

# Factibilidad de la implementación de desinfección por ozono para la potabilización del agua en la planta de tratamiento potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga de la ciudad de Valencia, estado Carabobo

Tony M. Espinosa\*, Vanesa González

*Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Valencia-Venezuela.*

---

## Resumen.-

El proceso de potabilización consta de: pre-cloración, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y post-cloración, además de sistemas de inyección de carbón activado, cal y sulfato de aluminio. Debido al gran poder oxidante del ozono y la disminución en la formación de subproductos se propone su implementación como desinfectante. Se realizan diferentes dosificaciones de ozono y coagulante, así como pruebas de jarra, demandas de cloro, análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y THM's. Se obtiene un modelo que establece la relación de dosis de ozono con la demanda de cloro. Las dosis de ozono y coagulante que logran mayor desinfección son de 20010 y 60000 ppm respectivamente. El punto de aplicación que permite mayor grado de desinfección está a la salida del desarenador. A mayores alturas de aplicación mayor desinfección. Adicionalmente se disminuyen costos de operación y se recomienda desarrollar un estudio donde se realice la dosificación en dos puntos de aplicación simultáneamente.

**Palabras clave:** Desinfección, ozono, potabilización, coagulante

## Feasibility of the Implementation of Disinfection by Ozone for Water Potabilization in the Waterworks Processing Plant, Dr. Alejo Zuloaga of the City of Valencia, Carabobo

### Abstract.-

The process of potabilization is comprised of: pre-chlorination, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and post-chlorination, besides injection systems of activated coal, lime and sulphate of aluminum. The implementation of the ozone is proposed as a disinfectant due to great oxidizing power, besides the decrease of subproducts in the water. Different dosages of ozone and coagulant are carried out, as well as jar-test, chlorine demands, bacteriological, physicochemical analysis and THM's. A model is obtained that establishes the ozone dose relation with the chlorine demand. The dose of ozone and coagulant that achieve greater disinfection they are of 20,010 and 60,000 ppm respectively. The point of application that permits greater degree of disinfection is on the output of the sand trap. To greater heights of greater application disinfection. Costs of operation are diminished and it is recommended to develop a study where be carried out the dosage in two points of application simultaneously.

**Keywords:** Disinfection, ozone, potabilization, coagulant

### 1. Introducción

C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO (Hidrocentro) es la empresa responsable de la prestación integral del servicio de agua potable y saneamiento en armonía con el ambiente, y en procura de la calidad de vida en los estados Aragua, Carabobo y Cojedes. La empresa, siempre en búsqueda de mejoras continuas para la generación de un servicio de alta calidad, se propone

realizar la implementación del sistema en estudio, utilizando como referencias, la experiencia de los sistemas de dosificación de ozono utilizados en plantas europeas. Con el aumento de la población mundial se produce una mayor demanda de agua y alimentos pero también el que seamos cada vez más en este planeta trae consigo un aumento de la contaminación de los recursos disponibles. El agua utilizada por el hombre con fines domésticos, industriales y agrícolas vuelve a los cauces de los ríos y a los lagos con una carga de contaminantes físicos, químicos y biológicos, entre ellos los microorganismos, en una cantidad

---

\*Autor para correspondencia

Correos-e: tony\_paz@hotmail.com (Tony M. Espinosa),  
vanesita83@hotmail.com (Vanesa Gonzalez)

