



ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

*No. 19 Julio - Diciembre 2020*

# *Revista Tecnocientífica URU*



**U**niversidad **R**afael **U**rdaneta

**Revista Tecnocientífica URU.**

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

**Universidad Rafael Urdaneta**

Av. 2 c/Calle 86, entrada Sur del Parque Vereda del Lago,

Maracaibo, Venezuela. Teléf. (58) (261) - 2000887, Fax (58)(261) 2000868.

Web: <https://uru.edu>

2020© Los Autores.

De esta edición: Universidad Rafael Urdaneta, Fondo Editorial Biblioteca.  
Maracaibo, Venezuela.



Web Tecnocientífica URU: <http://uruojs.insiemper.com/ojs/index.php/tc/index>

Web de Revista Arbitradas URU: <http://uruojs.insiemper.com/ojs/index.php/index>

Teléfono: (58) (261) - 2000887, Fax (58)(261) 2000868.

Correo Electrónico: [revistatecnocientificauru@gmail.com](mailto:revistatecnocientificauru@gmail.com)



Los contenidos están bajo una licencia *Atribución-Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY-SA 3.0 VE)*. Esta licencia permite que los contenidos de los artículos de *Revista Tecnocientífica URU*, se puedan copiar y redistribuir en cualquier medio y formato, así como su adaptación (remezclando, transformando o construyendo a partir del material) para cualquier propósito, incluso para un uso comercial. En cualquier caso, el usuario que utilice sus contenidos debe citar de forma adecuada, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Los términos de la licencia se encuentran disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/ve/>

## **Revista Tecnocientífica URU**

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

### **Comité Editorial**

Profesor Jubert Pérez  
Profesor Sergio de Pool  
Profesores Edixon Gutiérrez  
Profesora Jhanna Brieva

Profesora Arelis Arrieta  
Profesora Russet Riquelme  
Profesor Alfredo Villalobos  
Profesora Jenny Márquez

Profesor Cezar García  
Editor – Jefe (E)

### **Comité de Asesores**

MSc. Oscar Urdaneta (Venezuela)  
Dr. Shyam Kalla (India)  
Dr. Cezar García (Venezuela)  
Dr. José Sarabia (Venezuela)  
Dr. José Rincón (Venezuela)  
MSc. Zulay Mármol (Venezuela)  
Dra. Cateryna Aiello (Venezuela)  
Dra. Elba Michelena (Panamá)  
Dr. Rafael Aracil (España)  
MSc. Salvador Conde (Venezuela)  
Dr. Ever Morales (Ecuador)  
Dra. Nola Fernández (Venezuela)  
Dr. Helí Lugo (Venezuela)  
Dr. Ras Patnaik (Estados Unidos)  
Dr. Gerardo Aldana (Venezuela)  
Dra. Susana Salinas (Estados Unidos)  
MSc. Lenin Herrera (Venezuela)  
Dra. Laugeny Díaz (Venezuela)

Dra. Anali Machado (Canadá)  
MSc. Ramón Cadenas (Venezuela)  
Dr. Maulio Rodríguez (Venezuela)  
Dr. Katsuyuki Nishimoto (Japón)  
Mgs. Waldo urribarri (Chile)  
Dra. Yaxcelys Caldera (Venezuela)  
Dra. Oladis de Rincón (Venezuela)  
Dr. Nelson Márquez (Venezuela)  
Dr. Ramón Cova (Canadá)  
Dr. Mourad E.H. Ismail (Estados Unidos)  
Dra. Marinela Colina (Venezuela)  
Dr. Freddy Isambert (Venezuela)  
Dr. Miguel Sánchez (Venezuela)  
Dr. Jorge Barrientos (Venezuela)  
Dr. Ernesto Cornieles (Venezuela)  
MSc. Augusto Galo (Venezuela)  
MSc. Nerio Villalobos (Venezuela)

### **Comité de Técnico**

Esp. *Hosglas Sanchez*, Coordinadora Editorial  
Lcda. *Liliana Gonzalez*, Asistente Editorial  
*Mibsay Contreras*, Diseño y Maquetación

Br. *Unarlis Martínez*, Auxiliar  
Br. *Maria Jose García*, Auxiliar  
Br. *Lexibeth Díaz*, Auxiliar

**Revista Tecnocientífica URU** es un instrumento de divulgación científica adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista arbitrada con periodicidad semestral, contentiva de artículos científicos originales no publicados en las áreas de Ingeniería y Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con éstas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación.

**La Revista Tecnocientífica URU** está indizada en el Índice y Biblioteca Electrónica de Revistas Venezolanas de Ciencia y Tecnología REVENCYT (Código RVR-070)

# **Universidad Rafael Urdaneta**

Dr. Jesús Esparza Bracho, Rector  
Ing. Maulio Rodríguez, Vicerrector Académico  
Ing. Salvador Conde, Secretario

Ing. Oscar Urdaneta  
Decano de la Facultad de Ingeniería

Ing. Rómulo Rincón  
Decano (E) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ing. Jubert Pérez Zabala  
Director de la Escuela de Ingeniería en Computación

Ing. Nancy Urdaneta  
Directora de la Escuela de Ingeniería Civil

Ing. Arnaldo Largo  
Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Ing. Cezar García  
Director de la Escuela de Ingeniería Química

Ing. Ana Irene Rivas  
Directora de la Escuela de Ingeniería Industrial

Ing. Gilberto Araujo  
Director de la Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones

Arq. María Medina  
Directora de la Escuela de Arquitectura

## Contenido

### Artículos

Sistema de tratamiento de agua proveniente del Lago de Maracaibo para su utilización como agua para calderas.

**Water treatment system from Lake Maracaibo to use it as boiler feedwater.**

*Vanessa Belzares, Tomas Silva y Arelis Arrieta.*

8

Desarrollo de un marco de trabajo con node.js basado en componentes para el manejo de solicitudes a objetos de negocio embebidos en el backend.

**Development of a component-based framework in node.js for the management of requests to business objects embedded in the backend.**

*Andrés Mármol y Jubert Perez.*

21

Análisis del efecto del oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado.

**Analysis of the effect of waves produced by earthquake in the design of elevated circular metallic tank.**

*Nelson Moran y Ernesto Velásquez.*

29

Efectividad de la lixiviación ácida en la remoción de azufre inorgánico de carbones minerales.

**Effectiveness of acid leaching in the removal of inorganic sulfur from mineral coals.**

*Rita Fereira, Fabiangel Pulgar, José González y Juan Hernández.*

66

Determinación del rendimiento y calidad del colágeno obtenido de las escamas de la especie pomadasys incisus(roncador) proveniente del Lago de Maracaibo.

**Determination of the performance and quality of the collagen obtained from the scales of the species pomadasys incisus (roncador) from Maracaibo Lake.**

*Genesis Jaimes, Waldo Urribarri y Gladys Quevedo.*

77

Efecto de la sustitución de arena por oil fly ash en las propiedades Marshall de una mezcla asfáltica caliente tipo III.

**Effect of the substitution of sand by oil fly ash on the Marshall properties of a hot asphalt mixture type III.**

*Victoria Valera, Luis Romero, Cezar García y Gabriela Carruyo.*

84

Normas para la presentación de artículos

93

Guidelines for Submitting Articles

96

# Sistema de tratamiento de agua proveniente del Lago de Maracaibo para su utilización como agua para calderas

Vanessa Belzares, Tomas Silva y Arrieta Arelis

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.  
Maracaibo, Venezuela.

Correo electrónico: [belzares.vanessa@gmail.com](mailto:belzares.vanessa@gmail.com), [tomasfsilvam@gmail.com](mailto:tomasfsilvam@gmail.com) y [ingarelisarrieta@gmail.com](mailto:ingarelisarrieta@gmail.com)

Recibido: 21-01-2020 Aceptado: 09-07-2020

## Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad proponer un sistema de tratamiento para el agua proveniente del Lago de Maracaibo a fin de utilizarse como agua para calderas. El proceso investigativo fue de tipo descriptivo con diseño experimental y documental, empleando la observación estructural y documental. Para la realización de esta investigación, se procedió a la caracterización de la muestra de estudio. Conforme a lo obtenido, se diseñó un sistema de tratamiento al agua del Lago de Maracaibo para emplearla como agua de alimentación para calderas y adquirir un agua de alta calidad. Este diseño se realizó en base a las etapas típicas de un tratamiento de agua, también se sugirió el orden secuencial y los equipos necesarios para el mismo. Los resultados indicaron que el agua proveniente del Lago de Maracaibo requiere de una serie de etapas de tratamiento para lograr que esta cumpla con lo estipulado en la norma BS 2486:1997.

**Palabras clave:** Agua, caracterización, tratamiento, caldera, diseño.

## Water treatment system from Lake Maracaibo to use it as boiler feedwater

### Abstract

The objective of this study was to propose a water treatment system from Lake Maracaibo for use as boiler water. The research process was descriptive with experimental and documentary design, using structural and documentary observation. For the realization of this investigation, the study sample went into the process of characterization. According to the results, proceeded to perform a water treatment system of Lake Maracaibo for feedwater for boilers to acquire high quality water. This design created based on the typical stages of a water treatment; also were suggested the sequential order and the necessary equipment for it. The results indicated that water from Lake Maracaibo requires a series of treatment stages to ensure that it complies with the provisions of BS 2486: 1997.

**Key words:** Water, characterization, treatment, boiler, design.

### Introducción

El agua es el solvente universal más utilizado en procesos industriales debido a su bajo costo y fácil acceso, y a su vez por su calor específico, ya que almacena y absorbe gran cantidad de calor, actuando como un termorregulador. En la práctica esta es empleada para la generación de vapor, agua de enfriamiento, producción de materia prima, así como para el mantenimiento de los equipos. Cabe resaltar que previo al uso de esta en dichos procesos industriales esta debe ser sometida a un pretratamiento para asegurar que cumpla con los estándares de calidad necesarios y así certificar la eficiencia del proceso y buen funcionamiento de los equipos.

Uno de los factores claves para determinar el tratamiento adecuado al que debe ser sometido el agua es la fuente de origen de la misma, dependiendo de esto, el agua contiene diferentes cantidades de impurezas y de igual forma, esta se ve afectada por el contacto con la atmósfera y el suelo. El agua de

alimentación a ser empleada a las calderas es agua proveniente del Lago de Maracaibo, la cual por ser de origen natural puede tener un elevado contenido de sólidos disueltos, líquidos no mezclados con aguas (por ejemplo aceite), bacterias, colorantes y otros microorganismos, sustancias semi-coloidales y sales minerales disueltas. Por lo tanto, es necesario evaluar el contenido de estas variables para posteriormente tratarla de acuerdo a lo recomendado en la norma BS 2486:1997 [1].

En concordancia con lo establecido por Oelker *et al.*, [2], el tratamiento previo del agua tiene un efecto en la operación eficiente y confiable de los sistemas industriales de generación de vapor. Una de las principales consecuencias que ocasiona el inadecuado tratamiento del agua es el ensuciamiento del sistema el cual puede llegar a generar un tiempo de inactividad no programado, la pérdida de producción y el desperdicio de energía. Por consiguiente, una comprensión básica del tratamiento del agua es esencial para cualquier proceso de tratamiento de agua interno exitoso.

Por lo antes expuesto, el objetivo de la investigación es caracterizar la muestra de agua del Lago de Maracaibo, para luego identificar los procedimientos de ajuste de parámetros para la adaptación de propiedades necesarias en la entrada a las calderas. Para así diseñar un sistema de tratamiento al agua adecuado para calderas, siendo el aporte práctico el que puede generar un nuevo instrumento para la recolección y análisis de datos. Asimismo, el aporte científico se refleja en la adaptación de procesos comúnmente usados en tratamientos de aguas residuales en agua de cauce natural.

## **Materiales y Métodos**

### **Caracterización de las muestras de agua del Lago de Maracaibo suministradas por la planta de succión E-1 de la empresa mixta Petrocabimas.**

Para este objetivo se inició con la captación de las muestras, esto se siguió mediante la norma COVENIN 2709: 2002 [3] "Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo", siendo esta una muestra instantánea ya que se le analizó parámetros fisicoquímicos como cloro residual el cual puede cambiar durante el periodo de almacenaje, a su vez se le evaluó salinidad, alcalinidad, dureza, entre otros. La modalidad del muestreo fue de captación manual, ya que fue tomada en la planta de succión perteneciente a la empresa mixta Petrocabimas ubicada en la ciudad de Cabimas, estado Zulia por el personal autorizado del lugar.

En cuanto a la caracterización, se obtuvo una data experimental parcial de la misma efectuada anteriormente en el Laboratorio de Análisis Químico de la Empresa Mixta Petrocabimas. Se completó esta data de caracterización de manera práctica en el Laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta.

La medida de la turbidez del agua se realizó siguiendo las ilustraciones suministradas por el manual del equipo de marca LaMotte 2020we. Por otro lado, la medición del pH se efectuó siguiendo las especificaciones del manual del equipo de marca Oakton pH 5+. Finalmente, para la determinación de la conductividad eléctrica se siguieron las instrucciones suministradas por el manual del equipo de marca Orion 3 Star.

#### *Medición de la alcalinidad*

Para la determinación de la alcalinidad total del agua se efectuó el procedimiento expuesto por el autor Harris[4], y consistió en tomar una muestra de agua de 10ml la cual fue diluida con agua destilada en un matraz de Erlenmeyer, seguidamente se agregaron 3 gotas de fenolftaleína y 3 naranja de metilo como indicadores para luego titularla con HCl 0.0218N hasta observar el cambio de color naranja a rojo. Posteriormente se anotó el volumen gastado y se obtuvo la alcalinidad por medio del siguiente cálculo:

$$V_{HCl\text{ gastado}} \cdot N_{HCl} \cdot \frac{1\text{mEq } CaCO_3}{1\text{mEq } HCl} \cdot \frac{1}{2\text{Eq/mol}} \cdot \frac{PM_{CaCO_3}}{V_{muestra}} \cdot \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} = \text{ppm } CaCO_3$$

### Medición de dureza

Aldabe *et al.*, [5], expresan que la determinación de la dureza del agua se realiza titulando la muestra con una solución de EDTA. Cuando el ión  $Ca^{2+}$  se trata con una solución de EDTA, se forma el complejo  $CaY^{2-}$  y en el punto final de la titulación  $Ca^{2+}$  está totalmente acomplejado. La determinación del punto final se realiza empleando como indicador Negro de Eriocromo que forma un complejo coloreado. Este procedimiento constó de tomar la muestra de agua y diluirla con agua destilada. Adicionalmente, se le agregaron 10 ml de solución buffer pH 10 y 10 gotas del indicador Negro de Eriocromo T, para así proceder a titularla con EDTA 0.0168N hasta observar el cambio de color de morado a azul. El cálculo se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{V_{EDTA\text{ gastado}}}{1000} \cdot N_{EDTA} \cdot \frac{1\text{Eq } CaCO_3}{1\text{Eq } EDTA} \cdot \frac{1}{2\text{Eq/mol}} \cdot \frac{PM_{CaCO_3}}{V_{muestra}} \cdot \frac{\frac{1000\text{mg}}{1\text{g}}}{\frac{1\text{L}}{1000\text{mL}}} = \text{ppm } CaCO_3$$

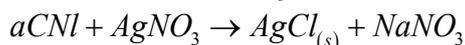
### Medición de salinidad

Skoog y West [9, 197], explican que:

La aparición de un segundo precipitado de color distinto constituye la base de la detección del punto final en el método de Mohr. Este procedimiento se utiliza extensamente para la valoración de iones cloruros o de iones bromuros con nitrato de plata patrón. El indicador empleado es el ion cromato, que pone de manifiesto al punto final por dar lugar a la formación de cromato de plata,  $Ag_2CrO_4$ , de color rojo ladrillo.

