esta propiedad de la Tubería PAVCO puede eliminar la condensación (sudado) de los tubos cuando conducen líquidos muy fríos, evitando en muchos casos el uso de materiales aislantes. Además, en el caso de agua caliente disminuye las pérdidas de calor, proporcionando un sistema más eficiente.

**No transmite olor ni sabor**

Debido a esta propiedad la Tubería de Presión PAVCO es ideal para el transporte de agua potable.

**Economía**

La Tubería PAVCO ofrece economías considerables bajo varios aspectos:

- A) Los tubos y los accesorios son más económicos diámetro por diámetro que los metálicos.
- B) Por su menor coeficiente de fricción se pueden utilizar menores diámetros que con otras tuberías para igual caudal e igual velocidad.
- C) El costo de la mano de obra para la instalación es muy reducido debido a la facilidad y rapidez de la soldadura líquida para las uniones.
- D) El costo del transporte es también más bajo debido a su reducido peso y facilidad de manejo.
- E) El mantenimiento es mínimo pues no es necesario pintarlas para prevenir oxidaciones.

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
Manual Técnico PAVCO

4

**TUBERIA AGUA FRIA**

Especificaciones ASTM D2241

RDE Presión de trabajo	Diámetro Nominal pulg.	Referencia	Peso gr / m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
				mm	pulg	mm	pulg
a 23°C:500 PSI-3.44Pa- 35.15 Kg/cm2	1/2	0150202001	216,7	21,34	0,840	2,36	0,093

RDE 11 Presión de Trabajo	Diámetro Nominal pulg.	Referencia	Peso gr / m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
				mm	pulg	mm	pulg
a 23°C:400 PSI-2.76Pa- 28.12 Kg/cm <sup>2</sup>	3/4	0150302001	281,7	26,67	1,050	2,41	0,095

RDE 13,5 Presión de Trabajo	Diámetro Nominal pulg.	Referencia	Peso gr / m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
				mm	pulg	mm	pulg
A23°C:315 PSI-2.17Mpa- 22.14Kg/cm2	1	0150402001	368,3	33,40	1,315	2,46	0,097

RDE 17 Presión de Trabajo	Diámetro Nominal pulg.	Referencia	Peso gr / m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo					
				mm	pulg	mm	pulg				
				a 23°C :215 PSI -1,73 Mpa -17,58 Kg/cm2	1 1/4	0150502003	478,3	42,16	1,660	2,49	0,098
					1 1/2	0150602004	625,0	48,26	1,900	2,84	0,112
	2	0150702002	978,3	60,32	2,375	3,56	0,140				

RDE 21 Presión de Trabajo	Diámetro Nominal pulg.	Referencia	Peso gr / m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo					
				mm	pulg	mm	pulg				
				a 23°C: 200 PSI -1,38 Mpa -14,06 Kg/cm2	2 1/2	0150802001	1.161,7	73,03	2,875	3,48	0,137
					3	0150902001	1.173,3	88,90	3,500	4,24	0,167
					4	0151002001	2.845,0	114,30	4,500	5,44	0,214
	6	0151202002	6.182,0	168,28	6,625	8,03	0,316				

La longitud normal de los tramos es de 6,00 metros. La tubería NO debe roscarse

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
Manual Técnico PAVCO

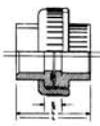
**Accesorios**

Schedule 40 y 80 Especificaciones ASTM D 2466/D2467

**PRESION DE TRABAJO A 23°C**

SCHEDULE 40 ASTM D 2466	pulg	PSI	Mpa	Kg/cm2	pulg	PSI	Mpa	Kg/cm2
	1/2	600	4,14	42,18	2	280	1,93	19,68
3/4	480	3,31	33,74	2 1/2	300	2,07	21,09	
1	450	3,1	31,64	3	260	1,79	18,28	
1 1/4	370	2,55	26,01	4	220	1,52	15,47	
1 1/2	330	2,28	23,2	6*	280	1,93	19,68	

(\*) Accesorios Schedule 80 Especificaciones ASTM D 2467

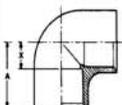
UNIVERSALES 	Diámetro Nominal pulg	Referencia	L		X	
			mm	pulg	mm.	pulg
	1/2	1530262111	60,81	2.394	24.8	0.976
	3/4	1530362111	68,50	2.697	24.0	0.945
	1	1530462109	73.00	2.874	22.0	0.866

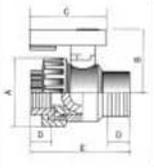
TEES 	Diámetro Nominal pulg	Referencia	A		X	
			mm	pulg	mm.	pulg
	1/2	1530248118	32.64	1.285	13.54	0.533
	3/4	1530348113	37.24	1.466	16.31	0.642
	1	1530448111	43.03	1.694	21.06	0.829
	1 1/4	1530548111	50.80	2.000	25.65	1.010
	1 1/2	1530648109	57.15	2.250	28.88	1.137
	2	1530748107	69.85	2.750	35.20	1.386
	2 1/2	1530848107	82.55	3.250	43.13	1.698
	3	1530948106	96.82	3.812	57.12	2.249
	4	1531048104	122.22	4.812	66.27	2.609
	6*	1531248001	178,10	7,012	88,90	3,500

(\*) Accesorios Schedule 80 Especificaciones ASTM D 2467

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
Manual Técnico PAVCO

TEES REDUCIDAS 	Diámetro Nominal pulg	Referencia	A		X	
			mm	pulg	mm.	pulg
	3/4 X 1/2	1530554113	32.64	1.285	14.43	0.568
	1 X 1/2	1531148001	36.68	1.444	14.43	0.568
	1 X 3/4	1531269001	39.88	1.570	17.22	0.678

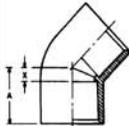
CODOS 90° 	Diámetro Nominal pulg	Referencia	A		X	
			mm	pulg	mm.	pulg
	1/2	1530222118	31,75	1,250	12.70	0.500
	3/4	1530322115	36.50	1.437	14.27	0.562
	1	1530422114	45.69	1.799	20.29	0.799
	1 1/4	1530522111	50.80	2.000	22.23	0.875
	1 1/2	1530622111	60.81	2.394	29.06	1.144
	2	1530722109	69.85	2.750	31.75	1.250
	2 1/2	1530822107	82.55	3.250	38.10	1.500
	3	1530922106	96.82	3.812	46.02	1.812
	4	1531022104	122.22	4.812	58.72	2.213
	6*	1531222011	178.10	7,012	88,90	3,500