considerable. Los nuevos reglamentos a nivel mundial para la calidad del agua potable, en particular la preocupación por los subproductos de la desinfección, como los trihalometanos, hacen que el uso del cloro ya no sea una opción. Además, la inactivación de virus y otros microorganismos como el *Cryptosporidium* requeriría altas dosis de cloro que causarían mayores concentraciones de subproductos. Por consiguiente, la elección ideal es un desinfectante potente con bajos niveles de subproductos. Comparado con otros desinfectantes como el cloro, la cloramina y el dióxido de cloro, el ozono es el desinfectante más potente y también el de más rápida acción. Aunque el ozono se conoce y usa en el tratamiento del agua desde hace más de 100 años, su empleo como desinfectante en la industria del agua no está muy difundido. Las estadísticas no son muy confiables, pero probablemente lo usan menos de 1 por ciento de las plantas de tratamiento de agua en el mundo. La investigación se divide principalmente en 6 etapas, donde inicialmente se requiere realizar un diagnóstico del proceso en general, para así generar una(s) alternativa(s) que permitan mejorar las características y propiedades del servicio a prestar, seguidamente se realizan estudios acerca de la alternativa en cuestión para continuar con un análisis de las variables involucradas en el proceso y poder establecer las mejores condiciones de las mismas. Para culminar se requiere un análisis económico que permita determinar la rentabilidad del proyecto, haciendo uso de la relación costo-beneficio entre el sistema que opera actualmente en la planta y la alternativa generada[1]. El propósito de este proyecto de investigación, tiene un aporte invaluable, ya que pretende incrementar aspectos como la calidad del servicio, calidad de vida de los usuarios y a su vez disminuir impactos ambientales.

## 2. Metodología

### 2.1. Diagnóstico de las etapas del proceso de tratamiento en la planta

En esta fase se realizan una serie de recorridos y evaluaciones en las diferentes etapas que constituyen el proceso de tratamiento de agua en la planta Alejo Zuloaga, efectuando inspecciones que permitan desarrollar observaciones de las debilidades y los potenciales puntos de interés. Posteriormente se realiza una tormenta de ideas para facilitar la elaboración del diagrama causa-efecto, exponiendo las causas relevantes y de mayor efecto en el reconocimiento e

identificación de las áreas con carencias en el proceso de desinfección.

### 2.2. Modelo matemático que más se ajuste al comportamiento de las variables estudiadas en relación a la dosis de ozono aplicada

Se realizan ensayos de jarro con diversas dosis de reactivos, con lo que se construirán las curvas representativas del ensayo y establecer el modelo matemático. Se seleccionaron los rangos de concentración a ser dosificados para cada una de las sustancias a ser estudiadas, para el caso de Sulfato de Aluminio, el criterio utilizado para las dosis a estudiar son las aplicadas históricamente en la planta, tomando en cuenta máximos y mínimos, variación de uno de los reactivos a la vez en cada ensayo e intervalos lo suficientemente significativos como para observar las variaciones entre los jarros en cuestión y obtener muestras representativas y confiables. Para el caso del ozono, las dosis que se aplicarán serán calculadas en función del tiempo, debido a que el equipo disponible para la dosificación del mismo produce flujo constante y no regulable. La demanda de cloro lleva a cabo mediante el método DPD[2]. Se debe representar gráficamente el comportamiento del poder desinfectante del ozono en función de la dosis aplicada, a través de las demandas de cloro realizadas a lo largo de los diferentes experimentos, donde será necesario para cada dosis de ozono aplicada, determinar la variación de la demanda de cloro de del sistema actual y poder realizar las gráficas correspondientes.

#### 2.2.1. Dosis de ozono y coagulante

Se deben realizar una serie de pruebas y ensayos al agua previamente ozonizada con las dosis establecidas, tales pruebas comprenden todos los ensayos y análisis tales como: demanda de cloro, ensayo de jarras, construcción de gráficas de demanda de cloro, luego de realizadas dichas pruebas, se procede al análisis del modelo matemático obtenido en el objetivo anterior y seguidamente la generación de una matriz de selección. La selección de la dosis a utilizar dependerá del grado de desinfección del ozono, capacidad de remoción de materia orgánica, formación de subproductos indeseados, propiedades fisicoquímicas, propiedades organolépticas, espacio físico disponible para la construcción del tanque de ozonificación y de los costos asociados.