Teniendo lo expresado anteriormente en cuenta, en primer lugar, se diluyó 25 ml de la muestra de agua del Lago de Maracaibo con agua destilada en un matraz aforado de 100 ml, de esta se tomaron 25 ml a la cual se le agregaron 2 gotas de  $Na_2CO_3$  0.02 N y 2 gotas de fenolftaleína con un gotero observado que esta se tornó de color rosado. Seguidamente a esta solución se le agregaron 3 gotas de  $H_2SO_4$  0.01 N para nivelar el pH de la solución observando de esta manera que se tornó de rosada a incolora. Finalmente, se le agregaron 5 gotas de  $K_2CrO_4$  al 5% tornándose la solución a un color amarillento.

Posteriormente se procedió a la titulación con  $AgNO_3$ , para esto se colocó la solución en una plancha magnética y se le introdujo en agitador magnético, se llenó la bureta con el  $AgNO_3$  al 0.02 N y se comenzo la titulación hasta observar que la solución se tornó de un color amarillento a rojo. Se anotó el volumen gastado de  $AgNO_3$  y se procedió a hacer los cálculos.



Cálculo para la determinación la salinidad:

$$\text{ml de } AgNO_3 \cdot \frac{35.5 \frac{\text{mg Cl}}{\text{meqv Cl}} \cdot 0.02 \frac{\text{meqv } AgNO_3}{1\text{meqv Cl}} \cdot 1000\text{ml}}{V \text{ ml muestra}} = \text{ppm } Cl^-$$

## **Identificación de los procedimientos de ajuste de parámetros para la adaptación de propiedades necesarias en la entrada a las calderas.**

En el acondicionamiento del agua para calderas se realizan una serie de procesos para lograr que esta cumpla con lo estipulado en la norma BS 2486:1997[1]. Estos procesos industriales se realizan con el objetivo de atacar a las distintas problemáticas que se presentan en las calderas como incrustaciones, corrosión, arrastre y depósitos. En la elaboración de esta fase se plasmó un listado de los procedimientos que se realizan para el ajuste de las propiedades necesarias para el agua de alimentación de las calderas, esto abarca los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua.

## **Diseño de un sistema de tratamiento al agua proveniente del Lago de Maracaibo para ser utilizada como agua para caldera de la empresa mixta Petrocabimas.**

Tomando en consideración lo anteriormente analizado en la caracterización, se elaboró una propuesta de un sistema de tratamiento para el agua del Lago de Maracaibo para ser utilizado como agua para calderas obteniendo así un vapor de alta calidad para su utilización en sistemas de inyección de vapor alterna. Para esto se hizo un estudio de los tipos de tratamiento de agua y de las etapas en la que se realiza el tratamiento, cavilando en referencias por autores especializados en el tema como Davis, Masten y González [7], y especialmente con lo estipulado por Metcalf & Eddy Inc, Burton y Tchobanoglous [8]. Finalmente, con ayuda del programa Microsoft Visio se planteó una propuesta de distribución y orden los equipos necesarios para el sistema de tratamiento de agua.

## **Resultados y Discusión**

### **Captación de la muestra del Lago de Maracaibo**

Debido a que el agua empleada a la caldera es agua proveniente del Lago de Maracaibo, lo cual es un cuerpo de agua extenso, la norma COVENIN 2709: 2002 [3] estipula que “lo usual es dividirlos en sectores y captar muestras que pueden ser instantáneas o integradas en cada una de las áreas seleccionadas. También menciona que, “el volumen de la muestra captada debe ser suficiente para llevar a cabo todos los análisis requeridos”. Para muestras instantáneas se sugiere que se deben de tomar 1 o 2 litros de muestra. En el caso particular de la presente investigación, se tomó la muestra en la planta de succión E-1 perteneciente a la empresa mixta Petrocabimas y a su vez se tomó un volumen adecuado debido a la cantidad de agua requerida para realizar los diferentes ensayos.

### **Caracterización de la muestra**

La caracterización para el agua de alimentación a calderas es bastante extensa, pues incluye hasta la concentración de metales en las aguas según la norma BS 2486:1997[1]. En la caracterización realizada en la presente investigación se hizo medición de turbidez, pH, alcalinidad total, salinidad, entre otros, y a su vez se tomaron valores de la caracterización proporcionada. En la Tabla 1 se observó una síntesis de ambas caracterizaciones fisicoquímicas de la muestra de agua:

**Tabla 1. Características fisicoquímicas de la muestra de agua**

<b>Parámetros</b>	<b>Muestra</b>
Alcalinidad Fenolftaleínica (mg/L)	0.00
Alcalinidad Total (mg de CaCO <sub>3</sub> /L)	113.36
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mg/L)	92.23
Calcio (Ca <sup>+2</sup> ) (mg/L)	145.49
Cloruros (Cl)(mg/L)	5112.00

Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	12150.00
Dureza Total (mg de $\text{CaCO}_3$ /L)	706.002
Sodio ( $\text{Na}^+$ )(mg/L)	1236.67
pH	7.38
Magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ )(mg/L)	239.12
Turbidez (NTU)	1.23
Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) (mg/L)	0.15
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	4627.00
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	1.00

Según los parámetros especificados en la Tabla 1 y por CEPIS [9], el agua del Lago de Maracaibo se clasifica como agua salobre debido a la alta proporción de cloruro de sodio y dureza total, estas aguas suelen tener un rango de sal entre 500 y 30000 mg/L. El valor observado en la tabla de sólidos disueltos totales en la muestra analizada se encuentra dentro del rango antes mencionado. Lo mismo con respecto a la conductividad, esta se puede relacionar directamente con los sólidos disueltos totales, ya que cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica.

Adicionalmente se observó un valor de turbidez de 1.23 NTU, lo cual es un valor relativamente bajo, haciendo referencia al valor máximo de 5 NTU presentes en el agua para consumo humano acorde a la Organización Mundial de la Salud (OMS). En el mismo orden de ideas, la OMS[10] afirma que es necesario eliminar la turbidez en los cuerpos de aguas, ya que este al ser elevado protege a los microorganismos de los efectos de tratamiento de desinfección, a su vez, las partículas que se encuentran suspendidas, influyen en la adhesión de metales pesados, y otros compuestos de tipo orgánico que son tóxicos.

A continuación, en la Tabla 2, se mostró un análisis comparativo entre los valores obtenidos de los parámetros evaluados en la caracterización realizada a la muestra del Lago de Maracaibo con los índices recomendados del agua para calderas de carcasa mayores de 30 bar según la norma británica BS 2486:1997[1].

**Tabla 2. Comparación de parámetros fisicoquímicos del agua del Lago de Maracaibo con los de la norma BS 2486:1997[1] de calidad de agua para calderas.**

Parámetro	Valor leído	Valor permitido	Diferencia por unidad
Alcalinidad total (mg de $\text{CaCO}_3$ /L)	113.36	100 máx.	13.36
pH a 25 °C	7.38	9.5 a 10.5	2.12
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a 25 °C	12150.00	2000 máx.	10150.00
Dureza Total (mg de $\text{CaCO}_3$ /L)	706.002	0.002 máx.	706.00
Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) (mg/L)	0.15	5 máx.	Dentro del rango
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	4627.00	1000 máx.	3627.00
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	1.00	20 máx.	Dentro del rango

En la Tabla 2 se especifican los índices significativos para el agua de alimentación a las calderas considerados en la caracterización. Se observa que los valores leídos de dureza total y alcalinidad total se encuentran notablemente desviados en cuanto a los valores estipulados por la norma BS 2486:1997[1], en los cuales se harán énfasis al momento de realizar el tratamiento de agua debido que estos son factores que repercuten en el funcionamiento óptimo de caldera.

Otro de los parámetros fisicoquímicos para caracterizar las aguas, independientemente del uso al cual estén destinadas, es el pH, el cual es una medida de la concentración de hidrógeno presente en una determinada solución, por lo tanto, este indica la acidez o basicidad de la solución. Esta es la variable principal para la determinación del Índice de Langelier, el cual señala la tendencia del agua a ser incrus-

tante o corrosiva lo que provee una perspectiva a los posibles criterios a tratar. En la tabla se indica un valor de pH de 7.38, comparándolo con la norma BS 2486:1997[1] que oscila entre los valores permitidos de 9.5 a 10.5, este se encuentra fuera de rango.

### **Identificación de los procedimientos de ajuste a los parámetros para la adaptación de propiedades necesarias en la entrada a las calderas**

De acuerdo a lo obtenido en la caracterización de la muestra, y comparándolo con la norma BS 2486:1997[1] es necesario el ajuste de parámetros, para este objetivo se investigó sobre los diferentes métodos que se realizan en la industria para adecuarlos. A continuación, se enlistan las distintas maneras en las que se puede llevar a cabo el ajuste.

#### **pH**

Sí al finalizar todo el pretratamiento del agua para la caldera el agua no cuenta con el pH necesario según lo estipulado en la norma BS 2486:1997[1] el cual es de (9.5 – 10.5), este requiere de un ajuste y, para esto se realizan diversos tratamientos. Según la Información Técnica ITSI-03 [11], “el ajuste del pH básico se hace por inyección de  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , y una inyección adicional de NaOH sólo si es el valor del  $\text{pH} < 10$ ”.

Otros de los métodos planteados por Digital Analysis Corporation[12], para el ajuste de pH es un sistema de ajuste de flujo continuo y un sistema de ajuste batch. El sistema de flujo continuo consiste en un tanque de tratamiento con un mezclador, una bomba dosificadora de soda o ácido y una sonda con un controlador de pH. En este sistema, el tanque de tratamiento de pH permanece lleno en todo momento, por lo tanto, la cantidad que entra es la cantidad que sale. A medida que el flujo de soda o ácido ingresa al tanque de tratamiento este se mezcla con el contenido del tanque, la sonda se encarga de enviarle señales al controlador para que el realice los cambios a la bomba dosificadora para que el pH se encuentre en el rango deseado.

Por otra parte, en cuanto al proceso descrito por la empresa citada en el párrafo anterior, el sistema de ajuste batch es un proceso en el que no hay un flujo continuo, sino que permanece el volumen una cantidad de tiempo depositada en el tanque hasta que este alcance con el valor de pH requerido. En este sistema existe un sensor de nivel, y un controlador, el cual le envía la señal a la válvula de descarga para así liberar el contenido del tanque.

#### **Dureza y alcalinidad total**

Para evitar los problemas derivados de la alta concentración de dureza o de las incrustaciones de las aguas hay que realizar un óptimo control mediante la estabilización química del agua consistiendo en ajustar el pH, la concentración de dióxido de carbono libre, o la concentración de carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) del agua a su equilibrio de saturación de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Este último es al que se le debe prestar mayor atención debido a que la norma BS 2486:1997[1] mide la dureza en términos de mg de  $\text{CaCO}_3$ , estipulando un máximo de 0,002.

Manahan[13] plantea que se usan varios procesos para ablandar el agua. A gran escala se usa el proceso de soda-cal. Este proceso involucra el tratamiento del agua con cal,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y soda,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . El calcio precipita como  $\text{CaCO}_3$  lo que permitirá su subsecuente filtración. El agua ablandada por las plantas de ablandamiento con soda-cal usualmente tiene dos efectos. Primero, debido a efectos de sobresaturación, parte del  $\text{CaCO}_3$  normalmente permanece en solución. Si no se elimina, el compuesto precipitará posteriormente y causará depósitos dañinos o enturbiamientos indeseables. El segundo problema resulta del uso de carbonato de sodio muy básico que da al agua un pH excesivamente alto.

También existe otros procesos como es el caso del intercambio iónico, que es un proceso en el cual los iones mantenidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales cargados situados en la superficie de un sólido, son cambiados por iones de carga similar de una disolución en la cual el sólido está inmerso Weber[14]. El ablandamiento del agua por intercambio iónico no requiere la eliminación de todos los solutos iónicos, solo de los cationes responsables de la dureza o alcalinidad del agua. Por consiguiente, generalmente solo es necesario un intercambiador de cationes. Además, se usa la forma de sodio en lugar en lugar de la forma de hidrógeno del intercambiador cationes, de forma que los cationes divalentes son reemplazados por los iones de sodio.

Debido a que un intercambio catiónico simple no es capaz de reducir la cantidad total de sólidos en el agua, este tratamiento es a menudo empleado conjuntamente con ablandamiento mediante precipitación, descrito anteriormente. Uno de los tratamientos combinados más comunes y eficientes es el proceso cal-zeolita. Este proceso consiste en un pretratamiento del agua con cal para reducir la dureza, alcalinidad, y en algunos casos sílice, seguido por un tratamiento con ablandadores de intercambio catiónico. Cabe denotar que se juntan los parámetros de dureza y alcalinidad debido a que su ajuste se realiza con los mismos procesos.

### **Aceites y grasas**

A pesar de que la norma BS 2486:1997[1] no especifica una concentración permisible de aceites o grasas, se deben plantear procesos que asistan en la eliminación de estos compuestos ya que son conocidas por los especialistas del sector las afecciones que producen aguas arriba, produciendo incrustaciones en las canalizaciones. Pero estas afecciones no se limitan sólo a las conducciones, sino que una vez en las calderas, continúan generándose otras de diferente naturaleza. Además de consolidarse como un sólido hidrófobo que tiene tendencia a incrustarse y producir atascos, los aceites y grasas tienen otras propiedades que repercuten directamente en el proceso.

Según Lenntech[15], los aceites y ácidos grasos se pueden eliminar mediante el uso de las técnicas siguientes: tamizados, coagulación, floculación, flotación, centrifugación, fluidificación, electrólisis, decantación, precipitación. A continuación, se procederá a describir los procesos de mayor utilización a nivel industrial, sus beneficios y defectos.

Uno de estos procesos es denominado Flotación Por Aire Disuelto (o por sus siglas en inglés DAF). En unas condiciones de ausencia de agitación, se aprovecha la diferencia de densidad para separar el aceite del agua por flotación. Para acelerar el proceso de flotación del aceite, se burbujea aire por la parte inferior del tanque. La separación es eficiente, pero se requiere un gran espacio y equipos de dimensiones considerables cuando el caudal a tratar es elevado. Nemerow y Dasgupta[16].

La eliminación de aceites y grasas mediante Degradación Biológica, aunque es posible, presenta una serie de dificultades que se deben salvar, tanto en condiciones aerobias como en anaerobias. En primer lugar, el aceite y las grasas no disponen de una composición que permita su biodegradación si no se dosifican productos químicos. En segundo lugar, el proceso biológico no soporta bien fluctuaciones en el caudal o en la carga de entrada. Además, en un proceso aerobio, la biodegradación de aceites y grasas conlleva un gran consumo de oxígeno, lo cual requiere un elevado consumo de energía y unos costes de operación elevados.

En conjunto a los procesos de floculación y coagulación, la utilización de Membranas Filtrantes potencialmente puede permitir la producción de agua de gran calidad a partir de cualquier emulsión de aceite en agua. No obstante, la filtración mediante membranas tiene una gran problemática: el ensuciamiento de las membranas, el cual es debido a la formación de una capa formada por una biopelícula, materia orgánica, depósitos inorgánicos o de naturaleza coloidal, entre otros. Esta capa se acumula sobre

las membranas por procesos naturales durante el proceso de filtración y produce una disminución en la capacidad de tratamiento.

### **Oxígeno disuelto**

El oxígeno es el parámetro más importante en el control de la calidad de las aguas superficiales en cauces naturales. Provoca la corrosión de los metales, en líneas y equipos y se elimina por desgasificación o mediante reductores como el sulfito de sódico y la hidracina. Entre otros reductores se encuentran taninos, derivados a base de hidroquinona/pirogalol, derivados de hidroxilamina, derivados del ácido ascórbico, entre otros. Estos eliminadores, catalizados o no, reducen los óxidos y el oxígeno disuelto. La mayoría también pasivan las superficies metálicas. Los productos químicos añadidos para reaccionar con el oxígeno disuelto deben ser introducidos en el sistema de alimentación de agua de forma continua. La elección del producto y la dosis requerida dependerán de si se utilizará un calentador de desaireación. Rigola[17].

La desaireación puede realizarse utilizando un medio físico como calentadores de desaireación o desaireadores de vacío o un medio químico como eliminadores de oxígeno (tratamiento de pulido) o resinas catalíticas. Los contratistas de membrana se utilizan cada vez más. El dióxido de carbono a menudo se elimina con un medio físico.