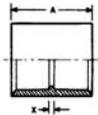
VALVULA DE BOLA ROSCA HEMBRA ** Presión de Trabajo a 23° C 1/2" a 2": 315 PSI 2. 1/2" a 4": 200 PSI 	Diámetro Nominal pulg	Referencia	X		L	
			mm	pulg	mm.	pulg
	1/2	0970204001	16,00	0,630	76,00	2,994
	3/4	0970304001	19,00	0,748	90,00	3,543
	1	0970404001	22,00	0,866	102,00	4,016
	1 1/2	0970604001	24,00	0,944	127,00	5,000
	2	0970704001	28,00	1,102	168,00	6,614
	2 1/2	0970804001	33,00	1,299	210,00	8,267
	3	0970904001	36,00	1,417	235,00	9,252
	4	0970604002	42,00	1,653	275,00	10,87

(\*) Accesorios Schedule 80 Especificaciones ASTM D 2467

(\*\*) \*Rosca N.P.T

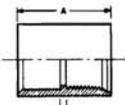
**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
Manual Técnico PAVCO

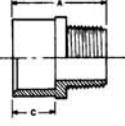
CODO 45° 	Diámetro Nominal pulg	Referencia	A		X	
			mm	pulg	mm.	pulg
	1/2	1530220118	23.83	0.938	6.35	0.250
	3/4	1530320114	26.19	1.031	7.92	0.312
	1	1530420113	30.15	1.187	7.92	0.312
	1 1/4	1530520112	39.34	1.549	10.77	0.424
	1 1/2	1530620111	42.85	1.687	11.10	0.437
	2	1530720107	53.98	2.125	15.88	0.625
	2 1/2	1530820107	61.90	2.437	17.45	0.687
	3	1530920107	69.85	2.750	19.05	0.750
	4	1531020104	88.90	3.500	25.40	1.000
	6 (*)	1531220001	133.65	5.262	44.45	1.750

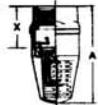
UNIONES 	Diámetro Nominal pulg	Referencia	A		X	
			mm	pulg	mm.	pulg
	1/2	1530259119	40.49	1.594	2.39	0.094
	3/4	1530359118	46.84	1.844	2.39	0.094
	1	1530459113	50.01	1.969	2.39	0.094
	1 1/4	1530559111	60.33	2.375	3.18	0.125
	1 1/2	1530659111	66.68	2.625	3.18	0.125
	2	1530759111	81.10	3.193	4.90	0.193
	2 1/2	1530859107	94.26	3.711	6.35	0.250
	3	1530959107	103.15	4.061	7.90	0.311
	4	1531059106	131.85	5.191	4.85	0.191
	6(*)	1531277001	159.70	6.287	6.35	0.250

(\*) Accesorios Schedule 80 Especificaciones ASTM D 2467

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
Manual Técnico PAVCO

ADAPTADORES HEMBRA (**)	Diámetro Nominal pulg	Referencia	A		X	
			mm	pulg	mm.	pulg
	1/2 x 1/4	1530105115	37.44	1.474	2.39	0.094
	1/2 x 3/8	1530205115	37.44	1.474	2.39	0.094
	1/2	1530204119	37.44	1.474	2.39	0.094
	3/4	1530404115	45.11	1.776	2.39	0.094
	1	1530404113	54.58	2.149	3.38	0.133
	1 1/4	1530504111	60.73	2.391	3.58	0.141
	1 1/2	1530604111	66.88	2.633	3.38	0.133
	2	1530704111	76.25	3.002	3.38	0.133
	2 1/2	1530804107	97.79	3.850	5.00	0.197
	3	1530904107	106.35	4.187	4.75	0.187
	4	1531004106	132.59	5.220	5.59	0.220
	6	1531208001	147.20	5.795	89.20	3.512

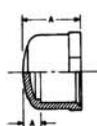
ADAPTADORES MACHO (**)	Diámetro Nominal pulg	Referencia	A		C	
			mm	pulg	mm.	pulg
	1/2	1530206119	38.40	1.512	12.70	0.500
	3/4	1530306118	47.63	1.875	21.34	0.840
	1	1530406113	52.50	2.067	22.23	0.875
	1 1/4	1530506111	60.33	2.375	29.24	1.151
	1 1/2	1530606111	63.50	2.500	30.02	1.182
	2	1530706111	68.25	2.687	32.41	1.276
	2 1/2	1530806107	86.89	3.421	41.50	1.634
	3	1530906109	97.92	3.855	46.10	1.815
	4	1531006106	115.49	4.547	57.68	2.271
	6	1531206001	147.20	5.795	89.20	3.512

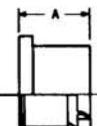
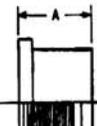
VALVULA DE PIE	Diámetro Nominal pulg	Referencia	A		C	
			mm	pulg	mm.	pulg
	1.1/4	1530565209	127.51	5.020	56.01	2.205

(\*) Accesorios Schedule 80 Especificaciones ASTM D 2467

(\*\*) Rosca N.P.T

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
Manual Técnico PAVCO

TAPONES Soldados- Roscados (**)	Diámetro Nominal pulg	Soldado Referencia (1)	Roscado Referencia (2)	A		X	
				mm	pulg	mm.	pulg
	1/2	1530247118	15302246118	24.16	0.951	5.11	0.201
	3/4	1530347115	1530346115	28.98	1.141	6.76	0.266
	1	1530447114	1539446113	34.19	1.346	8.79	0.346
	1 1/4	1530517113	1530546113	39.17	1.542	10.59	0.417
	1 1/2	1530647111	1539646111	44.25	1.742	12.50	0.492
	2	1530747109	1530746109	53.64	2.112	15.54	0.612
	2 1/2	1530847107	1530846107	63.27	2.491	18.82	0.741
	3	1530947109	1530946109	73.79	2.905	22.99	0.905
	4	1531047106	1531046106	92.58	3.645	29.08	1.145