### 2.3. *Punto de aplicación de ozono, para lograr mayor efectividad en la desinfección en el sistema convencional*

La metodología a aplicar corresponde al mismo planteamiento anterior, tomando en cuenta el espacio físico disponible en la planta, la capacidad de aplicación dentro del proceso existente y la posibilidad de ejecución de las pruebas y ensayos a escala piloto, por lo que se escogen los puntos a la salida del desarenador y a la salida del sedimentador como puntos de estudio, con la finalidad de lograr la mayor efectividad en la desinfección en el sistema convencional.

### 2.4. *Altura del tanque de ozonización para obtener el mayor grado desinfección*

Se requiere realizar ensayos a diferentes niveles de altura, ozonizando al agua cruda en cada prueba para luego obtener las muestras correspondientes y el posterior estudio de las pruebas fisicoquímicas y bacteriológicas.

### 2.5. *Evaluación técnica y económica de las propuestas, con el fin de comprobar su factibilidad*

Se realiza una estimación de la factibilidad económica para la implementación del proceso de desinfección con ozono, a través de los modelos de cálculos financieros. Es necesario determinar la relación costo-beneficio como elemento para la obtención de la rentabilidad del proyecto, debido a la naturaleza del mismo (empresa sin fines de lucro), por lo que posee objetivos diferentes a una empresa privada [3].

## 3. **Análisis y discusión de resultados**

### 3.1. *Diagnóstico y evaluación del sistema*

En cuanto a los equipos que se encontraban operando en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, arrastraban un largo período de uso y desgaste; sin embargo la mayoría de los equipos trabajan con una regularidad sin presentar fallos muy aceptable, con la excepción que se originaba cuando ocurrían fallas en algunos de los evaporadores de cloro, requiriendo paradas del equipo para su reparación, la calidad del producto se ve muy afectada y fue necesario realizar ajustes apresurados, debido a la gran cantidad de cloro necesaria para cubrir la demanda y garantizar la calidad del agua.

Referido a las condiciones del medio ambiente, éstas afectaron el proceso cuando se dieron las precipitaciones, que remueven el lecho fangoso del embalse, lo

que genera que el agua cruda llegara a la planta con mayores concentraciones de materia orgánica, arena, y otro tipo de residuos, generando mayor cantidad de lodo y un menor tiempo útil de los filtros. Las situaciones anteriormente mencionadas debieron ser controladas mediante el lavado más seguido de los filtros, y un barrido más continuo de los lodos en el sedimentador.

El uso de cloro como desinfectante es un método muy utilizado en todo el mundo para la potabilización de agua, esto se debe a su bajo costo y relativa facilidad de manejo y tiempo residual, sin embargo en la actualidad se ha comprobado la generación de subproductos nocivos para la salud durante el proceso de desinfección, entre los cuales están los trihalometanos que son generados en reacciones secundarias con la materia orgánica y se han comprobado como cancerígenos. En la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga se obtienen como subproductos indeseados de la reacción una cantidad de trihalometanos que aunque se encuentran dentro de los niveles previstos por las regulaciones legales, son un posible factor en el aumento del cáncer en el estomago y colon en la población. Este tipo de desinfección se utiliza para los dos sistemas de potabilización presentes en la planta Dr. Alejo Zuloaga (Degremont y Convencional); donde la materia prima del proceso es el agua cruda proveniente del embalse Pao-Cachinche, la cual varía sus condiciones dependiendo de diversos factores como la pluviosidad o sequía, la temperatura entre otros; todos estos factores no pueden ser controlados por tal razón a pesar de ser una posible causa no pueden ser tomados en cuenta sino como fluctuaciones del sistema.