El propósito de un desaireador es reducir los gases disueltos, particularmente el oxígeno, a un nivel bajo y mejorar la eficiencia térmica de la planta al elevar la temperatura del agua. Además, proporcionan almacenamiento de agua de alimentación y condiciones de succión adecuadas para las bombas de agua de alimentación de calderas. Lenntech afirma que:

La desaireación es impulsada por los siguientes principios: la solubilidad de cualquier gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial del gas en la superficie del líquido, disminuye al aumentar la temperatura del líquido; la eficiencia de eliminación aumenta cuando el líquido y el gas se mezclan completamente. Lenntech [18]

### **Turbidez**

En referencia a los diferentes métodos de ajuste de turbidez, Rigola[17] plantea que los principales tratamientos de eliminación pueden ser la coagulación y filtración, la cloración, o la adsorción en carbón activo. Según Davis, Masten y González [7] mediante la coagulación se elimina turbiedad, color y bacterias del agua que se va a tratar. El objetivo es cambiar la carga superficial de las partículas para que se adhieran entre sí y formar partículas mayores que se asienten por gravedad. Para esto se utilizan polímeros que promueven la coagulación.

La filtración consiste en hacer pasar el agua lentamente a través de lechos de medios granulares, por lo general pueden ser arena, carbón de antracita o granate, la cual son capaces de retener o remover algunas de sus impurezas. Estos dos procesos juntos resultan ser bastante efectivos en remover los sólidos suspendidos, que están cercanamente relacionados a la turbidez, del agua.

La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble en el agua. El uso de carbón activo es el principal elemento para tratar la turbidez, adsorbiendo diversas sustancias como metales pesados, colorantes, detergentes, sustancias de mal olor y color al agua, entre otros. Lenntech[18] describe el proceso como agua siendo bombeada dentro de una columna que contiene el carbón activo, esta agua deja la columna a través de un sistema de drenaje. La actividad del carbón activo de la columna depende de la temperatura y de la naturaleza de las sustancias. El agua pasa a través de la columna constantemente, con lo que produce una acumulación de sustancias en el filtro.

## Conductividad

Existe una relación estrecha entre la cantidad de TDS y la conductividad eléctrica, mientras mayor sea el valor de la conductividad eléctrica (medida con un conductímetro), mayor será la cantidad de sales disueltas en el agua. Por lo tanto, se puede concluir que los tratamientos que se realizan para disminuir los sólidos disueltos totales, pueden ser utilizados para reducir la conductividad eléctrica del agua. Hay algunas opciones de tratamiento para reducir el TDS, como el sistema de ósmosis inversa, filtros y suavizadores, estos últimos siendo explicados anteriormente. Chapman y Kimstach[19]

La ósmosis inversa es uno de los varios procesos de membrana conducidos bajo presión, para la purificación del agua, entre los que también se incluyen la nanofiltración, la ultrafiltración y microfiltración Van der Bruggen et al.,[20]. Según Magara et al.,[21] la ósmosis inversa es una técnica muy útil y bien desarrollada para la purificación y desalinización del agua. El proceso de ósmosis consiste en:

forzar el agua a través de una membrana semipermeable que permite el paso de agua, pero no de otro material. Este proceso, que no es una simple separación a través de tamices o ultrafiltración, depende de la sorción preferencial del agua de una membrana porosa de acetato de celulosa o poliamida. El agua pura de la capa sorbida es forzada a través de los poros en la membrana de bajo presión. Manahan [13]

## Desinfección

La desinfección del agua significa la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua. La destrucción y/o desactivación de los microorganismos supone el final de la reproducción y crecimiento de estos microorganismos. Si estos microorganismos no son eliminados el agua no es apta para su utilización en calderas. Existen una gran variedad de métodos de desinfección, entre estos se encuentran la cloración, ozonización y luz ultravioleta.

La utilización del cloro como desinfectante es el método de desinfección más común, la cloración juega un papel muy importante en todo el mundo para evitar infecciones. Se están utilizando numerosos derivados clorados para llevar a cabo estas desinfecciones, como pueden ser el cloro gas, hipoclorito o dióxido de cloro; algunos conocidos coloquialmente como biocidas. El cloro y sus derivados son sustancias de tipo oxidante, las cuales actúan por mecanismo de oxidación, destruyendo la célula tras provocar la rotura de la pared celular Osorio, Torres y Sánchez[22]. Estos se añaden de manera directa en forma de inyección al flujo de agua.

La aplicación de la ozonización es un método de desinfección de aguas potables que se está aplicando ya en la actualidad, pero no es un método solamente aplicable a aguas potables, sino que también se puede aplicar como desinfección de aguas industriales Beltrán [23]. El poder oxidante del ozono es grande por lo tanto se ha demostrado que es un gran agente desinfectante. A pesar de esto, el ozono presenta una serie de inconvenientes como la influencia de la concentración de sólidos en suspensión en la efectividad del proceso, formación de subproductos, elevado coste energético, entre otros.

La desinfección por ultravioleta usa la luz como fuente encerrada en un estuche protector, montado de manera que, cuando pasa el flujo de agua a través del estuche, los rayos ultravioletas son emitidos y absorbidos dentro del compartimento. Cuando la energía ultravioleta es absorbida por el mecanismo reproductor de las bacterias y virus, el material genético (ADN/ARN) es modificado de manera que no puede reproducirse. Los microorganismos se consideran muertos y los riesgos de enfermedades, es eliminado.

## **Diseño del sistema de tratamiento al agua proveniente del Lago de Maracaibo**

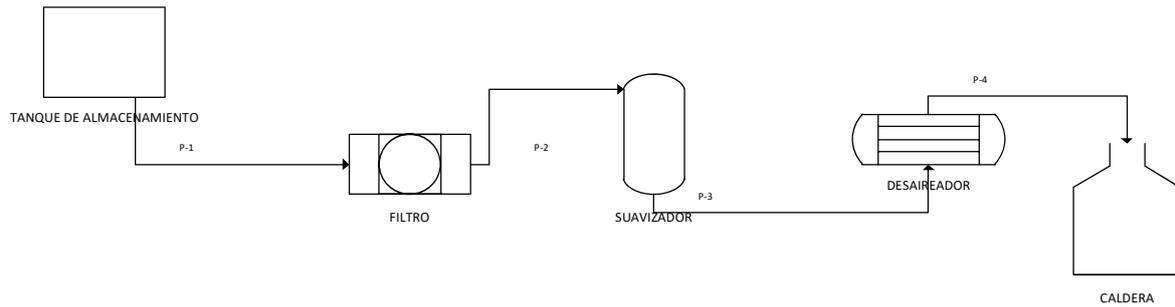
De acuerdo a los valores obtenidos en la caracterización de la muestra de agua del Lago de Maracaibo, para emplearla como agua de alimentación para calderas esta requiere de ajustes a los parámetros conforme a lo establecido en la norma británica de recomendaciones para agua para calderas BS 2486:1997[1]. Para establecer qué tipo de tratamiento requería se hizo un estudio previo a cuáles son los tratamientos estándares que se le realizan a las aguas de acuerdo a su utilidad.

El tratamiento para aguas residuales consta de procesos unitarios, los cuales se agrupan por etapas como tratamiento preliminar, tratamiento primario, secundario y terciario o avanzado. Cada una de estas etapas constituye operaciones básicas, según Metcalf & Eddy Inc, Burton y Tchobanoglous[8], El pretratamiento es fundamentado en procesos físicos, esta etapa se realiza la eliminación de componentes en el que su presencia pueda ocasionar problemas en el funcionamiento de los diferentes procesos u operaciones posteriores, como por ejemplo arena, grasas, objetos gruesos, entre otros. Del mismo modo, los autores expresan que el tratamiento primario se encarga de los procesos físicos y químicos, su objetivo es la eliminación de materia sedimentable y flotante. Las operaciones realizadas en etapa son la decantación primaria y tratamientos fisicoquímicos como la coagulación y floculación.

Por otro lado, el tratamiento secundario es el basado en procesos biológicos, está diseñado para la eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión, incluyendo la desinfección. En esta se da la degradación bacteriana y la decantación secundaria. Por último, está el tratamiento avanzado, el cual se realiza cuando el agua necesita la eliminación de compuestos tóxicos, nutrientes, materia orgánica en exceso y/o sólidos en suspensión. Este constituye tanto procesos biológicos como físicos y químicos. Metcalf & Eddy Inc, Burton y Tchobanoglous[8], expresan que los procesos u operaciones empleadas para este tratamiento son coagulación química, floculación y sedimentación seguida de filtración y carbono activado. Además, enuncian que para la eliminación de iones específicos presentes y para la reducción de sólidos disueltos, se emplea el intercambio iónico o la osmosis inversa.

En el presente trabajo de investigación se evaluaron las características presentadas en la muestra de agua y en base a eso se propone el tratamiento a realizar para emplearla como agua de alimentación para calderas. La muestra de agua tomada en la planta de succión E-1 presentaba pequeñas partículas sedimentadas, por lo cual se debe emplear un tratamiento primario para eliminarlas mediante filtración. Seguidamente se le debe realizar un tratamiento secundario ya que presentaba formación de hongos en el recipiente de la muestra y para esto se necesita el empleo de un biocida para evitar la formación de biopelículas o biofilm en las tuberías y/o equipos. Adicionalmente esta presentaba una alta dureza, sílice, alcalinidad, por lo que necesita un tratamiento avanzado para la reducción de estos iones presentes los cuales pueden ocasionar incrustaciones en la caldera.

Por lo antes expuesto, se realizó una propuesta de equipos de acuerdo a las etapas en la que se realiza el tratamiento. Para la eliminación de los sólidos sedimentados y flotantes se sugiere el empleo de un filtro de arena y grava. Seguidamente se necesita la remoción de los iones calcio y magnesio, para esto se necesita un suavizador, el cual es una columna rellena de resinas de intercambio, en el ocurre una fluidización solido-liquido entre el agua y las resinas, haciendo efectiva la remoción de estos iones. Finalmente, se sugiere un desaireador o desgasificador, ya que el agua a ser proveniente de un cuerpo de agua de origen natural, contiene oxígeno disuelto y dióxido de carbono disuelto el cual es perjudicial para las calderas ya que esta causa corrosión. El orden de los equipos propuestos se plasma en la figura 1.



**Figura 1. Propuesta de distribución y orden de los equipos en la planta**

En la figura 1 se esquematiza la distribución y orden al cual debería ser llevado a cabo el tratamiento del agua. El mismo se basó de acuerdo a las etapas en la cual se realiza un tratamiento y conforme a los requerimientos del agua estipulados en la norma BS 2486:1997[1]. Inicialmente, se propone que el agua contenida en los tanques de almacenamiento sea transportada hacia los filtros, esto se hace con el fin de que previo a este, se haga la inyección de la dosis óptima del floculante y así este elimine los flocúlos formados durante este proceso. Del mismo modo, se plantea hacer la inyección del biocida previo al filtro para que la materia orgánica presente en el agua no afecte tanto a las tuberías o equipos como a las resinas de intercambio contenidas en el suavizador.

Seguidamente, se propone colocar el suavizador posterior al filtro, con el propósito de eliminar los cationes presentes en el agua que puedan ocasionar incrustaciones o depósitos en los equipos consecuentes a este. Finalmente, se plantea colocar el desaireador seguido del suavizador con el objetivo de eliminar los gases disueltos presentes antes de que esta llegue a la caldera, de tal forma, que este alcance la calidad apropiada según lo especificado en la norma anteriormente nombrada. En el caso de ser necesario el empleo de un eliminador de oxígeno disuelto, correspondería hacerse la inyección ya sea en el desaireador o en la salida del mismo, con la intención de que el agua logre el estándar recomendado.

## Conclusiones

La caracterización del agua del Lago de Maracaibo obtenida antes de hacer el tratamiento registró valores iniciales que sin duda necesitan mejoras para su empleo como agua para calderas comparándolo con la norma BS 2486:1997, esta mostró ser un agua dura, con alta salinidad, alta conductividad, aunque sin embargo presentó un pH neutro.

En la identificación de los métodos de ajuste a los parámetros se halló que existen una variedad de procedimientos para el ajuste tanto de pH, dureza total, alcalinidad total, aceites y grasas, como eliminación de microorganismos, reducción de la conductividad, turbidez y oxígeno disuelto. No obstante, de acuerdo al uso que se destine el agua, ciertos métodos son más efectivos para dados casos.

El tratamiento al agua del Lago de Maracaibo diseñado fue adecuado, ya que abarca todos los parámetros a tratar sugeridos en la norma BS 2486:1997, basada en las variables que se encontraban desviadas conforme a la norma y acorde a lo obtenido en la caracterización de la misma.

## Referencias Bibliográficas

[1] British Standards Institution BSI2486. "Recommendations for treatment of water for steam boilers and water heaters". London, pp. 1-48. 1997.

[2] Oelker, E.H., Hering, J.G. y Zhu, C. Water: Is there a global crisis? *Elements* 7, 157-162. (2011).

[3] “Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo” (1<sup>ra</sup> Revisión). FONDONORMA. COVENIN 2709:2002, Venezuela, pp.1-13 (2002). Disponible en: <http://www.sencamer.gov.ve/sencamer/normas/2709-02.pdf> [05 de mayo 2019]

[4] Harris, D. Análisis Químico Cuantitativo, 2<sup>da</sup> Ed., Editorial Reverté, S.A., España, (2001).

[5] Aldabe, S., Aramendía, P., Bonazzola, C. y Lacreu, L. Química 2: Química en acción. 1<sup>ra</sup> Ed. Ediciones Colihue: Buenos Aires, Argentina. (2004).

[6] Skoog, D.A. y West, D.M. Introducción a la química analítica. Editorial Reverté: Barcelona, España. (2002).

[7] Davis, M. L., Masten, S. y González y Poso, V. Ingeniería y ciencias ambientales. McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A.: México. (2005).

[8] Metcalf & Eddy Inc, Burton, F.L., y Tchobanoglous, G. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. (3<sup>ra</sup> ed.). Editorial McGraw-Hill: Madrid, España. (2000).

[9] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/ CEPIS. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua: Manual de capacitación para operadores. Organización Panamericana de la Salud Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Lima, Perú. (2002). Disponible en: [http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20\(cepis\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20(cepis)(2).pdf) [18 de mayo 2019]

[10] Organización Mundial de la Salud (OMS). Calidad del agua potable. (s.f.). [Online]. Disponible en: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/) [18 de mayo 2019]

[11] “Calidad del agua de calderas”. Sistemas Industriales de Calderas, S.L. Información Técnica ITSI-03. Toledo, pp.1-9, (2018). Disponible en: <https://docplayer.es/81455831-Informacion-tecnica-itsi-03-calidad-del-agua-de-calderas-version-sistemas-industriales-de-calderas-s-l-enero-de-2018.html> [22 de mayo 2019]

[12] Digital Analysis Corporation. pH Adjustment and Neutralization: The Basics. (s.f.). Disponible en: <http://www.phadjustment.com/pH.html> [10 de mayo 2019]

[13] Manahan, S. Introducción a la química ambiental. Editorial Reverté, S.A.: Barcelona, España (2007).

[14] Weber, W. Control de la calidad del agua: Procesos fisicoquímicos. Editorial Reverté S.A.: Sevilla, España. (1979).

[15] Lenntech. Aceites y grasas. (s.f.) Disponible en: <https://www.lenntech.es/aceite-grasas.htm> [10 de mayo 2019]

[16] Nemerow, N. y Dasgupta, A. Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. Ediciones Díaz de Santos: Madrid, España. (1998).

[17] Rigola, L.M. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. MARCOMBO, S.A.: Barcelona, España. (1990).