REDUCCIONES Soldados- Roscado (**)	Diámetro Nominal pulg	Soldado Referencia (1)	Roscado Referencia (2)	A		C	
				mm	pulg	mm.	pulg
  	1/2 x 1/4		1530113118	22.23	0.875	19.05	0.750
	1/2 x 3/8		1530213118	22.23	0.875	19.05	0.750
	3/4 x 1/2	1530514118	1530513118	24.61	0.969	22.23	0.875
	1 x 1/2	1530614118	1530613114	27.79	1.094	25.40	1.000
	1 x 3/4	1530714114	1530713114	27.79	1.094	25.40	1.000
	1 1/4 x 1/2	1530814113	1530813113	30.96	1.219	28.58	1.125
	1 1/4 x 3/4	1530914113	1530913113	30.96	1.219	28.58	1.125
	1 1/4 x 1	1531014113	1531013113	30.96	1.219	28.58	1.125
	1 1/2 x 1/2	1531114113	1531113113	32.59	1.283	27.99	1.102
	1 1/2 x 3/4	1531214113	1531213113	32.59	1.283	27.99	1.102
	1 1/2 x 1	1531314113	1531313113	32.59	1.283	27.99	1.102
	1 1/2 x 1 1/4	1531414113	1531413113	32.59	1.283	27.99	1.102
	2 x 1/2	1531514111	1531513111	33.66	1.325	29.57	1.164
	2 x 3/4	1531614111	1531613111	33.66	1.325	29.57	1.164
	2 x 1	1531714111	1531713111	33.66	1.325	29.57	1.164
	2 x 1 1/4	1531814111	1531813111	33.66	1.325	29.57	1.164
	2 x 1 1/2	1531914111	1531913111	33.66	1.325	29.57	1.164
	2 1/2 x 1 1/2	1532314109	1532313109	49.20	1.937	44.45	1.750
	2 1/2 x 2	1532414109	1532413109	49.20	1.937	44.45	1.750
	3 x 2	1532814109	1532813109	55.55	2.187	38.10	1.500
3 x 2 1/2	1532914109	1532913109	55.55	2.187	44.45	1.750	
4 x 2	1533414107	1533413107	68.25	2.687	38.10	1.500	
4 x 2 1/2	1533514107	11533513107	68.25	2.687	44.45	1.750	
4 x 3	1533614107	1533613107	68.25	2.687	50.80	2.000	
6x4(*)	1535643001		87.90	3.461	59.60	2.350	

(\*\*) \*Rosca N.P.T

(\*) Accesorios Schedule 80 Especificaciones ASTM D 2467

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
**Manual Técnico PAVCO**

20

Propiedades del PVC Y CPVC					
	Prueba ASTM	PVC		CPVC	
<b>PROPIEDADES MECANICAS</b>					
Peso Específico	D 792	1,41	1,41	1,55	1,55
Resistencia a la tensión 23°C	D 638	7.000 psi	492 Kg/cm <sup>2</sup>	7.000 psi	492 Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad	D 638	400.000 psi	28.123 Kg/cm <sup>2</sup>	360.000 psi	25.311 Kg/cm <sup>2</sup>
Izod Impac.	D 256	0.65 ft-lb/in	0.039 KgM/cm	1.5 ft-lb/in	0.009 KgM/cm
Resistencia a la flexión	D 790	14.500 psi	1020 Kg/cm <sup>2</sup>	15.600 psi	1.097 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	D 695	9.600 psi	675 Kg/cm <sup>2</sup>	10.800 psi	760 Kg/cm <sup>2</sup>
Dureza; Shore D	D 676	83		117	
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>					
Coefficiente de expansión	D 696	4,7x10 <sup>-5</sup> in/in/°F	8,57x10 <sup>-5</sup> cm/cm/°C	3,8x10 <sup>-5</sup> in/in/°F	6,8x10 <sup>-5</sup> cm/cm/°C
Conductividad	C 177	1,0 Btu/hr.ft. <sup>2</sup>	12,4 Kcal/hr.m <sup>2</sup>	0,95 Btu/hr.ft. <sup>2</sup>	11,8 Kcal/hr.m <sup>2</sup>
<b>PROPIEDADES ELECTRICAS</b>					
Resistencia Dieléctrica	D 149	1.400 Volts/mil		1.500 Volts/mil	
Constante Dieléctrica 60 CPS a 30°C	D 150	3,60	3,60	3,10	3,10
Factor Potencia 60 CPS A 30°C	D 150	0,012	0,012	0,010	0,010
<b>OTRASPROPIEDADES</b>					
Incendio		Auto - Extinguible		Auto - Extinguible	

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
**Manual Técnico PAVCO**

**Temperatura en la Presión de Trabajo**

Como la resistencia del PVC y del CPVC disminuye a medida que aumenta la temperatura de trabajo, es necesario disminuir la presión de diseño a temperaturas elevadas. Con tal fin damos a continuación los valores de la presión de trabajo para las distintas temperaturas.

**Presión de Trabajo en psi**

Temperatura °C	PVC					CPVC
	RDE 9	RDE 11	RDE 13.5	RDE 17	RDE 21	RDE 11
15	630	504	397	315	252	-
20	575	460	362	288	230	-
23	500	400	315	250	200	400
25	470	376	296	235	188	400
30	400	320	252	200	160	380
35	345	276	217	173	138	348
40	285	228	180	143	114	316
45	235	188	148	118	94	284
50	190	152	120	95	76	256
55	145	116	91	73	58	228
60	110	88	69	55	44	200
70				-	-	164
80				-	-	112
82				-	-	100
90						88
95						76

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
**Manual Técnico PAVCO**

**Dilatación de la Tubería**

La ecuación para calcular la expansión de las tuberías es:

$$\Delta L = C (T_2 - T_1) L$$

$\Delta L$  = Expansión en cm

C = Coeficiente de Expansión:

8.5 x 10<sup>-5</sup> cm/ cm/ °C para PVC

6.8 x 10<sup>-5</sup> cm/ cm/ °C para CPVC

T<sub>2</sub> = Temperatura máxima en °C

T<sub>1</sub> = Temperatura mínima en °C

L = Longitud de la tubería en cm

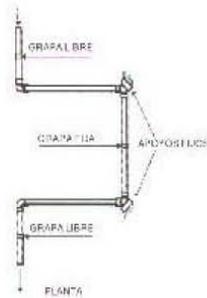
Ejemplo: ¿Cuál es la dilatación que debe esperarse en un tramo de tubería de PVC de 45 m de largo instalado a 15°C y trabajando a 25°C?