### 3.2. *Modelo matemático que relacione el comportamiento de las variables estudiadas en relación a la dosis de ozono aplicada*

La cantidad de cloro que se debe adicionar al agua viene dada por la demanda de cloro, la cual se traduce en la cantidad de desinfectante necesaria para oxidar toda la materia orgánica presente y cumplir con el requerimiento estipulado de cloro libre que es 1,5 ppm. El cloro combinado como su nombre lo dice, se refiere a la cantidad que se encuentra combinado con la materia orgánica. El cloro libre se refiere a la cantidad que se encuentra en forma libre en el agua y es este el que hará el poder desinfectante residual, siendo el cloro total la suma del cloro combinado más el cloro libre. El resultado será una curva en la cual el punto de inflexión indica la dosis a la cual se satisface la demanda y

luego en la curva del cloro libre se interpola el valor de la dosis (mayor a la demanda), donde se alcanza el valor de cloro libre igual 1,5 ppm; lo cual se denomina requerimiento (Figura 1) [4].

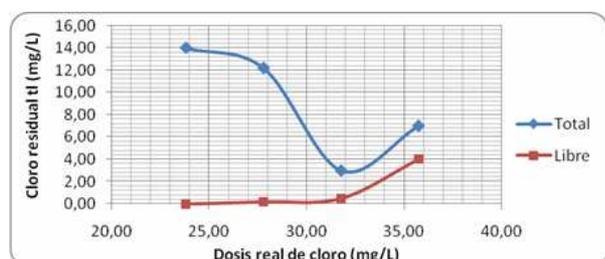


Figura 1: Demanda de cloro para el agua curda del sistema convencional

Los estudios bacteriólogos no nos indica una clara relación entre la dosis de ozono aplicada y la disminución de los coliformes presentes, ya que para cada una de las dosis aplicadas los valores obtenidos fueron cercanos a cero. Los niveles de trihalometanos son otro factor importante en este estudio, ya que se ha comprobado que el cloro produce reacciones secundarias con la materia orgánica formando subproductos de reacción que se han comprobado como cancerígenos para el hombre a partir de ciertas dosis. Se escogió la demanda de cloro como en indicador a tomar en cuenta para la determinación del modelo matemático por el cual se determinará la dosis de ozono (Figura 2). Se muestra un comportamiento ascendente a medida que se aumenta la dosis llegando a un máximo en los 20010 ppm de ozono, punto en el cual comienza un descenso abrupto que se mantiene constante si cambio de tendencia.

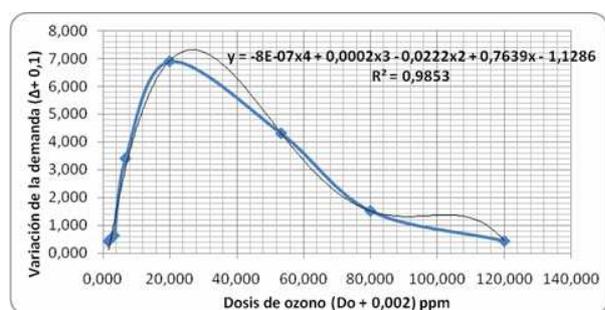


Figura 2: Delta del requerimiento de cloro en función de la dosis de ozono aplicada

El modelo que se obtuvo de la grafica anterior responde a la siguiente ecuación:

$$\Delta_{\text{Demanda}} = -8E^{-07} \cdot D_o^4 + 0,0002 \cdot D_o^3 - 0,0222 \cdot D_o^2 + 0,7639 \cdot D_o - 1,1286 \quad (1)$$

### 3.3. Dosis de ozono y coagulante

Se sabe que el ozono tiene un tiempo residual en el agua de aproximadamente 20 minutos (dependiendo de la temperatura y otros factores), en base a esto y al espacio físico disponible en la planta para la construcción del tanque de ozonización como se mencionó anteriormente, los tiempos de aplicación se estipularon en 5, 10 y 15 minutos [5]. Se desea que la demanda de cloro disminuya lo máximo posible, indicando que el ozono ha oxidado gran parte de la materia orgánica, traduciéndose en una menor cantidad de cloro necesario, disminuyendo los costos asociados al cloro gaseoso y los riesgos de formación de subproductos indeseados entre el cloro y la materia orgánica.