- [18] Lenntech. Adsorción/Carbón activo. (s.f.) Disponible: <https://www.lenntech.es/adsorcion.htm> [10 de mayo 2019]
- [19] Chapman, D. y Kimstach, V. *Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*, 1<sup>era</sup> Ed. E&FN Spon: Cambridge, Inglaterra, (1992).
- [20] Van Der Bruggen, B., Vandecasteele, C., Van Gestel, T., Doyen, W., y Leysen, R. A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. New York, Estados Unidos. 22: 1. (2004).
- [21] Magara, Y., Kawasaki, M., Sekino, M., y Yamamura, H. *Development of Reverse Osmosis Membrane Seawater Desalination in Japan*. *Water Science & Technology*. Londres, Reino Unido. (2000). 41: 10.
- [22] Osorio, F., Torres, J., y Sánchez, M. Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales. Ediciones Díaz de Santos: Madrid, España. (2010).
- [23] Beltrán F. *Ozone reaction kinetics for water and wastewater systems*. Lewis Publishers: Washington, Estados Unidos (2010).

# Desarrollo de un marco de trabajo con *node.js* basado en componentes para el manejo de solicitudes a objetos de negocio embebidos en el backend

Andrés Mármol y Jubert Perez

Escuela de Ingeniería de Computación. Facultad de Ingeniería.  
Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.

Correo electrónico: [andresmarmolm@gmail.com](mailto:andresmarmolm@gmail.com) y [jubertperez@gmail.com](mailto:jubertperez@gmail.com)

Recibido: 21-01-2020      Aceptado: 09-07-2020

## Resumen

La presente investigación se realiza con el propósito de crear un marco de trabajo basado en componentes dentro del entorno de ejecución de JavascriptNode.js para la recepción y manejo de solicitudes a objetos de negocio embebidos en el *backend*, proveyendo una interfaz sobre la web que permite acceder a objetos de negocio con un *endpoint* único a través del cual usuarios agentes pueden ejecutar lógica de negocio. La investigación fue de tipo descriptiva y de diseño no experimental. La técnica de recolección de datos aplicada fue la observación directa, y la metodología de desarrollo fue el modelo cascada aplicando la técnica del Test Driven Development. Se logró desarrollar un marco de trabajo que permitiera definir objetos de negocio a ser embebidos en el *backend*, así como mecanismos de acceso a bases de datos relacionales para los propósitos de lógica interna o de lógica de negocio especificada por un programador usuario.

**Palabras clave:** Backend, Node.js, marco de trabajo, TDD.

## Development of a component-based framework in node.js for the management of requests to business objects embedded in the backend

### Abstract

This investigation was made with the purpose of creating a component-based framework inside the Javascript runtime Node.js for the reception and management of requests to business objects embedded in the backend, providing an interface over the web that allows accessing business objects with a single endpoint through which user agents can execute business logic. The investigation was of the descriptive type and non-experimental. The data collection technique applied was direct observation, and the development methodology was the cascade model, applying the Test Driven Development technique. The investigation achieved the development of a framework that allows the definition of business objects to be embedded in the backend, as well as mechanisms for relational database access for the purposes of logic internal to the framework or of business logic specified by the user.

**Keywords:** Backend, Node.js, framework, TDD

### Introducción

Los marcos de trabajo son una de las herramientas más utilizada en el campo laboral que es el desarrollo de software, estas proveen a los desarrolladores una base fundamental sobre la cual fundamentar su lógica de negocio, tomando el código del desarrollador y abstrayendo el diseño e implementación de las estructuras básicas del desarrollo a través de componentes o código encapsulado que trabajan con el código del desarrollador.

Tomando la importancia de los marcos de trabajo en mente, se desarrollará un marco de trabajo que permita abstraer a un desarrollador necesidades fundamentales de un *backend*, como lo es el manejo de peticiones a la lógica de negocio y el acceso a los datos, todo esto aplicando el paradigma de la programación basada en componentes, creando código encapsulado con interfaces bien definidas intercomunicadas para alcanzar este fin.

Los marcos de trabajo resultan imprescindibles en el desarrollo de soluciones de software hoy en día, dado que acortan el valioso tiempo de desarrollo, permitiendo alcanzar mayores niveles de productividad y menor tiempo para llevar aplicaciones a producción. Sin el uso de un marco de trabajo, el tiempo de desarrollo resulta ser alto, debido a que se debe dedicar tiempo para el desarrollo de estructuras base que soporten la lógica de negocio de una aplicación; un marco de trabajo elimina este paso del proceso de trabajo, permitiendo a un desarrollador empezar directamente por el orquestado de la lógica de negocio para implementar la aplicación deseada.

El problema al cual la presente investigación buscó solución fue la creación de un marco de trabajo el cual, siguiendo el paradigma de la programación orientada a componentes, resultara ser uno que permitiera la petición a lógica de negocio en el *backend* embebida en objetos de negocio, los cuales pueden tener acceso a la base de datos con una interfaz provista por el marco de trabajo la cual es configurada por el desarrollador usuario de éste. La investigación, entonces, se enfocó en crear una solución que abstraiera al desarrollador usuario del marco de trabajo el acceso a la base de datos en los objetos de negocio, así como el direccionamiento de peticiones a esta lógica almacenada en los objetos de negocio.

## **Fundamentos Teóricos**

A continuación, se exponen las bases teóricas sobre las cuales se fundamentó la investigación:

### **Componente de software**

Heineman y Councill[1] definen el concepto de un componente de software como “un elemento de software que conforma con un modelo de componentes y puede ser independientemente desplegado y compuesto sin modificación de acuerdo a un estándar de composición”. La más importante distinción entre componentes y objetos es que los componentes conforman a estándares definidos por una tecnología de componentes. Weinreich y Sametinger[2].

### **Programación basada en componentes**

Según Clemente *et al.*, [3, Pág.109]:

La programación basada en componentes consiste en la construcción de aplicaciones a través de un proceso de ensamblaje módulos de software independientes y reusables llamados componentes, donde los componentes son una unidad de composición de software con un conjunto de interfaces y un conjunto de requerimientos.

### **Arquitectura cliente-servidor**

La arquitectura cliente servidor consiste de una red de computadoras en la cual muchos clientes (procesadores remotos) piden y reciben servicios de un servidor centralizado (computadora host). Las computadoras clientes proveen una interfaz para permitir al usuario realizar peticiones a servidores y desplegar los resultados de éstas. Los servidores esperan por peticiones de los clientes para poder brindarles los servicios que ofrecen. *Enciclopedia Británica*[4].

## **Javascript**

Javascript es un lenguaje de programación ligero, interpretado o compilado justo-a-tiempo con funciones de primera clase. Javascript es un lenguaje dinámico, multi-paradigma y basado en prototipos, soportando estilos de programación orientado a objetos, imperativos y declarativos, *Mozilla Foundation*[5]. Javascript es el lenguaje que ejecuta el entorno a ser utilizado en el presente trabajo de investigación, Node.js

## **Node.js**

Según el sitio oficial de Node.js[6], es un entorno de ejecución asíncrono y orientado a eventos de Javascript construido sobre el motor de Javascript V8 de Chrome, diseñado para construir aplicaciones de red escalables, Linux Foundation[7]. Node.js será el entorno donde se construirá el marco de trabajo del presente trabajo de investigación, ya que este ofrece flexibilidad para la creación de servicios genéricos que ofrecerá el marco de trabajo.

## **Framework (marco de trabajo)**

Según Crnkovic, et al.,[8] se han dado varias definiciones de marco de trabajo a lo largo del tiempo, acercándose al concepto desde diferentes puntos de vista y diferentes niveles de detalle; afirman que un marco de trabajo puede ser visto como un diseño reusable de un sistema, donde el diseño consiste de la representación de clases abstractas y la interacción de las distintas instancias de estos, también describen los marcos de trabajos de componentes, como una “tarjeta de circuito” con espacios vacíos donde se insertan los componentes para crear una instancia funcional; en estos los componentes se insertan en tiempo de ejecución.

## **Metodología de la Investigación**

La presente investigación se define como una de tipo descriptiva dado que consiste en la especificación de las propiedades, características y rasgos importantes de un conjunto homogéneo de fenómenos, dejando manifestada la estructura o comportamiento de aquello que se estudia. Además, la investigación además no busca la verificación de una hipótesis, sino de la descripción de hechos a partir de un criterio definido previamente. Así mismo, la descripción se define como del tipo proyectiva, dado que busca definir cómo se debería comportar la solución final.

El diseño de investigación es de campo, dado que consiste en la recolección de datos directamente de aquello que se investiga, sin manipular variable alguna que intervenga en el fenómeno investigado. En el contexto de la investigación, este diseño encaja dado que consistió en la recolección de datos del diseño, modelado y construcción del marco de trabajo, así como de su comportamiento final definido por las fases anteriormente mencionadas.

La metodología de desarrollo utilizada fue el modelo cascada, que consiste en una serie simple y lineal de pasos, utilizada cuando los requerimientos del software a desarrollar están bien definidos. Consiste en un flujo desde la especificación, al diseño, construcción y entrega del proyecto a desarrollar, siendo este un proceso lineal y no iterativo de desarrollo.

## **Resultados**

En esta investigación se llevaron a cabo las fases definidas por el modelo mencionado en la sección anterior, siendo estas la comunicación, planeación, modelado, construcción y despliegue.

## Fase de comunicación

Tomando en cuenta los objetivos definidos, se prosiguió a definir los requerimientos del marco de trabajo, estos se exponen en la Figura 1 que se presenta a continuación:

Permitir el registro de objetos de negocio
Manejar las peticiones a los objetos de negocio
Brindar funcionalidad para la autenticación de usuarios
Permitir la autorización de usuarios para la ejecución de métodos
Exponer funcionalidad para la configuración para el acceso a bases de datos relacionales
Permitir a los objetos de negocio la consulta a las base de datos configuradas

**Figura 1. Requerimientos del marco de trabajo**

## Fase de planeación

Una vez definidos los requerimientos, se realizó la planificación de las actividades a realizar (Ver Figura 2), siguiendo el esquema lineal definido por el modelo cascada. Se definió la secuencia de actividades, así como el tiempo estimado de culminación de cada actividad; la planificación, expuesta en la forma de un diagrama de Gantt, se expone a continuación:



**Figura 2. Planificación de actividades para desarrollar el marco de trabajo**

## Fase de modelado

En esta fase se realizó la arquitectura de la solución, definiendo concretamente el alcance del marco de trabajo, así como los mecanismos fundamentales que implementará éste, como el protocolo de capa de aplicación a utilizar (HTTP/HTTPS), la necesidad de realizar la creación y registro de objetos de negocio, la implementación de la permisología, y la manera en la que las peticiones a los objetos de negocio se realizarán, siguiendo el formato definido en la Figura 3.

```
{  
  "objectName": "string",  
  "objectMethod": "string",  
  "params": []  
}
```

Figura 3. Formato de las peticiones al marco de trabajo

A continuación, se definió la arquitectura basada en componentes del marco de trabajo, definiendo el comportamiento de los componentes que conformarán éste, así como las interfaces que estos proveen entre sí para lograr la funcionalidad deseada. En la Figura 4 expuesta a continuación se muestra el diagrama de componentes del marco de trabajo.

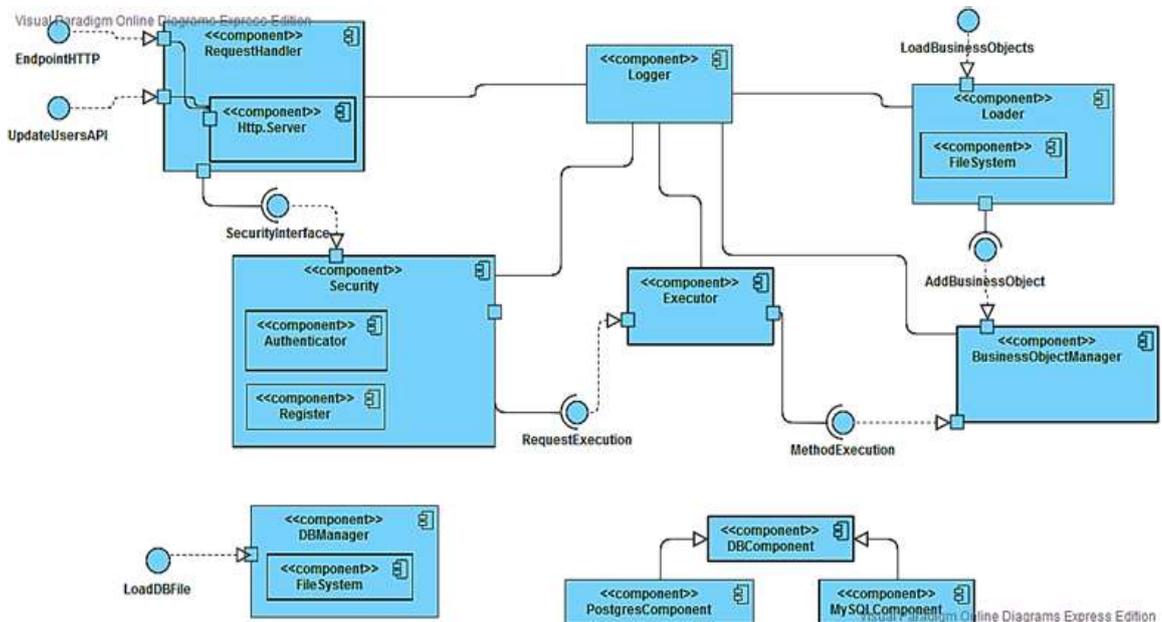


Figura 4. Diagrama de componentes del marco de trabajo

El marco de trabajo consiste en varios componentes, empezando con el componente RequestHandler, el cual está compuesto de un servidor HTTP y se encarga de recibir las peticiones y dirigirlas al componente Security, el cual se encarga de realizar la autenticación y autorización para el acceso a los objetos de negocio (la permisología), dirigiendo al componente Executor las peticiones válidas ya autorizadas.

En cuanto al registro de objetos de negocio, se tiene el componente Loader, el cual toma clases Javascript que implementan métodos que definen la lógica de negocio deseada, y los carga al Business Object Manager quien es el que se encargará de la instanciación de la lógica de negocio definida en los métodos a través de las peticiones válidas y autorizadas que lleguen a través del componente Executor.

Hay que destacar que el marco de trabajo implementa un esquema sencillo de inyección de dependencias, donde las clases definidas por el usuario desarrollador pueden optar por una conexión a la base de datos según la definición del constructor del objeto de negocio, el cual puede desconstruir el objeto pasado por el Business Object Manager y obtener un objeto *db*, el cual posee métodos definidos por la clase abstracta DBComponent para el acceso a la base de datos, los objetos de negocio, dependiendo de la configuración, utilizan un PostgresComponent o un MySQLComponent. Los métodos expuestos se presentan en la figura 5 la cual se presenta a continuación.

```

module.exports = class DBComponent {
  constructor(){
    if(this.constructor === DBComponent){
      throw new Error('DBComponent is an abstract class')
    }
  }

  query(sql, params, callback){
    throw new Error("Can't call abstract method 'query' on DBComponent ")
  }

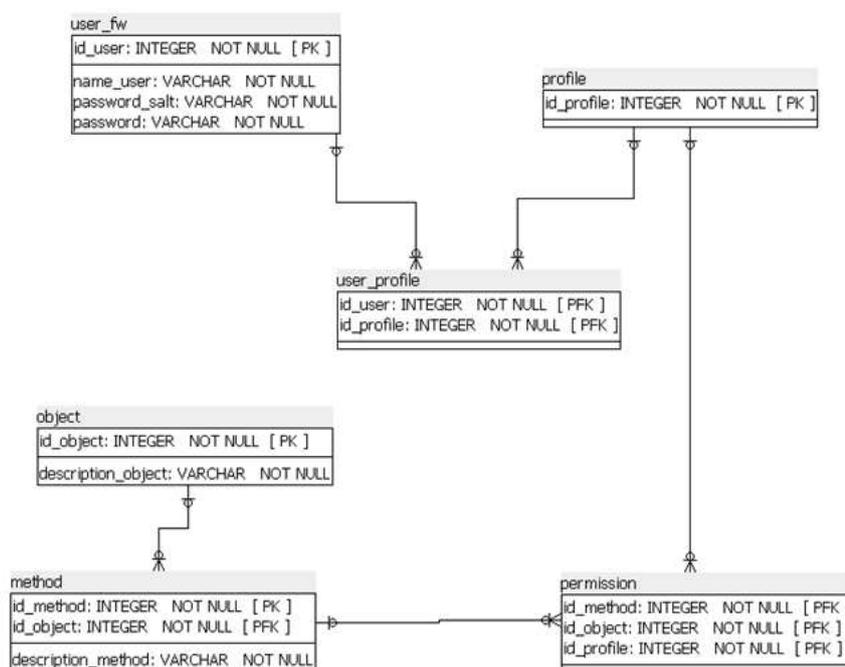
  queryWithoutParams(sql, callback){
    throw new Error("Can't call abstract method 'queryWithoutParmas' on DBComponent ")
  }

  async stop(){
    throw new Error("Can't call abstract method 'stop' on DBComponent ")
  }
}

```

**Figura 5. Clase abstracta DBComponent**

En cuanto a la permisología, se realizó un modelado de base de datos (ver figura 6) que permite relacionar usuarios con roles a métodos y sus objetos, este modelado se expone a continuación:



**Figura 6. Modelado para la permisología**

### Fase de construcción

Se realizó la codificación de lo definido en la fase de modelado, empezando por el componente RequestHandler, el cual consiste en la creación de un endpoint HTTP utilizando las virtudes del entorno Node.JS utilizado, utilizando el marco de trabajo Express para facilitar el manejo de solicitudes a través de los objetos de petición y respuesta HTTP, así como el parseo de los bodies JSON que siguen el formato

definido anteriormente. El endpoint provee cuatro rutas, la más importante siendo la ruta / POST, la cual es la que recibe las peticiones para la ejecución de la lógica de negocio dado que el body de la petición siga el formato definido anteriormente.