Solución:

$$\Delta L = 8.5 \times 10^{-5} \times (25-15) \times 4500$$

$$\Delta L = 3.825 \text{ cm}$$

Recuerde permitir contracciones cuando la tubería va a estar expuesta a temperaturas mucho más bajas que la temperatura de la instalación.



Cuando el cambio total de temperatura (T<sub>2</sub> - T<sub>1</sub>) es menor de 15°C, no es necesario tomar previsión especial para la expansión térmica, sobre todo cuando la línea tiene varios cambios de dirección y por lo tanto proporciona su propia flexibilidad. Debe tenerse cuidado, sin embargo, cuando la línea tiene conexiones roscadas, pues estas son más vulnerables a las fallas por flexión que las uniones soldadas.

Cuando los cambios de temperatura son considerables, hay varios métodos para proveer la expansión térmica. El más común, es hacer "lazos de expansión" a base de codos y un tramo recto de tubería unidos con Soldadura Líquida.

**PAVCO** Sistema de Tubería y Accesorios Presión  
**Manual Técnico PAVCO**

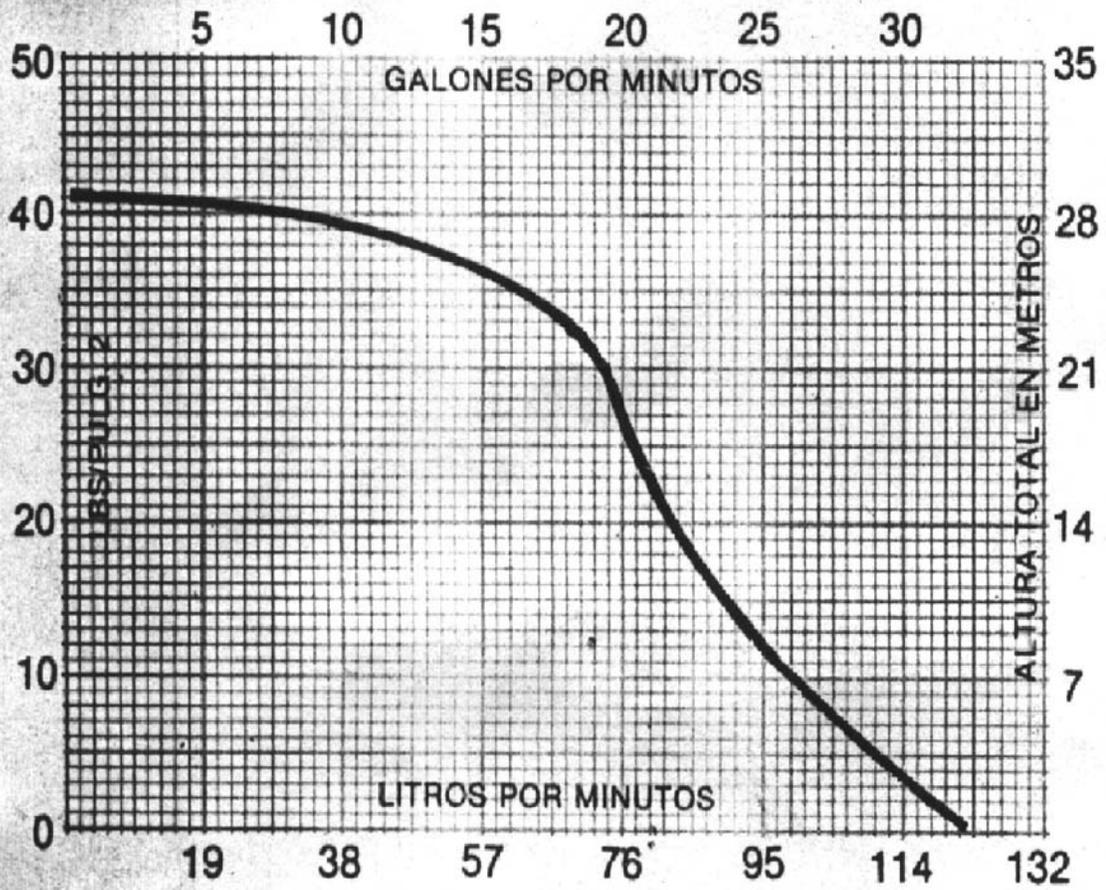
**PERDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN (En metros por cada 100 metros de tubería)**  
 Según fórmula de Mazen-Willians