Para la dosis de 20010 ppm se observó que el requerimiento de cloro disminuyó en 68978 ppm, lo que confirma la hipótesis de que aumentando la dosis de ozono y manteniendo el tiempo de contacto se pueden obtener un el grado de desinfección deseado. En el estudio de demanda de cloro anterior se comprobó que el tiempo de retención estipulado en 15 minutos permite alcanzar un mayor grado de desinfección, en comparación con los tiempos menores de contacto. Para lograr el tiempo de contacto deseado se precisa la construcción de un tanque de ozonización de un volumen de  $2700 m^3$ , este valor se obtiene en base al caudal que opera el sistema convencional (aproximadamente  $3000 \frac{L}{s}$ ) y el tiempo estipulado. Los niveles más bajos obtenidos en los mejores jarros se lograron con una dosis de coagulante de 60 ppm, reportando un descenso de 10 ppm en comparación con el uso del cloro.

### 3.4. Punto de aplicación de ozono

Se establecieron dos puntos de aplicación, siendo el primero a la salida del desarenador como segundo punto a la salida del sedimentador. Mediante una comparación entre los resultados obtenidos en el punto de aplicación 1 y el punto de aplicación 2, se puede observar que existe una gran diferencia en los valores arrojados, alcanzando mejores resultados para el punto de aplicación 1 en todos los análisis a nivel bacteriológico y de THM, para el caso de la ozonización intermedia existe una disminución de la materia orgánica, sin embargo esta disminución no es suficiente para alcanzar los niveles más bajos de bacterias en las muestras (Tabla 1); con respecto a los análisis fisicoquímicos, estos no presentan cambios significativos que permitan concluir en cuanto al punto de aplicación. Para las pruebas relacionadas a

demanda química y demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno, fósforo y carga orgánica total, se establece una importante diferencia, observándose una amplia variación entre los resultados obtenidos para el punto 1 y para el punto 2.

Tabla 1: Análisis bacteriológicos y de THM's para las dosis de ozono estudiadas, Dosis ozono:  $Do \pm 0,002$  ppm

Dosis ozono	Bacteriología Coliformes totales/100 ml	TRIHALOMETANOS (THM $\pm 0,01$ ) ( $\mu\text{g/L}$ )			
		$CHCL_3$	$CHCL_2Br$	$CHCLBr_2$	$CHBr_3$
1.700	1.1	-	-	-	-
3.400	1.1	7.73	0.13	ND	ND
20.000	1.1	7.54	0.10	ND	ND
53.360	1.1	7.91	0.14	ND	ND

Es de gran importancia especificar (Tabla 2) que los valores arrojados en el punto de aplicación 2 no se encuentran dentro de los rangos establecidos y permitidos por las normativas correspondientes, por lo que a nivel técnico este punto de aplicación por sí solo no corresponde una opción válida, ya que es prioritario ante cualquier otro aspecto, que los valores se ajusten a los parámetros de calidad [6]. En el punto de aplicación 1 se ven favorecidos ciertos aspectos como la eliminación de microorganismos, vertiginosa disminución de olor y color y principalmente se obtiene un mayor grado de desinfección, siendo este elemento el de mayor relevancia dentro de los parámetros analizados.

### 3.5. Altura del tanque de ozonización

Según estudios previos en cuanto al grado de desinfección del ozono a diferentes alturas de aplicación, se ha comprobado que a mayor altura se obtienen mejores resultados, asimismo han determinado que la altura máxima para la aplicación es de aproximadamente 6,0 m., para alturas mayores a ésta el poder del ozono disminuye evitando así que se puedan obtener mejores resultados [5]. A partir de una observación preliminar, las propiedades organolépticas del agua ozonizada para todas las alturas mejoraron respecto al agua cruda, por lo que se verifica la acción del ozono frente a las propiedades de olor y color. Dicha mejora se debe a las características que presenta el ozono en cuanto a la oxidación de la materia orgánica, metales pesados, sulfuros y sustancias extrañas, produciendo la supresión de sabores y olores extraños que el agua pudiera contener, proporcionando una mejora en la calidad y el aspecto. Sin embargo, no fueron observadas diferencias significativas en cuanto a estas propiedades entre las alturas en estudio, por lo que fue requerido