Se codificó la configuración para la base de datos; el marco de trabajo expone interfaces para configurar la base de datos a utilizar utilizando un archivo .json o un objeto plano de javascript que contiene la información necesaria (driver, host, puerto, nombre de base de datos, etc.). El marco de trabajo entonces utiliza esta información para instanciar hijos de la clase DBComponent con el componente DBManager e inyectarlos donde sea necesario (ya sea para componentes inherentes al marco de trabajo o a objetos de negocio).

Para el proceso de autenticación y autorización, el componente Security recibe las peticiones que llegan a RequestHandler y autentica o autoriza según la petición realizada, utilizando la librería Passport.js para facilitar el proceso de autenticación y el modelo relacional definido para la permisología para realizar la autorización, para luego redirigir las peticiones aceptadas al componente Executor.

Para el registro de objetos de negocio, se crean las clases Javascript que implementen la lógica necesaria y se registran con el componente Loader, el cual las pasa al componente Business Object Manager, quien es el que finalmente crea instancias Singleton de estos objetos de negocio para ejecutar las peticiones que se reciban del componente Executor. El Business Object Manager, utilizando el DBManager, también se encarga de pasar a los objetos de negocio instancias de DBComponent para que estos puedan tener acceso a la base de datos configurada.

### Fase de despliegue

Definimos en la fase de despliegue la realización de las pruebas, se realizaron pruebas unitarias (ver Figura 7) para verificar la funcionalidad de los componentes individuales, así como pruebas de estrés para verificar el comportamiento del marco de trabajo en condiciones de estrés utilizando un contenedor Docker limitado en capacidad de procesamiento y memoria.

```
> jest --runInBand
PASS lib/rudopa.test.js
  ● Console

  console.log lib/rudopa.js:95
    Rudopa.js listening on port 3000
  console.log lib/rudopa.js:106
    Rudopa.js shutting down

PASS lib/BOManagement/BusinessObjectManager.test.js
PASS lib/BOManagement/loader.test.js
  ● Console

  console.log lib/BOManagement/BusinessObjectManager.js:49
    The method exampleMethod in object loaderExample already exists

PASS lib/DBManagement/PostgresComponent.test.js
PASS lib/DBManagement/DBManager.test.js
PASS lib/DBManagement/MySQLComponent.test.js
PASS lib/DBManagement/DBComponent.test.js

Test Suites: 7 passed, 7 total
Tests:      29 passed, 29 total
Snapshots: 0 total
Time:       7.789s
Ran all test suites.
```

Figura 7. Extracto de ejecución de las pruebas unitarias.

## Conclusiones

Este trabajo de investigación tuvo como fruto un marco de trabajo orientado a la creación de una forma sencilla de acceder a objetos de negocio, donde toda la lógica y autenticación reside en un solo punto del *backend* fácilmente accesible a través de la tecnología web que es HTTP, y donde se brindan a estos objetos de negocio fácil acceso a la base de datos, siendo transparente con el usuario programador en cuanto a qué manejador de base de datos relacional se utiliza.

El entorno de ejecución Node.js resultó ser una gran herramienta para este marco de trabajo desarrollado; este proveyó un ambiente ideal para la creación de un marco de trabajo que ofrece sus servicios para crear aplicaciones web, ya que con él se pudieron utilizar varias herramientas que aceleraron sino mejoraron el resultado final de esta investigación, como lo fueron las características para la creación de clases que representaban los componentes diseñados, funcionalidad para la creación, mantenimiento y terminación de conexiones HTTP o a base de datos, entre otras grandes bondades del entorno.

Alcanzados estos objetivos, se puede concluir que se creó un marco de trabajo sencillo, que actúa como una alternativa a otros patrones o estilos arquitectónicos vistos hoy en día en la comunidad del desarrollo web; una alternativa que provee un punto único y sencillo de acceso a la lógica definida por el programador, en comparación a interfaces engorrosas de dudosa utilidad en el contexto del buen desarrollo de software.

Aunque se alcanzaron los objetivos y los requerimientos delimitados, durante el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación se hallaron puntos en los cuales el marco de trabajo desarrollado puede crecer y fortalecerse como una mejor herramienta de desarrollo de aplicaciones.

## Referencias Bibliográficas

[1] Heineman, G. y Councill, W. *Component-Based Software Engineering*, Addison-Wesley: Nueva York, Estados Unidos de América, (2001)

[2] Weinreich, R. y Sametinger, J. *Component Models and Component Services – Concepts and Principles*. Addison-Wesley: Boston, Estados Unidos de América, (2001).

[3] Clemente P., Hernández J., Murillo J., Pérez M. y Sánchez F. “Component-based System Design and Composition: An Aspect-oriented Approach”. *Series on Component based software development. Component based software development: Case Studies* Kung-Kiu Lau, pp.109-128, World Scientific Publishing: Manchester, Reino Unido, (2003).

[4] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. “Server”. En *Encyclopedia Britannica*, 5 Apr. 2018, Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/server>. [4 May 2020].

[5] Mozilla Foundation. HTTP. (2019). Disponible en: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP> [4 May 2020].

[6] OpenJS Foundation. Node.js. (s.f.). Disponible en: <https://nodejs.org/es/> [4 May 2020].

[7] Linux Foundation Node.js. (2019). Recuperado de <https://nodejs.org/en/> [4 May 2020].

[8] Crnkovic I., Hnich B., Jonsson T. y Zeynep K. *Building Reliable Component-Based Software Systems*. En Crnkovic I. y Larsson M. (Eds.), *Basic Concepts in CBSE*. Norwood, Estados Unidos de América. ArtechHouse.(2002).pp.53-54.

# Análisis del efecto del oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado

Nelson Moran y Ernesto Velásquez

Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta.  
Maracaibo, Venezuela.

Correo electrónico: [nelson\\_moran15@outlook.com](mailto:nelson_moran15@outlook.com) y [evelasquez@gmail.com](mailto:evelasquez@gmail.com)

Recibido: 21-01-2020 Aceptado: 09-07-2020

## Resumen

La presente investigación trata sobre un análisis del efecto de oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado, el cual debe realizarse abarcando desde los nuevos criterios aplicados a las tecnologías. El desarrollo de la investigación se realizó por el método de la teoría de la rotura, tomando en cuenta las siguientes normativas: COVENIN 1618-98, COVENIN 1756-1-2001, COVENIN 1756-2-2001, ACI 350. La investigación se consideró descriptiva, debido a que se coloca en carácter de estudio el análisis del efecto del oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado, donde se enmarca la determinación de un diseño óptimo del estanque metálico circular elevado mediante las normas COVENIN 1618 y 1756 parte 1 y parte 2 con la finalidad de establecer según los parámetros evaluados, cual es el impacto de la fuerza de oleaje producida por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado, tiene un diseño no experimental por su dimensión temporal en la que se recolectan los datos; a su vez, es transeccional debido a que la recolección de datos se realizó en un solo momento; la investigación es documental, ya que se basa en una recopilación de conceptos, ecuaciones, hipótesis y condiciones de diseño ya establecidos por las normativas descritas y otros investigadores, donde se pudo demostrar que, la carga hidrodinámica que es la fuerza de impacto de oleaje inducida por un sismo si tiene efectos en el diseño estructural del estanque metálico circular elevado

**Palabras clave:** Sismo, oleaje, tanque circular

## Analysis of the effect of waves produced by earthquake in the design of elevated circular metallic tank

### Abstract

The present investigation deals the effect's analysis to waves produced by earthquake in the design's elevated circular metallic tank, which must be carried out covering the new criteria applied to new technologies, so, it represents a practical contribution to renew design knowledge of structures, in order to assurance an optimal and safe design. Development of the research was carried out by the method of breakage theory, considering the following regulations: COVENIN 1618-98, COVENIN 1756-1-2001, COVENIN 1756-2-2001, and ACI 350. The investigation was considered descriptive, due to fact, the analysis of the effect of the swell produced by earthquake in the design's elevated circular metallic tank is placed in this studied, where the determination of an optimal design's elevated circular metallic tank is framed by the COVENIN 1618 standards and 1756 part 1 and part 2 in order to establish according to the parameters evaluated, what is the impact's wave force produced by earthquake in the design of a high circular metallic tank, has a non-experimental design due to its temporal dimension in which the data is collected; in turn, it is transactional because the data collection was done in a single moment; The research is documentary, since it is based on a compilation of concepts, equations, hypotheses and design conditions already established by the regulations described and other researchers, where it could be shown that the hydrodynamic load that is the impact force of waves induced by an earthquake if it has effects on the structural design's elevated circular metal tank

**Key words:** Earthquake, waves, circular tank.

## **Introducción**

La presente investigación trata sobre el análisis del efecto de impacto de oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado. El motivo para este estudio se debe a que actualmente se observan fallas en algunos estanques elevados, y, como consecuencia existen pérdidas económicas y hasta humanas, asimismo se verá afectada la población abastecida por dicho tanque puesto que no trabajará según lo diseñado. En estos estanques elevados presentan agrietamientos, colapsos parciales o totales que deshabilitan la función de un estanque elevado y por consiguiente generan un malestar en la sociedad por la falta de distribución de agua potable. Razón por la cual, esta investigación representa una renovación del conocimiento existente sobre el análisis del efecto de impacto de oleaje producido por sismo en estanques elevados.

La investigación se basó en el método de la teoría de la rotura, bajo los parámetros y criterios de diseño establecido en las normas COVENIN 1618[1] y COVENIN 1756-1-2001[2] (edificaciones sismorresistentes parte 1: requisitos) COVENIN 1756-2-2001[3] (edificaciones sismorresistentes parte 2: comentarios). La finalidad de esta investigación fue analizar el efecto de impacto de oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado, para ello se llevaron a cabo los siguientes objetivos específicos: diseñar la estructura de un estanque metálico circular elevado mediante la norma COVENIN 1618 y COVENIN 1756-1-2001 (edificaciones sismorresistentes parte 1: requisitos) COVENIN 1756-2-2001 (edificaciones sismorresistentes parte 2: comentarios) sin la influencia de la fuerza de impacto de oleaje producida por sismo, diseñar la estructura de un estanque metálico circular elevado mediante la norma COVENIN 1618 y COVENIN 1756-1-2001 (edificaciones sismorresistentes parte 1: requisitos) COVENIN 1756-2-2001 (edificaciones sismorresistentes parte 2: comentarios) con la influencia de la fuerza de impacto de oleaje producida por sismo y analizar comparativamente los resultados obtenidos para determinar la incidencia de la fuerza de impacto de oleaje en el diseño de un estanque metálico circular elevado.

Para el diseño estructural del estanque metálico circular elevado se utilizó el software de diseño estructural STAAD PRO V8.

Para la metodología de la determinación de las cargas primarias, sus combinaciones y criterios de diseño se utilizaron las normas, COVENIN 1618, COVENIN 1756-1-2001 “Edificaciones sismorresistentes parte 1: requisitos”, COVENIN 1756-2-2001 “Edificaciones sismorresistentes parte 2: comentarios”, COVENIN 2003-89 “Acciones del viento en las estructuras” [4] y también con el estudio de la ACI 350-3:2001 “Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquido”[5].

## **Materiales y Métodos**

### **Diseño de la investigación**

Esta investigación tuvo un diseño no experimental y transeccional, ya que se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Se analizó el efecto del oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado mediante las normas COVENIN 1618 y 1756 parte 1 y parte 2 y mediante los resultados obtenidos se observó el comportamiento del estanque con la influencia del efecto de oleaje producido por sismo.

### **Población y muestra**

La población son todos los análisis de diseño de estanques elevados con diferentes materiales y de diferentes formas bajo los diferentes métodos de cálculo existentes.

La muestra de esta investigación es el diseño de un tanque metálico de forma cilíndrico elevado bajo el método de la teoría de la rotura.

### **Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos de esta investigación ha sido utilizando la técnica de tipo documental o bibliográfica, ya que se basó en primera instancia al uso de las normas COVENIN 1618:1998 “Estructuras de acero para edificaciones. Método de los estados límites”, COVENIN 1756-1:2001 “Edificaciones Sismorresistentes” Parte 1: Requisitos; COVENIN 1756-1:2001 “Edificaciones Sismorresistentes” Parte 2: Comentarios; y también con el estudio de ACI 350-3:2001 “Diseño Sísmico de Estructuras Contenedoras de Líquido”.

### **Resultados**

**1. Diseño de la estructura de un estanque metálico circular elevado mediante la norma COVENIN 1618 [1] y COVENIN 1756 parte 1[2] y parte 2[3] sin la influencia de la fuerza de impacto de oleaje producida por sismo**

#### **Geometría y dimensionamiento de los elementos estructurales**

El diseño está conformado por una torre aporticada de 15 mts que posee 5 niveles separados cada 3 mts, los cuales se encuentran enlazados mediante cruces de San Andrés que rigidizan los desplazamientos laterales en direcciones “X” y “Z”, las columnas presentan una sección circular de un diámetro exterior de 0.55 mts y un espesor de 0.010 mts, mientras que las vigas y las cruces de San Andrés presentan una sección circular de 0.323 mts y un espesor de 0.016 mts.

Sobre la torre se encuentra una plataforma cuadrada de 9 x 9 mts, conformada por un emparrillado metálico armado en dos direcciones de perfiles IPE 200, sobre el emparrillado descansa una losa de concreto de 0.25 mts de espesor.

Por encima de la plataforma se encuentra el tanque metálico circular de diámetro  $D = 5.00$  mts, altura de 4 mts y una cúpula esférica con una altura de 0.317 mts, donde el nivel máximo de agua alcanza los 3 mts y la cámara de aire es de 1 mts; dentro del tanque se encuentra un soporte metálico formado una viga perimetral y unas cuatro columnas curvas que se unen en la cima del tanque en un anillo de compresión, estos soportes del tanque son formados por perfiles HEA 100 con el fin de ofrecer una mayor rigidez a la estructura del tanque, el espesor de las láminas de la pared del tanque es de 0.016 mts y las láminas de la cúpula esférica tienen un espesor de 0.013 mts. En la figura 1 se muestra en perspectivas 3D, la estructura descrita.

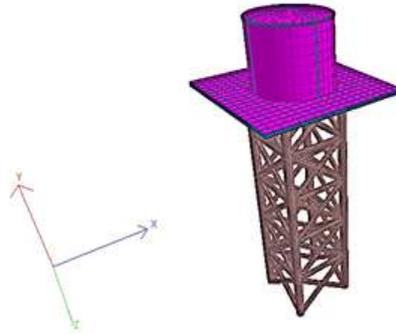
Las características de los materiales que se utilizaron son:

- Concreto:  $F'c = 180$  kgf/cm<sup>2</sup>, de resistencia a la compresión a los 28 días, libre de cloruros y sulfatos.