RDE 9		RDE 11		RDE 13.5		RDE 17			
De		De		De		De			
1/2"		3/4"		1"		1.1/4" 1.1/2" 2"			
Caudal	Di(mm)	Caudal	Di(mm)	CAUDAL	Di (mm)	Di (mm)			
(lt/s)	16,62	(lt/s)	21,85	(lt/s)	28,48	(lt/s)	37,18	42,58	53,20
0,05	0,251	0,05	0,066	0,05	0,018	0,25	0,098	0,051	0,017
0,10	0,907	0,10	0,239	0,10	0,066	0,50	0,354	0,183	0,062
0,15	1,921	0,15	0,507	0,15	0,139	0,75	0,750	0,387	0,131
0,20	3,273	0,20	0,863	0,20	0,238	1,00	1,278	0,660	0,223
0,25	4,947	0,25	1,305	0,25	0,359	1,25	1,932	0,998	0,337
0,30	6,935	0,30	1,830	0,30	0,503	1,50	2,708	1,399	0,473
0,35	9,226	0,35	2,434	0,35	0,670	1,75	3,602	1,861	0,629
0,40	11,814	0,40	3,117	0,40	0,858	2,00	4,613	2,383	0,806
0,45	14,694	0,45	3,877	0,45	1,067	2,25	5,737	2,964	1,002
0,50	17,860	0,50	4,712	0,50	1,296	2,50	6,973	3,603	1,218
0,55	21,308	0,55	5,622	0,55	1,547	2,75	8,320	4,298	1,453
0,60	25,034	0,60	6,605	0,60	1,817	3,00	9,774	5,050	1,707
0,65	29,034	0,65	7,660	0,65	2,108	3,25	11,336	5,857	1,980
0,70	33,305	0,70	8,787	0,70	2,418	3,50	13,004	6,718	2,271
0,75	37,845	0,75	9,985	0,75	2,747	3,75	14,776	7,634	2,581
0,80	42,650	0,80	11,253	0,80	3,096	4,00	16,652	8,603	2,909
0,85	47,717	0,85	12,590	0,85	3,464	4,25	18,631	9,625	3,254
0,90	53,046	0,90	13,996	0,90	3,850	4,50	20,711	10,700	3,618
0,95	58,632	0,95	15,470	0,95	4,256	4,75	22,893	11,827	3,999
1,00	64,475	1,00	17,011	1,00	4,680	5,00	25,174	13,005	4,397
1,05	70,572	1,05	18,620	1,05	5,123	5,25	27,555	14,235	4,813
1,10	76,922	1,10	20,295	1,10	5,584	5,50	30,034	15,516	5,246
1,15	83,523	1,15	22,037	1,15	6,063	5,75	32,611	16,848	5,696
1,20	90,372	1,20	23,844	1,20	6,560	6,00	35,285	18,229	6,163
1,25	97,470	1,25	25,717	1,25	7,075	6,25	38,056	19,661	6,647
1,35		1,35	29,656	1,35	8,159	6,50	40,924	21,142	7,148
1,45		1,45	33,852	1,45	9,313	6,75	43,886	22,673	7,666
1,55		1,55	38,303	1,55	10,538	7,00	46,944	24,252	8,200
1,65		1,65	43,005	1,65	11,831	7,25	50,096	25,881	8,750
1,75		1,75	47,956	1,75	13,194	7,50	53,342	27,558	9,317
1,85		1,85	53,154	1,85	14,624	7,75	56,682	29,283	9,901
1,95		1,95	58,598	1,95	16,121	8,00	60,115	31,057	10,500
2,05		2,05	64,284	2,05	17,686	8,25	63,640	32,878	11,116
2,15		2,15	70,212	2,15	19,317	8,50	67,258	34,747	11,748
2,25		2,25	76,380	2,25	21,013	8,75	70,967	36,663	12,396
2,35		2,35	82,785	2,35	22,776	9,00	74,768	38,627	13,060
2,45		2,45	89,428	2,45	24,603	9,25	78,660	40,638	13,739
2,55		2,55	96,305	2,55	26,495	9,50	82,642	42,695	14,435
3,00		3,00	35,800	3,00	35,800	9,75	86,715	44,799	15,146
3,50		3,50	47,629	3,50	47,629	10,00	90,878	46,950	15,874
4,00		4,00	60,992	4,00	60,992	10,50	99,472	51,390	17,375
4,50		4,50	75,859	4,50	75,859	11,00		56,013	18,938
5,00		5,00	92,203	5,00	92,203	11,50		60,820	20,563

Av Chicago cruce con Av. Milán Edificio PAVCO Urb. La California Sur

Teléfonos: (02) 256.0456 - 256.3667 - 257.6055 - 257.3671- 257.3711- 257.4134 Fax 256.1557

# EB-75



# EB-150 M/EB-150 T

**Associates**



MANUFACTURER OF OZONE GENERATORS  
FOR WATER & AIR TREATMENT

300 Lehi Lane, Newcastle, California 95658 • PHONE (916) 823-6484 FAX (916) 823-6484

## **O3 ASSOCIATES OZONE GENERATOR OWNER'S MANUAL INSTALLATION, OPERATION & MAINTENANCE**

**NO INSERT IS REQUIRED for STAINLESS STEEL TUBING**

**THE SUPPLIED BARBED STAINLESS STEEL INSERT  
IS FOR USE WITH TEFLON TUBING ONLY**

1. Insert Barbed Stainless Steel Insert into
  - a. 1/4" O.D. x 3/16" I.D. Teflon Tube
  - b. 1/2" O.D. x 3/8" I.D. Teflon Tube
2. Insert Tube into Stainless steel Bulkhead fitting on lower left hand side of Generator box.
3. Tighten Nut on Stainless Steel Bulkhead fitting 1/4 to a 1/2 turn. This will tighten the fitting on the Teflon Tube and minimize the possibility of an Ozone leak.

**Performance of Ozone Generator will be affected  
if installation and operating instructions contained  
in this manual are not followed.**

**Please read instructions carefully before attempting to  
install or operate the unit.**

## REQUIREMENTS

<b>POWER</b>	<p><b>All Models: 120 Volts, 60 Hz, Single Phase 0.6 Kw</b></p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border: none;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Model</th> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Power Consumption</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 5px;">O3-21</td><td style="padding: 5px;">3.5 Amp.</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-22</td><td style="padding: 5px;">5.0 Amp.</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-23</td><td style="padding: 5px;">5.5 Amp.</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-24</td><td style="padding: 5px;">6.4 Amp.</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-42</td><td style="padding: 5px;">10 amp.</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-43</td><td style="padding: 5px;">16 amp.</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-44</td><td style="padding: 5px;">18 amp.</td></tr> </tbody> </table>	Model	Power Consumption	O3-21	3.5 Amp.	O3-22	5.0 Amp.	O3-23	5.5 Amp.	O3-24	6.4 Amp.	O3-42	10 amp.	O3-43	16 amp.	O3-44	18 amp.																
Model	Power Consumption																																
O3-21	3.5 Amp.																																
O3-22	5.0 Amp.																																
O3-23	5.5 Amp.																																
O3-24	6.4 Amp.																																
O3-42	10 amp.																																
O3-43	16 amp.																																
O3-44	18 amp.																																
<b>FEED GAS</b>	<p>Oxygen is recommended for optimum ozone output. Dry air can be used if minimum specification of air is minus 60 degrees F. dewpoint. Use of ambient air is not recommended and may cause damage to the equipment.</p> <p><b>Recommended SCFH for Optimum Performance:</b></p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border: none;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Model</th> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Recommended SCFH</th> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Minimum SCFH</th> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Air Flow Switch Triggers at</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 5px;">O3-21</td><td style="padding: 5px;">10 SCFH</td><td style="padding: 5px;">7-8 SCFH</td><td style="padding: 5px;">6 SCFH</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-22</td><td style="padding: 5px;">20 SCFH</td><td style="padding: 5px;">7-8 SCFH</td><td style="padding: 5px;">6 SCFH</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-23</td><td style="padding: 5px;">30 SCFH</td><td style="padding: 5px;">7-8 SCFH</td><td style="padding: 5px;">6 SCFH</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-24</td><td style="padding: 5px;">40 SCFH</td><td style="padding: 5px;">20-22 SCFH</td><td style="padding: 5px;">20 SCFH</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-42</td><td style="padding: 5px;">80 SCFH</td><td style="padding: 5px;">20-22 SCFH</td><td style="padding: 5px;">20 SCFH</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-43</td><td style="padding: 5px;">120 SCFH</td><td style="padding: 5px;">50-55 SCFH</td><td style="padding: 5px;">50 SCFH</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">O3-44</td><td style="padding: 5px;">160 SCFH</td><td style="padding: 5px;">50-55 SCFH</td><td style="padding: 5px;">50 SCFH</td></tr> </tbody> </table>	Model	Recommended SCFH	Minimum SCFH	Air Flow Switch Triggers at	O3-21	10 SCFH	7-8 SCFH	6 SCFH	O3-22	20 SCFH	7-8 SCFH	6 SCFH	O3-23	30 SCFH	7-8 SCFH	6 SCFH	O3-24	40 SCFH	20-22 SCFH	20 SCFH	O3-42	80 SCFH	20-22 SCFH	20 SCFH	O3-43	120 SCFH	50-55 SCFH	50 SCFH	O3-44	160 SCFH	50-55 SCFH	50 SCFH
Model	Recommended SCFH	Minimum SCFH	Air Flow Switch Triggers at																														
O3-21	10 SCFH	7-8 SCFH	6 SCFH																														
O3-22	20 SCFH	7-8 SCFH	6 SCFH																														
O3-23	30 SCFH	7-8 SCFH	6 SCFH																														
O3-24	40 SCFH	20-22 SCFH	20 SCFH																														
O3-42	80 SCFH	20-22 SCFH	20 SCFH																														
O3-43	120 SCFH	50-55 SCFH	50 SCFH																														
O3-44	160 SCFH	50-55 SCFH	50 SCFH																														
<b>CONNECTIONS</b>	<p>Ozone Outlet (from bulkhead fitting at lower left hand side of enclosure): Use either 1/4" O.D. x 3/16" I.D. teflon or stainless steel tubing. Teflon and stainless steel are resistant to the corrosive effects of ozone.</p>																																