desarrollar pruebas y análisis bacteriológicos y de trihalometanos para lograr establecer una conclusión al respecto. Básicamente, el efecto que posee la altura de aplicación sobre la desinfección, deriva del tiempo de contacto del ozono sobre el agua y su capacidad de destrucción de microorganismos contaminantes, por lo que, a mayor altura de aplicación, mayor tiempo de contacto y por consiguiente hay una disminución significativa de la concentración de agentes bacterianos.

### 3.6. Estudio de la factibilidad de las propuestas

La rentabilidad se estudia por medio del cálculo del ahorro que se obtiene con la implementación del sistema de dosificación de ozono como desinfectante en cuanto a la materia prima requerida, cantidad de reactivos (cloro gaseoso como desinfectante, sulfato de aluminio como coagulante), pruebas y ensayos a realizar y la obtención de una mejor calidad del agua, siendo necesario acudir a una relación costo-beneficio como modelo para expresar el atractivo económico, y es sobre esta base de comparación que se presentan los criterios para seleccionar la mejor alternativa. Se caracteriza por tener dos partes interesadas en la inversión y sus resultados: beneficios a los usuarios y costos al Estado [3]. Principalmente, la disminución de costos al Estado en relación a la dosificación de ozono, viene dada por el ahorro proveniente de la reducción del cloro empleado (alrededor de un 18%), lo que implica una disminución en los costos de producción, ya que el ozono como reactivo y/o aditivo no genera costo alguno. El principal costo asociado a la dosificación de ozono se genera debido a la inversión inicial necesaria para su implementación, siendo ésta de \$ 17033546,41, y en costos de producción relacionados al consumo eléctrico requerido por los generadores de ozono.

Mediante una relación entre las dos alternativas estudiadas y tomando en cuenta las consideraciones en cuanto a los beneficios a los usuarios, asumiendo que poseen un mismo valor, se obtiene que la Alternativa que consiste en la dosificación de ozono como desinfectante para la potabilización en la planta de tratamiento potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga es de mayor rentabilidad en el horizonte económico estudiado, que el sistema actual de desinfección donde sólo se utiliza cloro como desinfectante del agua.

El valor obtenido de la relación entre los costos de la desinfección con cloro frente a los costos de la desinfección con ozono y cloro es de 0,953, valor menor a uno (1), por lo que se establece la rentabilidad del proyecto frente al sistema actual que

Tabla 2: Resultados de los diversos análisis en los puntos de aplicación de ozono, Dosis ozono: Do±0,002) ppm

Punto	Dosis ozono	Bacteriología		TRIHALOMETANOS (THM ± 0,01) (µg/L)				Aguas servidas				
		Coliformes totales/100 ml	CHCL <sub>3</sub>	CHCL <sub>2</sub> Br	CHCLBr <sub>2</sub>	CHBr <sub>3</sub>	pH	D.B.O	Fósforo total	Nitrógeno Amoniacal	D.Q.O	C.O.T
1	1.700	1.1	-	-	-	-	6.93	0.64	0.000	1.369	28	12.5
	3.400	1.1	7.73	0.13	ND	ND	6.74	0.00	0.000	0.417	5	3.3
	20.000	1.1	7.54	0.10	ND	ND	5.73	2.7	0.007	0.014	0	0.0
	53.360	1.1	7.91	0.14	ND	ND	6.48	0.61	0.025	0.065	5	6.3
2	10.000	33.0	10.13	0.17	ND	ND	7.34	4.28	0.572	1.846	0	6.9
	20.000	130.0	9.92	0.16	ND	ND	7.66	5.40	0.517	1.834	0	10.1
	30.000	49.0	9.79	0.16	ND	ND	7.73	4.92	0.425	1.761	0	10.2
	40.000	49.0	9.75	0.15	ND	ND	7.82	4.60	0.566	1.846	1	0.0
	50.000	33.0	9.76	0.15	ND	ND	7.76	3.30	0.431	1.839	0	10.9