- Acero de refuerzo del concreto: barra estriada con un punto de fluencia  $Fy = 4200$  kgf/cm<sup>2</sup>.

- Acero de los perfiles tubulares de la torre: acero API 5LX-52, con un esfuerzo de fluencia  $Fy = 3660$  kgf/cm<sup>2</sup> y un esfuerzo ultimo  $Fu = 4640$  kgf/cm<sup>2</sup>.

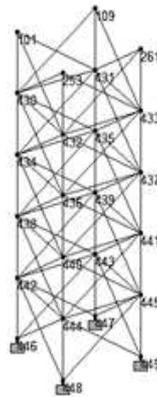
- Acero de los perfiles de la plataforma y estructura del tanque: ASTM A36 con un esfuerzo de fluencia  $Fy = 5620$  kgf/cm<sup>2</sup> y un esfuerzo ultimo  $Fu = 2530$  kgf/cm<sup>2</sup>.



**Figura 1. Perspectiva en 3D de la estructura**

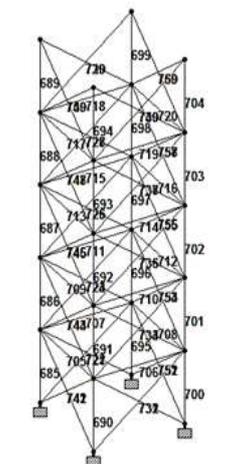
### Modelo matemático

La estructura en si misma está conformada por nodos y *beams*, los nodos son los puntos de unión entre dos o más elementos estructurales, los cuales en la torre presentan la siguiente numeración, tal como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2. Numeración de los nodos en la torre**

Los beams son los elementos estructurales que están entre nodo y nodo, cuya numeración es la siguiente, tal como se muestra en la Figura 3:



**Figura 3. Numeración de los beams en la torre**

La plataforma consta de dos tipos de elementos, el primero es el emparrillado metálico conformado por nodos y *beams* en dos direcciones, cuyas numeraciones se presentan a continuación, en las Figuras 4 y 5 respectivamente:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133
134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152
153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171
172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209
210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228
229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247
248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266
267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285
286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323
324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342
343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361

Figura 4. Numeración de los nodos del emparrillado de la plataforma

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	
400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	
457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475
127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	
476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	
495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513
163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	
514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	
533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551
199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	
552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570
217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	
571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589
235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	
590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608
253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	
609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627
271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	
628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646
289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	
647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665
307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	
666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684
325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	

Figura 5. Numeración de los beams del emparrillado de la plataforma

El segundo elemento es el piso del tanque compuesto por una losa de concreto que se apoya sobre el emparrillado metálico, esta losa está conformada por nodos y plates, cuya numeración se presenta a continuación, la Figura 6 para la numeración de los nodos y la Figura 7 para la numeración de los plates de la losa de la plataforma.

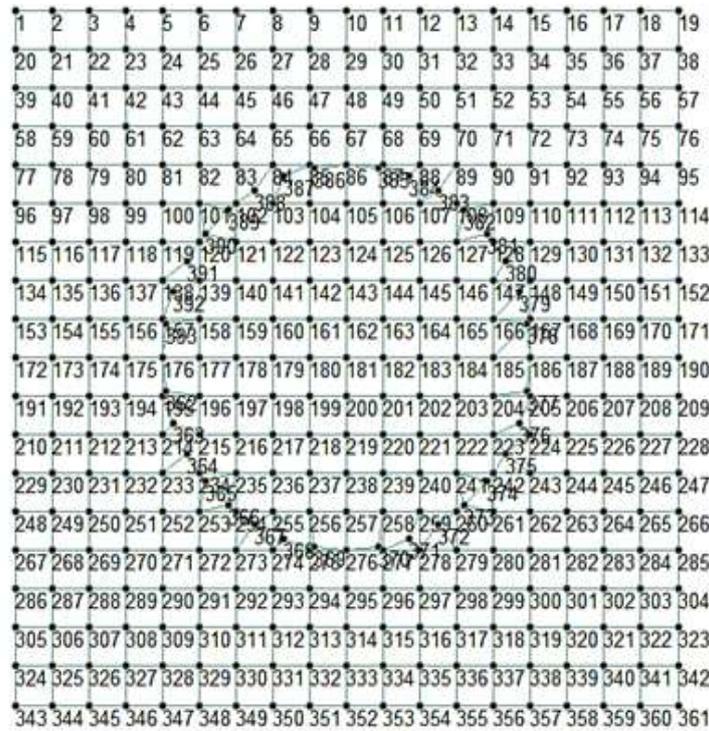


Figura 6. Numeración de los nodos de la losa de la plataforma

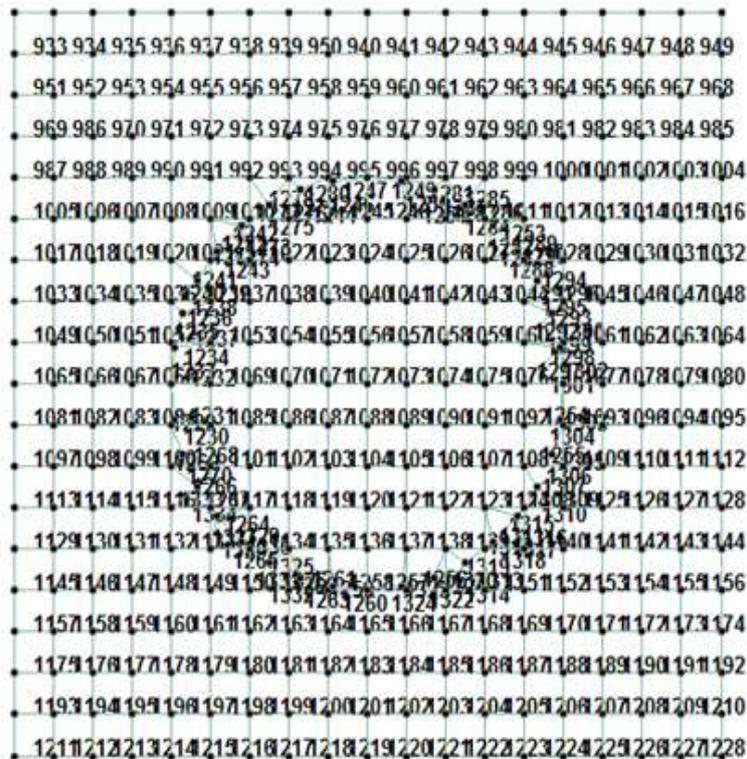


Figura 7. Numeración de los plates de la losa de la plataforma

Sobre la plataforma se encuentra el tanque el cual presenta una estructura metálica que sirve como soporte para rigidizar a este en cuestión, esta estructura está conformada por nodos y *beams* curvos, cuya numeración se presenta en la Figuras 8 y 9 para los nodos y los *beams* curvos respectivamente.

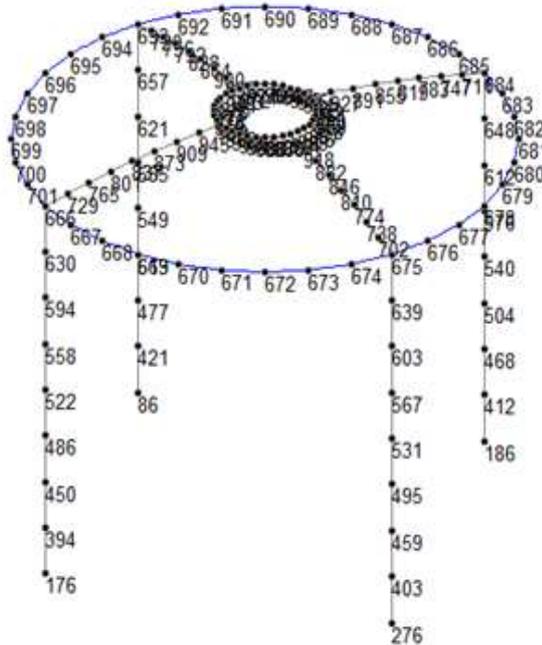


Figura 8. Numeración de los nodos de la estructura del tanque

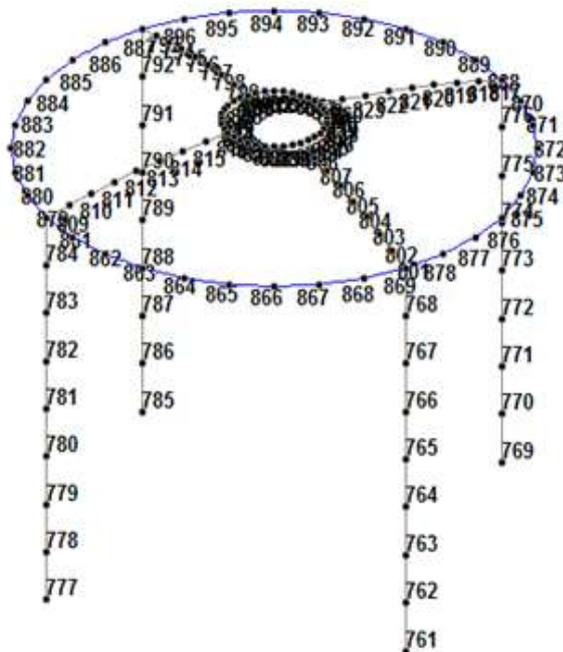


Figura 9. Numeración de los *beams* de la estructura del tanque

Las paredes del tanque están conformadas por plates curvos de manera perimetral, con un espesor de 0.016 mts, en la unión de cada uno de estos plates se encuentra un nodo, dicha numeración de los nodos y los plates se muestran en la Figura 10 y 11 respectivamente.

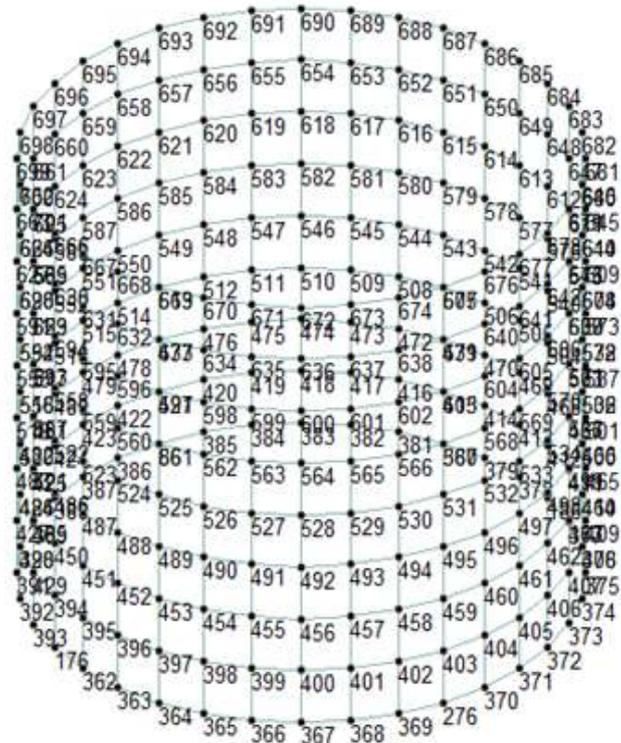


Figura 10. Numeración de los nodos de la pared del tanque

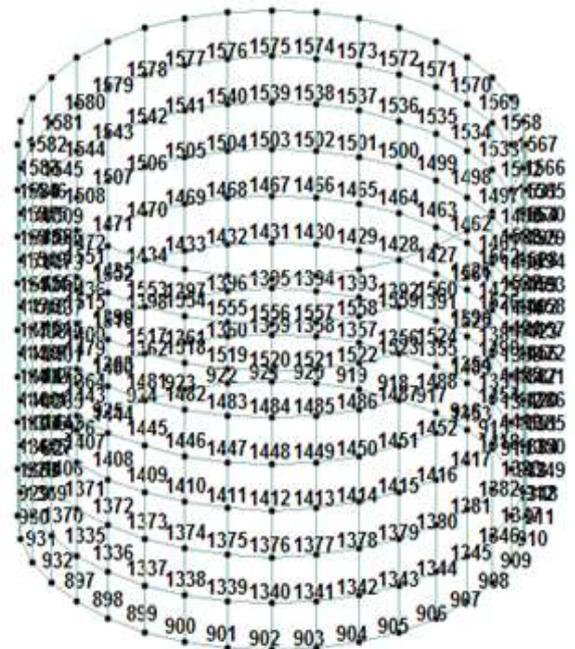


Figura 11. Numeración de los plates de la pared del tanque

Por último se tiene la cúpula esférica del tanque la cual está formada por nodos y plates de espesor de 0.013 mts, cuyas numeraciones se muestran en la Figuras 12 y 13.

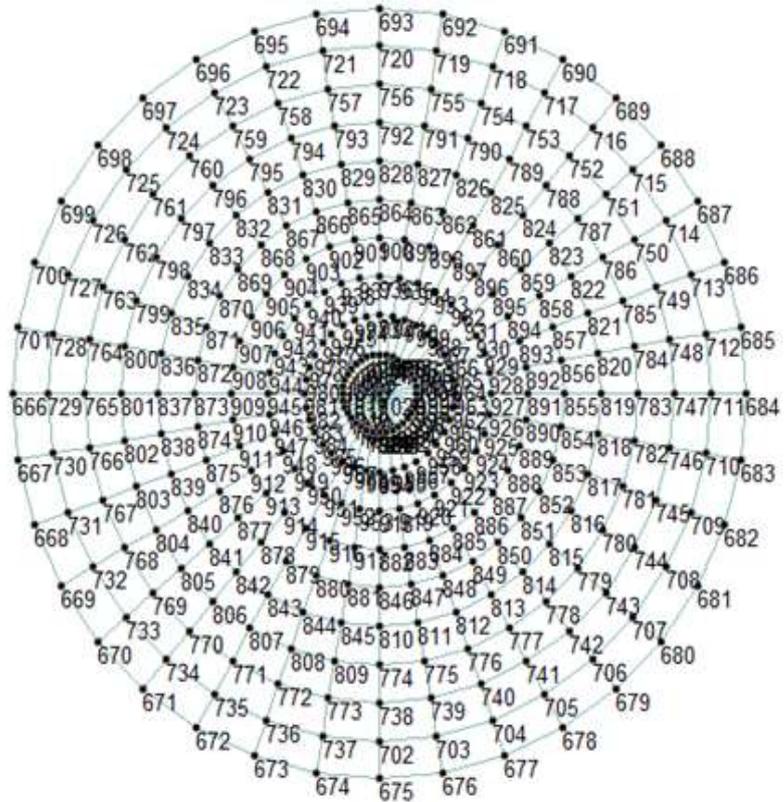


Figura 12. Numeración de los nodos de la cúpula del tanque

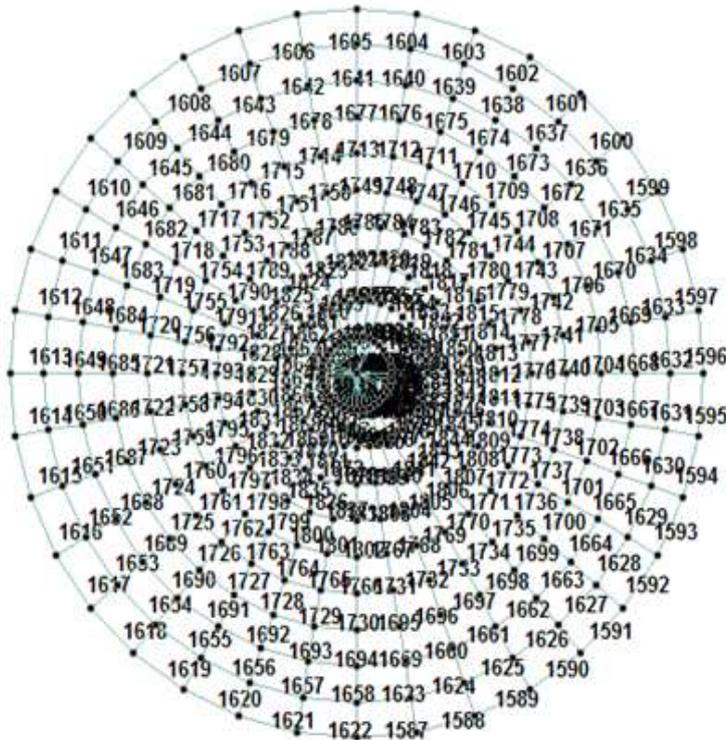


Figura 13. Numeración de los plates de la cúpula del tanque

### **Sistema de cargas**

A continuación, se presentan las cargas primarias y sus respectivas combinaciones para el análisis y diseño estructural:

#### **Cargas primarias**

1. Carga Permanente (CP)
2. Carga variable (CV)
3. Carga variable de techo (CVt)
4. Carga de viento dirección x (Wx)
5. Carga de viento dirección z (Wz)
6. Carga sísmica dirección x (Sx)
7. Carga sísmica dirección y (Sy)
8. Carga sísmica dirección z (Sz)
9. Carga de fluido (CF)
10. Carga por temperatura (CT)

#### **Combinaciones de cargas:**

10. 1.4 CP
11. 1.2 CP + 1.6 CV + 0.5 CVt
12. 1.2 CP + 1.6 CVt + 0.5 CV
13. 1.2 CP + 1.6 CVt + 0.8 Wx
14. 1.2 CP + 1.6 CVt - 0.8 Wx
15. 1.2 CP + 1.6 CVt + 0.8 Wz
16. 1.2 CP + 1.6 CVt - 0.8 Wz
17. 1.2 CP + 1.3 Wx + 0.5 CV + 0.5 CVt
18. 1.2 CP - 1.3 Wx + 0.5 CV + 0.5 CVt
19. 1.2 CP + 1.3 Wz + 0.5 CV + 0.5 CVt
20. 1.2 CP - 1.3 Wz + 0.5 CV + 0.5 CVt
21. 0.9 CP + 1.3 Wx
22. 0.9 CP - 1.3 Wx

23.  $0.9 CP + 1.3 Wz$

24.  $0.9 CP - 1.3 Wz$

25.  $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx + 0.3 Sy + 0.3 Sz \rightarrow (\gamma = 1$  en los garajes, en las áreas destinadas a concentraciones públicas y en todas aquellas áreas donde la CV sea mayor que 500. A excepción de pisos y terrazas en edif. destinadas a viviendas  $\gamma = 0.5)$

26.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 1 Sy + 0.3 Sz$

27.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 0.3 Sy + 1 Sz$

28.  $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx - 0.3 Sy - 0.3 Sz$

29.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 1 Sy - 0.3 Sz$

30.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 0.3 Sy - 1 Sz$

31.  $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx + 0.3 Sy + 0.3 Sz$

32.  $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx - 0.3 Sy + 0.3 Sz$

33.  $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx + 0.3 Sy - 0.3 Sz$

34.  $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx - 0.3 Sy + 0.3 Sz$

35.  $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx + 0.3 Sy - 0.3 Sz$

36.  $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx - 0.3 Sy - 0.3 Sz$

37.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 1 Sy + 0.3 Sz$

38.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 1 Sy + 0.3 Sz$

39.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 1 Sy - 0.3 Sz$

40.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 1 Sy + 0.3 Sz$

41.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 1 Sy - 0.3 Sz$

42.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 1 Sy - 0.3 Sz$

43.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 0.3 Sy + 1 Sz$

44.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 0.3 Sy + 1 Sz$

45.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 0.3 Sy - 1 Sz$

46.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 0.3 Sy + 1 Sz$

47.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 0.3 Sy - 1 Sz$

48.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 0.3 Sy - 1 Sz$

49.  $0.9 CP + 1 Sx + 0.3 Sy + 0.3 Sz$

50.  $0.9 CP + 0.3 Sx + 1 Sy + 0.3 Sz$

51.  $0.9 CP + 0.3 Sx + 0.3 Sy + 1 Sz$

52.  $0.9 CP - 1 Sx - 0.3 Sy - 0.3 Sz$

53.  $0.9 CP - 0.3 Sx - 1 Sy - 0.3 Sz$

54.  $0.9 CP - 0.3 Sx - 0.3 Sy - 1 Sz$

55.  $0.9 CP - 1 Sx + 0.3 Sy + 0.3 Sz$

56.  $0.9 CP + 1 Sx - 0.3 Sy + 0.3 Sz$

57.  $0.9 CP + 1 Sx + 0.3 Sy - 0.3 Sz$

58.  $0.9 CP - 1 Sx - 0.3 Sy + 0.3 Sz$

59.  $0.9 CP - 1 Sx + 0.3 Sy - 0.3 Sz$

60.  $0.9 CP + 1 Sx - 0.3 Sy - 0.3 Sz$

61.  $0.9 CP - 0.3 Sx + 1 Sy + 0.3 Sz$

62.  $0.9 CP + 0.3 Sx - 1 Sy + 0.3 Sz$

63.  $0.9 CP + 0.3 Sx + 1 Sy - 0.3 Sz$

64.  $0.9 CP - 0.3 Sx - 1 Sy + 0.3 Sz$

65.  $0.9 CP - 0.3 Sx + 1 Sy - 0.3 Sz$

66.  $0.9 CP + 0.3 Sx - 1 Sy - 0.3 Sz$

67.  $0.9 CP - 0.3 Sx + 0.3 Sy + 1 Sz$

68.  $0.9 CP + 0.3 Sx - 0.3 Sy + 1 Sz$

69.  $0.9 CP + 0.3 Sx + 0.3 Sy - 1 Sz$

70.  $0.9 CP - 0.3 Sx - 0.3 Sy + 1 Sz$

71.  $0.9 CP - 0.3 Sx + 0.3 Sy - 1 Sz$

72.  $0.9 CP + 0.3 Sx - 0.3 Sy - 1 Sz$

\*\*\*Chequeo del desplazamiento lateral\*\*\*

73.  $0.7 * D * Sx + 0.7 * D * 0.3 * Sy + 0.7 * D * 0.3 * Sz$

74.  $0.7 * D * 0.3 * Sx + 0.7 * D * Sy + 0.7 * D * 0.3 * Sz$

75.  $0.7 * D * 0.3 * Sx + 0.7 * D * 0.3 * Sy + 0.7 * D * Sz$

76. CV

77. CP + CV

\*\*\* Chequeo de presión del suelo \*\*\* Infraestructura

78.  $0.75 CP + 0.75 CV + 0.75 W_x$

79.  $0.75 CP + 0.75 CV - 0.75 W_x$

80.  $0.75 CP + 0.75 CV + 0.75 W_z$

81.  $0.75 CP + 0.75 CV - 0.75 W_z$

82.  $0.75 CP + 0.75 W_x$

83.  $0.75 CP - 0.75 W_x$

84.  $0.75 CP + 0.75 W_z$

85.  $0.75 CP - 0.75 W_z$

86.  $1.1 CP + CV + 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$

87.  $1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.72 S_y + 0.22 S_z$

88.  $1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.22 S_y + 0.72 S_z$

89.  $1.1 CP + CV - 0.72 S_x - 0.22 S_y - 0.22 S_z$

90.  $1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.72 S_y - 0.22 S_z$

91.  $1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.22 S_y - 0.72 S_z$

92.  $1.1 CP + CV - 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$

93.  $1.1 CP + CV + 0.72 S_x - 0.22 S_y + 0.22 S_z$

94.  $1.1 CP + CV + 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$

95.  $1.1 CP + CV - 0.72 S_x - 0.22 S_y + 0.22 S_z$

96.  $1.1 CP + CV - 0.72 S_x + 0.22 S_y - 0.22 S_z$

97.  $1.1 CP + CV + 0.72 S_x - 0.22 S_y - 0.22 S_z$

98.  $1.1 CP + CV - 0.22 S_x + 0.72 S_y + 0.22 S_z$

99.  $1.1 CP + CV + 0.22 S_x - 0.72 S_y + 0.22 S_z$

100.  $1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.72 S_y - 0.22 S_z$

101.  $1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.72 S_y + 0.22 S_z$

102.  $1.1 CP + CV - 0.22 S_x + 0.72 S_y - 0.22 S_z$

103. 1.1  $CP + CV + 0.22 S_x - 0.72 S_y - 0.22 S_z$
104. 1.1  $CP + CV - 0.22 S_x + 0.22 S_y + 0.72 S_z$
105. 1.1  $CP + CV + 0.22 S_x - 0.22 S_y + 0.72 S_z$
106. 1.1  $CP + CV + 0.22 S_x + 0.22 S_y - 0.72 S_z$
107. 1.1  $CP + CV - 0.22 S_x - 0.22 S_y + 0.72 S_z$
108. 1.1  $CP + CV - 0.22 S_x + 0.22 S_y - 0.72 S_z$
109. 1.1  $CP + CV + 0.22 S_x - 0.22 S_y - 0.72 S_z$
110. 0.9  $CP + 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$
111. 0.9  $CP + 0.22 S_x + 0.72 S_y + 0.22 S_z$
112. 0.9  $CP + 0.22 S_x + 0.22 S_y + 0.72 S_z$
113. 0.9  $CP - 0.72 S_x - 0.22 S_y - 0.22 S_z$
114. 0.9  $CP - 0.22 S_x - 0.72 S_y - 0.22 S_z$
115. 0.9  $CP - 0.22 S_x - 0.72 S_y - 0.72 S_z$
116. 0.9  $CP - 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$
117. 0.9  $CP + 0.72 S_x - 0.22 S_y + 0.22 S_z$
118. 0.9  $CP + 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$
119. 0.9  $CP - 0.72 S_x - 0.22 S_y + 0.22 S_z$
120. 0.9  $CP - 0.72 S_x + 0.22 S_y - 0.22 S_z$
121. 0.9  $CP + 0.72 S_x - 0.22 S_y - 0.22 S_z$
122. 0.9  $CP - 0.22 S_x + 0.72 S_y + 0.22 S_z$
123. 0.9  $CP + 0.22 S_x - 0.72 S_y + 0.22 S_z$
124. 0.9  $CP + 0.22 S_x + 0.72 S_y - 0.22 S_z$
125. 0.9  $CP - 0.22 S_x - 0.72 S_y + 0.22 S_z$
126. 0.9  $CP - 0.22 S_x + 0.72 S_y - 0.22 S_z$
127. 0.9  $CP + 0.22 S_x - 0.72 S_y - 0.22 S_z$
128. 0.9  $CP - 0.22 S_x + 0.22 S_y + 0.72 S_z$
129. 0.9  $CP + 0.22 S_x - 0.22 S_y + 0.72 S_z$
130. 0.9  $CP + 0.22 S_x + 0.22 S_y - 0.72 S_z$

131.  $0.9 CP - 0.22 S_x - 0.22 S_y + 0.72 S_z$

132.  $0.9 CP - 0.22 S_x + 0.22 S_y - 0.72 S_z$

133.  $0.9 CP + 0.22 S_x - 0.22 S_y - 0.72 S_z$

134.  $1.1 CP + CV$

**Carga permanente (CP)**

Es el peso propio de la estructura el cual es estimado por el Staad Pro.

**Carga variable (CV) y carga variable de techo (CVt)**

Fue escogida según su uso, para el techo fue 300 kgf/m<sup>2</sup> y para el techo fue de 150 kgf/m<sup>2</sup>.

**Viento.**

Carga de viento, se presentan los datos referenciales y valores de las fuerzas del viento sobre la estructura de la torre en la Tabla 1.

**Tabla 1. Análisis de viento en torres cuadradas**

ANÁLISIS DE VIENTO EN TORRES CUADRADAS		
DATOS:		
Clasificación según su uso GRUPO=	A	
Factor de importancia eólica $\alpha$ =	1.15	
Relación de esbeltez=	3.75	<5
Clasificación según las características de respuesta TIPO=	ES TIPO	
Estructura tipo=	ABIERTA	
Material de la estructura =	ACERO	
Velocidad básica del viento V(km/h)=	125	
Tipo de exposición Te=	D	
Altura máxima de la estructura sobre el terreno Z (m)=	15.00	
$\beta$ =	10	
Zg=	200	
Coefficiente de arrastre sobre una superficie k=	0.003	
Coefficiente de fricción $\mu$ =	0.83	
Y=	0.000333	
f1=	1.25	
f2=	0.001	
Mayor dimensión de la planta en la dirección analizada L(m)=	4.0000	
Período natural de vibración de la estructura 1 (seg) =	0.67500	
f3=	11.86613	
Factor relativo al perfil de presiones $\Psi$ =	0.00175	
Dimensión horizontal perpendicular al viento W (m) =	4.000	
Relación W/h=	0.266667	

Factor de resonancia $\zeta =$						0.19	
$R =$						0.003945	
$\lambda =$						1.12	
Coeficiente de amortiguamiento estructural $\varepsilon =$						0.01	
Factor de exposición (intensidad de turbulencia) $\delta_1 =$						0.166996	
Factor de respuesta ante ráfagas $G_h =$						1.411031	
$K_z =$						1.20797	$Z_m \leq 4.50$
$K_z =$						1.536852	$Z_m > 4.50$
Presión dinámica $q_z$ (kg/m <sup>2</sup> ) =						105.273	$Z_m \leq 4.50$
Presión dinámica $q_z$ (kg/m <sup>2</sup> ) =						133.934	$Z_m > 4.50$
Descripción	Tipo de Perfil	Ancho (m)	Longitud (m)	Cantidad	Área (m <sup>2</sup> )		
Verticales		0.55	3	2	3.3		
Horiz		0.323	4	2	2.584		
Diagonales		0.323	5	2	3.23		
$A_2 =$	5.81400	Para un modulo		$A_f =$	9.11400	m <sup>2</sup>	
$A_1 =$	3.30000						
Área proyectada de un módulo $A$ (m <sup>2</sup> ) =						12	
Área efectiva $A_e = A_f$ (m <sup>2</sup> ) =						9.11400	
Relacion $A_e/A =$						0.7595	
Coeficiente forma(perfiles de caras planas y cantos vivos) $C_{f1}$						1.8	
Coeficiente forma (perfiles de caras curvas) $C_{f2} =$						1.761957	
Coeficiente de forma ponderado $C_{fp} =$						1.8	
Presión 1 (Kg/m <sup>2</sup> ) =						267.3776	$Z \leq 4.50m$
Presión 2 (Kg/m <sup>2</sup> ) =						340.1737	$Z > 4.50m$
FUERZA F1 (kg) =						2436.879	$Z \leq 4.50m$
FUERZA F2 (kg) =						3100.343	$Z > 4.50m$
<b>FUERZAS DE VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA</b>							
<b>DE LA TORRE</b>							
	Nº	P1=P2	P3=P4				
	(kg)	(kg)					
	E-0	1218.5	1218.5		2437		
	E-1	1266	1266		2532		
	E-2	1361	1361		2722		
	E-3	1455.5	1455.5		2911		
	E-4	1550.5	1550.5		3101		
<b>PRESION EN EL TANQUE</b>							
Pr tanque= 350.2622 kgf/m <sup>2</sup>				Pr barlovento= 281.00			
Pr sotavento= -176.00							

**Sismo**

Carga sísmica, se presenta los valores de los espectros elásticos, horizontal y vertical en la Tabla 2 y de manera gráfica en la Figura 14.