## INSTALLATION INSTRUCTIONS

<p><b>Where to Install Generator?</b></p> <p><b>IMPORTANT</b></p> <p><b>INSTALLATION STEPS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Examine Unit for Damage.</b></li> <li><b>2. Hang Unit in Vertical Position.</b></li> <li><b>3. Installing Tubing for Ozone Output</b></li> <li><b>4. Attach Tubing to Reducer Adapter</b></li> <li><b>5. Tighten Bulkhead Fitting</b></li> <li><b>6. Install Tubing for Oxygen or Dry Air Feed</b></li> </ol> <p><b>For O3-42, O3-43 and O3-44 Only</b></p>	<p>The ozone generator can be installed indoors or outdoors in a well ventilated area. A weather-proof area is recommended if unit is installed outdoors.</p> <p>Ozone is a toxic gas. If the unit is installed indoors, proper ventilation is essential.</p> <p>Check for damage that may have occurred during shipping. If you notice any damage, call O3 Associates immediately.</p> <p>The generator should be hung from the two drilled holes in the top and bottom flange of the reinforced fiberglass enclosure. Use only Teflon or Stainless Steel tubing which are resistant to the corrosive effects of Ozone. A barbed stainless steel insert is supplied for use with Teflon tubing only. Insert the barbed stainless steel insert all the way into the teflon tube. Then insert the teflon or stainless steel tubing into the stainless fitting located on the lower left hand side of the box. Insert it in as far as it will go.</p> <p>Tighten the nut on the stainless steel bulkhead with no more than a 1/4 to 1/2 turn. This will lock the fitting on the teflon or stainless steel tubing and eliminate possible ozone leaks. Use 1/4" O.D. Nylon tubing to pipe oxygen or dry air. If using dry air, it should be a minimum of minus 60 Deg. F. dewpoint. Connect nylon tubing to the brass quick-connect coupling on the lower right hand side of the box. To disconnect the tube, push the end of the fitting in and remove.</p> <p>Install the tube end of the reducer adapter which you receive with this manual, into the STAINLESS STEEL bulk head fitting on the lower left hand side of the box. Tighten the nut of bulkhead fitting until snug with a 1/4 to 1/2 turn. You can now use 1/2" O.D. x 3/8" I.D. Teflon or Stainless Steel tubing for the Ozone output line. <b>IF USING TEFLON TUBING BE SURE TO INSERT THE SUPPLIED STAINLESS STEEL INSERT INTO THE TEFLON TUBE.</b></p>
---	---

## OPERATING INSTRUCTIONS

<b>START UP PROCEDURE</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Check to make sure all tubing and power connections are connected.</li> <li>2. <b>MAKE SURE POWER IS OFF.</b> Pressure check all oxygen or dry air tubing for leaks. You can use soapy water to check for leaks. <b>DRY ALL PARTS BEFORE PROCEEDING.</b></li> <li>3. Plug power cord into electric outlet.</li> <li>4. Turn power switch on. Both the green light and the cooling fan will go on.</li> <li>5. Feed oxygen or dry air into ozone generator, setting the oxygen or air flow to the recommended SCFH. See pg. 1 (Requirements section) for the recommended SCFH for each model.</li> <li>6. Slowly turn the dial on variac from 0 to 100. The red light will get brighter as the setting goes up.</li> </ol>
<b>SHUT DOWN PROCEDURE</b>	<p>Turn dial setting down from 100 to 0. Permit air purging of the dielectric for 2 minutes before turning off the oxygen or air and the main power switch.</p>
<b>MAINTENANCE</b>	<p>If your generator requires maintenance or repairs, contact O3 Associates for assistance.</p> <p style="text-align: center;"><b>UNDER NO CIRCUMSTANCE SHOULD THE DIELECTRIC BE OPENED. ANY TAMPERING WITH THE INTERIOR OF THE GENERATOR WILL CANCEL YOUR WARRANTY.</b></p>