Tabla 3: Relación entre los costos para las alternativas en estudio

Costos \$		Relación 1-2
Alternativa Cloro (1)	Alternativa Ozono (2)	
448100994.74	427150244.09	0.953

presenta la planta Dr. Alejo Zuloaga. Si bien es cierto que la alternativa que se propone de implementar ozono como desinfectante ofrece una rentabilidad frente al sistema actual de desinfección con cloro, el principal objetivo que se logra es el bienestar social, generado por mejoras en los servicios que presta la empresa a la población de los estados Carabobo, Cojedes y Aragua. La disminución de THM's y niveles bacteriológicos mediante la aplicación de ozono genera mejoras incuantificables en cuanto a la calidad de vida de los usuarios, aspecto que establece la indiscutible rentabilidad del presente proyecto; disminuciones en cuanto el desarrollo de enfermedades tales como cáncer de colon, estomacal y próstata entre otras enfermedades de alto grado de peligrosidad, conciben la aplicación de esta alternativa.

#### 4. Conclusiones

- Los sistemas de cloración convencional pueden producir subproductos nocivos para la salud.
- El modelo que más se ajusta al comportamiento de las variables estudiadas está representada por la Ec. 1.
- La dosis de ozono para la cual se logra mayor capacidad de desinfección es de 20010 ppm.
- La dosis de coagulante para la cual se logra mayor capacidad de desinfección es de 60000 ppm.

- El tiempo retención en el tanque de ozonización donde se logra la mayor capacidad de desinfección es de 15 minutos.
- La dosificación de ozono a la salida del sedimentador, no disminuye la concentración de bacterias hasta el valor deseado
- Los valores en el punto de dosificación a la salida del desarenador están dentro de los rangos permitidos.
- En el punto de aplicación a la salida del desarenador el ozono tiene mayor poder desinfectante.
- Para mayores alturas de aplicación de ozono se obtiene mayor grado de desinfección.
- A mayor tiempo de contacto mejor poder desinfectante.
- La relación de costos entre las alternativas evaluadas para la desinfección del agua en la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga es de 0,953.
- La propuesta de implementación de la desinfección con ozono es rentable respecto al sistema actual de potabilización.
- El principal objetivo de la implementación de la dosificación de ozono es el beneficio a los usuarios, reflejado en la calidad del servicio.

#### Referencias

- Arboleda J. (2000). «Teoría y práctica de la purificación del agua». Editorial Mc Graw Hill. Bogotá, Colombia.
- Aldazoro M. (2000). «Aplicaciones del ozono en agua». España.
- American Water Works Association. (2002). «Calidad y tratamiento del agua». Editorial McGraw Hill. México.

- [4] Gaceta Oficial de la República de Venezuela. N° 36.365. Año CXXIII, Mes III (1995). «Normas sanitarias de calidad del agua potable». Caracas.
- [5] Gaceta Oficial Extraordinaria de la República de Venezuela. N° 5.021. Año CXXV, Mes V (1998). «Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos». Caracas.
- [6] Giugni L., Ettegui C., Gonzalez I., Guerra M. (1997). «Evaluación de proyectos de inversión». Universidad de Carabobo. Venezuela.
- [7] Kemmer F., McCallion J. (1989). «Manual del agua- Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones». Editorial Mc Graw Hill Interamericana. México.
- [8] Sarmiento A., Rojas M., Medina E., Olivet C., Casanova J. (2003). «Investigación de trihalometanos en agua potable del Estado Carabobo, Venezuela». Gac Sanit [Revista en línea]. Disponible: <http://www.cielo.isciii.es/scielo.php>. [Consulta: 2007, enero 11].