**WARRANTY**

**One year from date of purchase under normal usage**

## OZONE GENERATOR CONTROL PANEL DESCRIPTION

<b>POWER SWITCH</b>	Toggle switch turns power on and off. Green light illuminates when power is on.	
<b>VARIAC OUTPUT DIAL (0-100)</b>	Ozone output control ranges from 0-100. The red led light illuminates when the dial is moved towards the 100 setting on the Variac.	
<b>AIR FLOW METER</b>	Air flow meter ranges from 5-50 SCFH for models O3-21, O3-22, O3-23. For model O3-24 the air flow meter ranges from 10-100. For models O3-42, O3-43 and O3-44, the air flow meter ranges from 20-200 SCFH.	
<b>PRESSURE GAUGE</b>	The Pressure gauge is located above the air flow meter and ranges from 0-15 PSI. The Pressure gauge provides <b>BACK PRESSURE READING</b> .	
<b>PRESSURE REGULATOR</b>	Pressure Regulator is set at maximum 15 PSI at the factory. <b>DO NOT CHANGE SETTING.</b>	
<b>AUTOMATIC SENSORS</b>		
<b>LOCK-OUT DOOR SWITCH</b>	Door switch will shut off power supply when generator door is open or ajar.	
<b>INTERIOR AIR FLOW SWITCH</b>	Interior air flow switch shuts off power supply in the event oxygen or air feed line breaks. This sensor switch will not permit power flow to the P.C. board until oxygen or air is more than the minimum SCFH required for each model. See page 1 of the Owners Manual.	
<b>FUSE TYPES and SIZES</b>		
<b>MODEL</b>	<b>GENERAL FUSE</b>	<b>POWER SUPPLY BOARD</b>
O3-21, O3-22 O3-23, O3-24	<del>10</del> AMP Slow Blow	<del>10</del> Amp <del>Slow</del> Blow 7 " <del>F057</del>
O3-42, O3-43 O3-44	20 AMP Slow Blow	10 Amp Slow Blow on each module

## TROUBLE SHOOTING GUIDE FOR ALL MODELS

### DANGER HIGH VOLTAGE

DO NOT OPEN DOOR OF UNIT UNLESS POWER IS OFF.

ALL TROUBLE SHOOTING CAN BE DONE WITH THE DOOR CLOSED  
EXCEPT TO CHECK ON THE FUSE ON THE P.C. BOARD

SYMPTOM	POSSIBLE CAUSE
NO GREEN LIGHT WITH POWER SWITCH ON.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verify that plug is firmly in outlet.</li> <li>2. Check that power is on.</li> <li>3. Check Main fuse on the bottom of unit.</li> </ol>
RED LIGHT OFF BUT GREEN LIGHT ON	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Turn ozone output dial from 0-100.</li> <li>2. Check that the oxygen or dry air flow reads the minimum SCFH as indicated under the Requirements section of the Owner's Manual. The SCFH is shown on the Dwyer air flow meter located on the right exterior side of enclosure.</li> <li>3. Make sure unit is mounted in vertical position.</li> </ol>

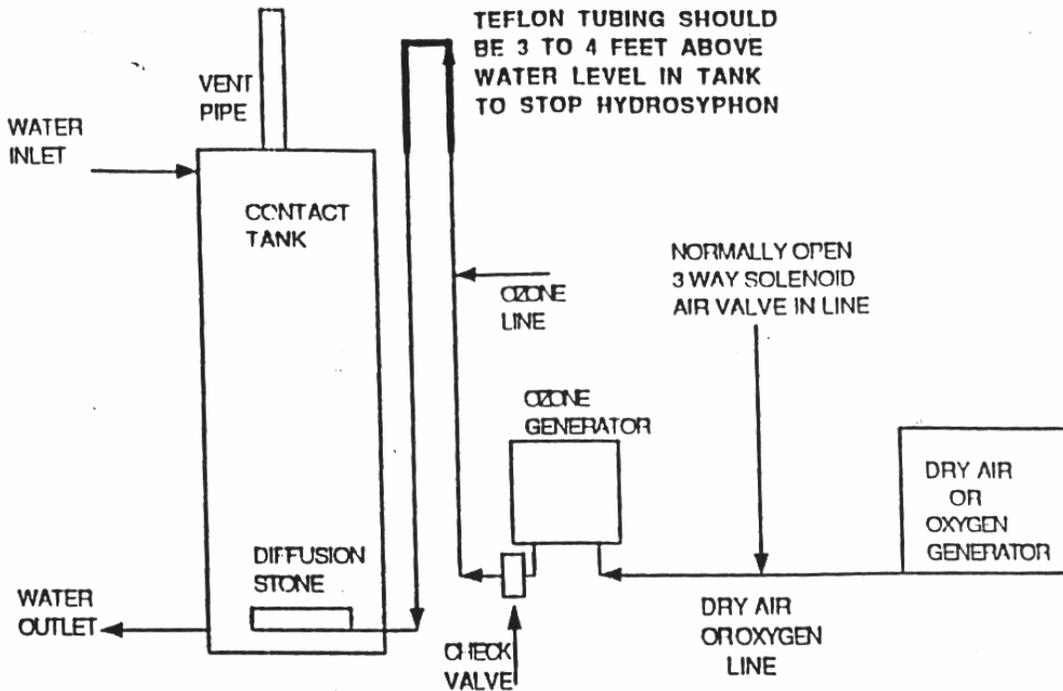
PLEASE CALL O3 ASSOCIATES IF YOU NEED HELP IN SETTING UP  
AND STARTING THE GENERATOR

REMEMBER: IT IS IMPORTANT TO HAVE AN AGGRESSIVE VENTING  
SYSTEM IF THE GENERATOR IS SET UP IN AN ENCLOSED AREA.  
OZONE IS A TOXIC GAS

#### CAUTION CAUTION CAUTION

- If you are using an inductor you must maintain a minimum 0.50 lb. PSI back pressure as shown on the 0-15 PSI round scale. Otherwise you will create a strong vacuum in the dielectric area that will damage the generator.
  
- If you aren't maintaining a minimum of 0.50 lb. PSI back pressure with the inductor, install either a 1/4" or 1/2" (316) stainless steel needle valve in the ozone outlet line after the ozone generator. This will provide the minimum 0.50 lb. PSI needed.

## RECOMMENDED INSTALLATION TO PREVENT WATER BACKUP INTO OZONE GENERATOR



Water system should be sized to allow a minimum of 6 minutes residence time in the Contact Tank. Contact Tank should be a minimum of 16" in diameter and a minimum of 8 ft. in height. The hydrostatic pressure of the water keeps the diffused Ozone bubbles small and permits a more efficient mix with the water.

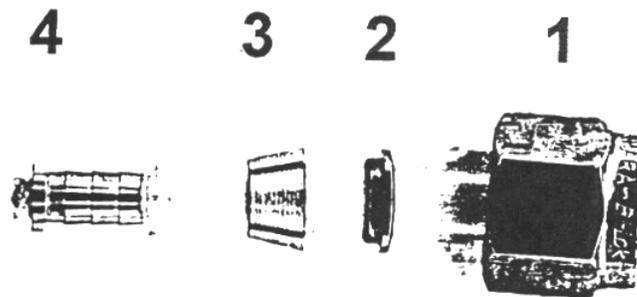
Ceramic or Stainless Diffusion Stone should be a minimum of 4" from the bottom of the Contact Tank. Counter flow contact between the water and ozone is the most efficient method of input.

**DO NOT CONNECT OZONE OUTLET TO ANY PRESSURIZED SYSTEM UNLESS SPECIAL PRECAUTIONS ARE TAKEN.**

1. The outlet tube from the Ozone Generator must have a suction from the venturi inductor.
2. At least 2 teflon Check Valves should be placed in the line BETWEEN the Generator and the INDUCTOR.

**IF WATER ENTERS THE DIELECTRIC CHAMBER, IT WILL SHORT OUT THE GENERATOR.**

## OZONE DISCHARGE COMPRESSION NUT ASSEMBLY



SLIDE THE COMPRESSION NUT # 1 ONTO THE 1/4" TUBE  
SLIDE ON THE SMALL FERRULE # 2 FLANGE END FIRST  
SLIDE ON THE COMPRESSION FERRULE # 3 LARGE END FIRST  
INSERT THE BARBED TUBE SUPPORT # 4 INTO THE END OF THE TUBE\*\*\*  
CONNECT TO BULKHEAD FITTING, TO PREVENT DAMAGE TO  
THE TUBE, TIGHTEN THE COMPRESSION NUT ONLY ENOUGH  
TO PREVENT AN OZONE LEAKAGE.

\*\*\* NOT REQUIRED FOR STAINLESS STEEL TUBING





MANUFACTURER OF OZONE GENERATORS  
FOR WATER & AIR TREATMENT

258 Yale Avenue, Kensington, California 94708  
Telephone: 510 524-3371 Fax: 510 524-9305

**OZONE OUTPUTS WITH OXYGEN FEED**

TOLERANCE PLUS OR MINUS 5%

VARIAC SETTING	LBS/DAY	GMS/HR.	CONCENTRATION
<b>O3-21</b>			
50	0.119	2.25	0.49
60	0.252	4.75	1.03
70	0.356	6.72	1.46
80	0.501	9.43	2.05
90	0.617	11.64	2.53
100	0.735	13.8	3.01
<b>O3-22</b>			
50	0.06	1.13	0.14
60	0.23	4.3	0.56
70	0.51	9.6	1.26
80	0.8	15.1	1.96
90	1.21	22.8	2.98
100	1.44	27.2	3.55
<b>O3-23</b>			
50	0.038	0.72	0.06
60	0.098	1.9	0.16
70	0.234	4.4	0.38
80	0.503	9.5	0.83
90	0.874	16.5	1.43
100	1.97	37.2	3.23
<b>O3-24</b>			
50	0.233	4.4	0.32
60	0.273	5.2	0.38
70	0.507	9.6	0.71
80	0.886	16.7	1.24
90	1.159	21.9	1.63
100	2.38	44.9	3.34



MANUFACTURER OF OZONE GENERATORS  
FOR WATER & AIR TREATMENT

258 Yale Avenue, Kensington, California 94708  
Telephone: 510 524-3371 Fax: 510 524-9305

DATE: Friday, November 7, 1997

TO: Dr. Pedro Patino ✓

COMPANY: Universidad Central de Venezuela Facultad de Ciencias  
Escuela de Quimica

FAX NUMBER: 011-582-6052136

FROM: David Waldman

Number of pages including cover page: 3

Model	Price
<b>03-21-</b>	<b>\$2000.00 USD Fob our Plant</b>

Price based on 110 Volts-60HZ There is an additional charge of \$ 230.00 for 220 Volt 50 HZ. If needed this is installed at our plant.

4.7 G/Hr output is produced with - 60 Degree dewpoint dry air or better as feed gas.

If oxygen is used as feed gas, output would be 11-13 G/Hr

Air freight ( UPS ) would be an additional \$ 600.90. This includes insurance.

Shipment Available in 5 Days from date of purchase order..

Terms- Cash transfer to my CITI BANK Account before shipment.

Warranty- One year from date of purchase under normal usage.

Sincerely,

David Waldman



MANUFACTURER OF OZONE GENERATORS  
FOR WATER & AIR TREATMENT

258 Yale Avenue, Kensington, California 94708  
Telephone: 510 524-3371 Fax: 510 524-9305

**SPECIFICATIONS**

Model	Plates	Feed Gas	SCFH	O <sub>3</sub> Output Lbs/Day	O <sub>3</sub> Concentration	Voltage	Hz	Amp
O3-21	1	oxygen	10	.73	3.01%	120	60	3.5
O3-22	2	oxygen	20	1.44	3.55%	120	60	5.0
O3-23	3	oxygen	30	1.97	3.23%	120	60	5.5
O3-24	4	oxygen	40	2.38	3.34%	120	60	6.0
O3-42	8	oxygen	80	4.05	3.00%	120	60	14.0
O3-43	12	oxygen	120	6.20	3.40%	120	60	16.0
O3-44	16	oxygen	160	8.10	3.00%	120	60	18.0

1. Use of oxygen as feed gas recommended for maximum ozone output and dependable service. Dry air with minimum minus 60 degree F. dew point may be used, but will reduce ozone production. Use of ambient air is not recommended.
2. Recommend oxygen or dry air feed at 10 SCFH per plate to obtain optimum operating efficiency.
3. Higher ozone concentrations can be obtained by reducing the feed gas flow.
4. Air pressure regulator set a factory at maximum 15 PSI for all models.
5. 220 Volts, 50 Hz available upon request (additional customization charge).

**DIMENSIONS AND WEIGHT**

Model	Height	Width	Depth	Weight
O3-21	18"	16"	9"	45 lbs.
O3-22	18"	16"	9"	47 lbs.
O3-23	18"	16"	10.75"	49 lbs
O3-24	18"	16"	10.76"	51 lbs.
O3-42	37"	32"	12"	160 lbs.
O3-43	37"	32"	12"	191 lbs.
O3-44	37"	32"	12"	210 lbs.