**Tabla 2. Tabla de valores de carga sísmica**

		Tabla de valores					
To	0.2500	ESP. ELÁSTICO		ESP. HORIZON- TAL		ESP. VERTICAL	
		Espectro de Respues- ta	Espectro de Dise- ño H	Espectro de diseño	vertical		
T*	1.0000						
T+	0.3000	0.0000	0.3900	0.0000	0.3900	0.0000	0.2730
T+ def	0.3000	0.0500	0.5304	0.0500	0.3563	0.0500	0.2494
R	4.00	0.1000	0.6708	0.1000	0.3280	0.1000	0.2296
C	1.0933	0.1500	0.8112	0.1500	0.3080	0.1500	0.2156
a	1.3000	0.200	0.9516	0.2000	0.2933	0.2000	0.2053
b	2.8000	0.2500	1.0920	0.2500	0.2820	0.2500	0.1974
F	1.0000	0.3000	1.0920	0.3000	0.2730	0.3000	0.1911
Ao	0.3000	0.3500	1.0920	0.3500	0.2730	0.3500	0.1911
p	1.0000	0.4000	1.0920	0.4000	0.2730	0.4000	0.1911
		0.4500	1.0920	0.4500	0.2730	0.4500	0.1911
		0.5000	1.0920	0.5000	0.2730	0.5000	0.1911
		0.5500	1.0920	0.5500	0.2730	0.5500	0.1911
		0.6000	1.0920	0.6000	0.2730	0.6000	0.1911
		0.6500	1.0920	0.6500	0.2730	0.6500	0.1911
		0.7000	1.0920	0.7000	0.2730	0.7000	0.1911
		0.7500	1.0920	0.7500	0.2730	0.7500	0.1911
		0.8000	1.0920	0.8000	0.2730	0.8000	0.1911
		0.8500	1.0920	0.8500	0.2730	0.8500	0.1911
		0.9000	1.0920	0.9000	0.2730	0.9000	0.1911
		0.9500	1.0920	0.9500	0.2730	0.9500	0.1911
		1.0000	1.0920	1.0000	0.2730	1.0000	0.1911
		1.0500	1.0400	1.0500	0.2600	1.0500	0.1820
		1.1000	0.09927	1.1000	0.2482	1.1000	0.1737
		1.1500	0.9496	1.1500	0.2374	1.1500	0.1662
		1.2000	0.9100	1.2000	0.2275	1.2000	0.1593
		1.2500	0.8736	1.2500	0.2184	1.2500	0.1523
		1.3000	0.8400	1.3000	0.2100	1.3000	0.1470
		1.3500	0.8089	1.3500	0.2022	1.3500	0.1416
		1.4000	0.7800	1.4000	0.1950	1.4000	0.1365
		1.4500	0.7531	1.4500	0.1883	1.4500	0.1318
		1.5000	0.7280	1.5000	0.1820	1.5000	0.1274
		1.5500	0.7045	1.5500	0.1761	1.5500	0.1233
		1.6000	0.6825	1.6000	0.1706	1.6000	0.1194

1.6500	0.6618	1.6500	0.1655	1.6500	0.1158
1.7000	0.6424	1.7000	0.1606	1.7000	0.1124
1.7500	0.6240	1.7500	0.1560	1.7500	0.1092
1.8000	0.6067	1.8000	0.1517	1.8000	0.1062
1.8500	0.5903	1.8500	0.1476	1.8500	0.1033
1.9000	0.5747	1.9000	0.1437	1.9000	0.1006
1.9500	0.5600	1.9500	0.1400	1.9500	0.0980
2.0000	0.5460	2.0000	0.1365	2.0000	0.0956
2.0500	0.5327	2.0500	0.1332	2.0500	0.0932
2.1000	0.5200	2.1000	0.1300	2.1000	0.0910
2.1500	0.5079	2.1500	0.1270	2.1500	0.0889
2.2000	0.4964	2.2000	0.1241	2.2000	0.0869
2.2500	0.4853	2.2500	0.1213	2.2500	0.0849
2.3000	0.4748	2.3000	0.1187	2.3000	0.0831
2.3500	0.4647	2.3500	0.1162	2.3500	0.0813
2.4000	0.4550	2.4000	0.1138	2.4000	0.0796
2.4500	0.4457	2.4500	0.1114	2.4500	0.0780
2.5000	0.4368	2.5000	0.1092	2.5000	0.0764
3.5000	0.3120	3.5000	0.0780	3.5000	0.0546
4.5000	0.2427	4.5000	0.0607	4.5000	0.0425
5.5000	0.1985	5.5000	0.0496	5.5000	0.0347
6.5000	0.1680	6.5000	0.0420	6.5000	0.0294
7.5000	0.1456	7.5000	0.0364	7.5000	0.0255

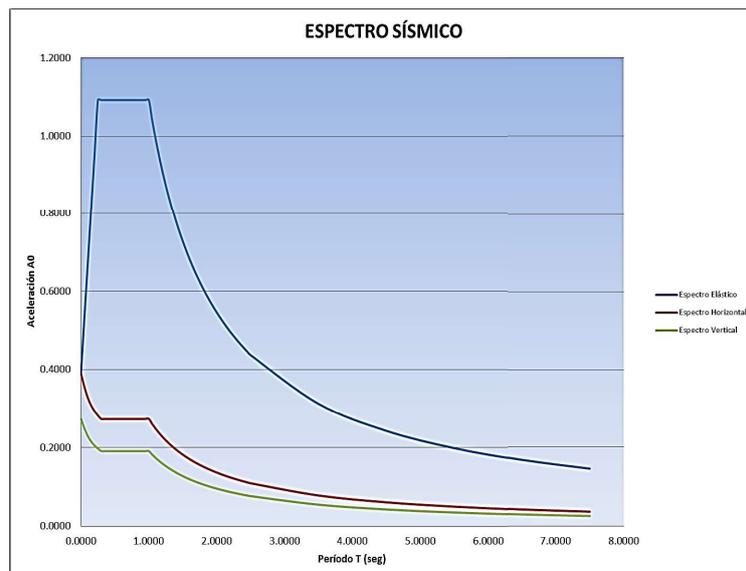


Figura 14. Espectro sísmico de diseño (Hoja de cálculo de Microsoft Excel)

### Carga hidrostática de fluido

Una carga uniformemente variable en la pared del tanque (forma triangular) siendo 0 en la superficie del líquido y 3000 kgf/m<sup>2</sup> y una carga uniformemente distribuida en el fondo del tanque de 3000 kgf/m<sup>2</sup>.

### Carga por temperatura

Se ha tomado como carga mínima por temperatura un diferencial de temperatura  $\Delta T = 20$  C.

### Análisis de resultados

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a las variables que resultaron de interés para la verificación y caracterización del comportamiento del sistema estructural propuesto, se utilizó STAAD Pro-V8i Profesional, como herramienta para aplicar los métodos de análisis.

### Período de la estructura $T_e$ (seg)

En la Tabla 3 se muestran el valor del periodo de la estructura, el cual debe estar fuera del intervalo  $0.30 > T_e > 1.00$  para que la edificación no entre en resonancia. En este diseño el periodo de vibración de la estructura fue de 0.26837 seg mostrado en la Tabla 3 dicho valor se encuentra fuera del intervalo de resonancia, lo cual cumple con el criterio establecido en la norma COVENIN 1756.

**Tabla 3. Período de la estructura**

CALCULATED FREQUENCIES FOR LOAD CASE 6			
MODE	FREQUENCY (CY- CLES/SEC)	PERIOD(SEC)	ACCURACY
1	3.726	0.26837	2.074E16
2	3.726	0.26837	2.074E16
3	6.033	0.16576	1.583E-16
4	9.312	0.10739	5.313E-16
5	10.621	0.9415	6.126E-16
6	10.624	0.09412	2.041E-16

Masa participativa en dirección "X"

En la Tabla 4, en la columna de la izquierda se presentan los resultados de la masa participativa en dirección "X" para el sistema estructural. El % de la masa participativa en dirección X debe ser mayor o igual al 90%: el porcentaje de masa participativa obtenido es de 98.214% siendo este mayor al 90% lo cual cumple con el criterio establecido por la norma COVENIN 1756.

**Tabla 4. Masa participativa y corte basal en dirección "X"**

MAS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT							BASE SHEAR IN KG			
MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z	
94	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
95	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
96	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
97	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
98	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.02	0.00	0.00	
99	0.05	0.00	0.00	98.212	88.904	98.163	53.66	0.00	0.00	
100	0.00	0.00	0.05	98.214	88.904	98.213	1.85	0.00	0.00	
-----										
<b>Total SRSS</b>							<b>SHEAR</b>	66667.72	0.00	0.00
<b>Total 10 PCT</b>							<b>SHEAR</b>	70637.70	0.00	0.00
<b>Total ABS</b>							<b>SHEAR</b>	79222.29	0.00	0.00
<b>Total CQC</b>							<b>SHEAR</b>	70668.38	0.00	0.00

### Corte basal en dirección “X”

El valor obtenido del corte basal en dirección “X” es de  $V_{bx} = 70.668.38$  kgf como se muestra en la Tabla 4, el cual cumple el chequeo del coeficiente sísmico y control del corte basal.

### Masa participativa en dirección “Z”

En la Tabla 5, en la columna de la izquierda se presentan los resultados de la masa participativa en dirección “Z” para el sistema estructural. El % de la masa participativa en dirección Z debe ser mayor o igual al 90%: el porcentaje de masa participativa obtenido es de 98.213% siendo este mayor al 90% lo cual cumple con el criterio establecido por la norma COVENIN 1756[2].

**Tabla 5. Masa participativa y corte basal en dirección “Z”**

MAS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT							BASE SHEAR IN KG			
MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z	
94	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
95	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
96	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
97	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
98	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
99	0.05	0.00	0.00	98.212	88.904	98.163	0.00	0.00	1.87	
100	0.00	0.00	0.05	98.214	88.904	98.213	0.00	0.00	53.61	
							-----			
<b>Total SRSS</b>							<b>SHEAR</b>	0.00	0.00	66667.80
<b>Total 10 PCT</b>							<b>SHEAR</b>	0.00	0.00	70638.83
<b>Total ABS</b>							<b>SHEAR</b>	0.00	0.00	79221.74
<b>Total CQC</b>							<b>SHEAR</b>	0.00	0.00	70668.89

### Corte basal en dirección “Z”

El valor obtenido del corte basal en dirección “Z” es de  $V_{bz} = 70.668.89$  kgf como se muestra en la Tabla 5, el cual cumple chequeo del coeficiente sísmico y control del corte basal.

### Deformación vertical:

A continuación, se presentan los resultados de los deformación verticales del sistema estructural, en la Tabla 6 se muestra que la deformación máxima actuante para la combinación de carga LOAD COMB 78 CP + CV es de  $\Delta V_{act} = 4.738$  mm. La deformación admisible no es más que la relación de la luz del volado entre doscientos (200.00),  $\Delta V_{adm} = 2,000.00$  mm/200.00. Siendo el desplazamiento en dirección “Y” menor que el valor admisible ( $\Delta V_{adm} = 10.00$  mm), por tal motivo cumple con criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1618.

**Tabla 6. Máxima deformación vertical (Y)**

			Horizon- tal	Vertical	Horizontal	Result- tant	Rotational		
	Node	L/C	X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	rZ rad
Max X	504	78 CP+CV	<b>0.117</b>	-0.266	-0.000	0.291	-0.000	0.000	-0.000
Min X	486	78 CP+CV	<b>-0.119</b>	-0.266	-0.000	0.292	-0.000	-0.000	0.000
Max Y	181	78 CP+CV	-0.001	<b>0.215</b>	-0.000	0.215	0.000	0.000	-0.000
Min Y	1	78 CP+CV	-0.002	<b>-4.738</b>	-0.001	4.738	-0.001	0.000	0.001
Max Z	508	78 CP+CV	-0.11	-0.25	<b>0.110</b>	0.294	0.000	0.000	0.000
Min Z	500	78 CP+CV	-0.11	-0.25	<b>-0.110</b>	0.294	-0.000	-0.000	0.000
Max rX	319	78 CP+CV	0.000	-1.874	0.001	1.874	<b>0.001</b>	0.000	-0.001
Min rX	43	78 CP+CV	-0.002	-1.876	-0.002	1.876	<b>-0.001</b>	0.000	0.001
Max rY	498	78 CP+CV	-0.051	-0.253	-0.021	0.259	-0.000	<b>0.000</b>	0.000
Min rY	510	78 CP+CV	-0.052	-0.253	0.020	0.259	0.000	<b>-0.000</b>	0.000
Max rZ	79	78 CP+CV	-0.002	-1.875	-0.001	1.875	-0.001	-0.000	<b>0.001</b>
Min rZ	283	78 CP+CV	0.001	-1.874	0.001	1.874	0.001	-0.000	<b>-0.001</b>
Max Rs	1	78 CP+CV	-0.002	-4738	-0.001	4.738	-0.001	0.000	0.001

#### Deformación lateral en dirección “X”

En la Tabla 7 se evidenció el máximo desplazamiento lateral en dirección “X”, mientras que en la Tabla 8 se observó la ubicación del nodo con el mayor desplazamiento lateral en dirección “X”, el cual fue en el nodo 1026, dicho desplazamiento tuvo un valor de  $\Delta Lx_{act} = 17.918$  mm, este valor debe multiplicarse por 0.8 para obtener el desplazamiento elástico  $\Delta Lx_E = 17.918$  mm x 0.8 = 14.3344 mm.

Al desplazamiento elástico de este nodo se le debe restar el desplazamiento elástico del nodo inferior inmediato para poder obtener la deriva, dicho nodo es el 181 (que se observó en la figura 15 y su desplazamiento en la Tabla 8) y tiene un desplazamiento de  $\Delta Lx_{act} = 13.789$  mm, el cual, al multiplicarse por 0.8 se obtuvo el desplazamiento elástico  $\Delta Lx_E = 13.789$  mm x 0.8 = 11.0312 mm; obtenido este valor se proceden a restar los desplazamientos para obtener la deriva  $\delta_x = 14.3344$  mm – 11.0312 mm = 3.3032 mm.

El factor (FKx) actuante es la relación entre la deriva y la altura entre los dos nodos consecutivos de estudio por lo que el factor  $FKx_{act} = 3.3032$  mm / 4,317.00 mm = 0.000765, siendo el  $FKx_{act}$  menor que el admisible  $FK_{adm} = 0.012$ , por tal motivo se da cumplimiento al criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1756:2001.

Tabla 7. Máximos desplazamientos laterales en direcciones “X” y “Z” en el nodo 1026

	Node	L/C	Horiz- zontal	Verti- cal	Horiz- zontal	Result- tant	Rotational		
			X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	xZ rad
Max X	1026	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	<b>17.918</b>	0.229	5.376	18.709	0.000	0.000	0.001
Min X	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	<b>0.000</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Y	361	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	13.789	<b>6.949</b>	4.143	15.987	0.001	0.000	0.001
Min Y	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	<b>0.000</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Z	1026	74 2.8 SX+0.84 SY+2.84 SZ	5.377	0.229	<b>17.918</b>	18.709	0.001	0.000	0.000
Min Z	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.000	0.000	0.000	0.000
Max rX	361	74 2.8 SX+0.84 SY+2.84 SZ	4.142	6.947	13.787	15.985	<b>0.001</b>	0.000	0.001
Min rX	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.000	0.000
Max rY	519	74 2.8 SX+0.84 SY+2.84 SZ	4.797	1.937	15.282	16.134	0.001	<b>0.001</b>	0.000
Min rY	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.000
Max rZ	361	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	13.789	6.949	4.143	15.987	0.001	0.000	<b>0.001</b>
Min rZ	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.000</b>
Max Rs	1024	74 2.8 SX+0.84 SY+2.84 SZ	5.376	0.478	17.916	<b>18.711</b>	0.001	0.000	0.000

Tabla 8. Máximos desplazamientos laterales en direcciones “X” y “Z” en el nodo 181

Node	L/C	Horiz- zontal	Verti- cal	Horiz- zontal	Result- tant	Rotational		
		X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	rZ rad
181	742.8SX+0	13.789	0.552	4.137	14.407	0.000	0.000	0.001
	762.8SX+	4.137	0.552	13.789	14.407	0.001	0.000	0.000
182	742.8SX+0	13.789	1.000	4.137	14.431	0.000	0.000	0.001
	762.8SX+	4.137	0.67	13.788	14.411	0.001	0.000	0.000
183	742.8SX+0	13.789	1.407	4.136	14.465	0.000	0.000	0.001
	762.8SX+	4.137	0.746	13.786	14.412	0.001	0.000	0.000

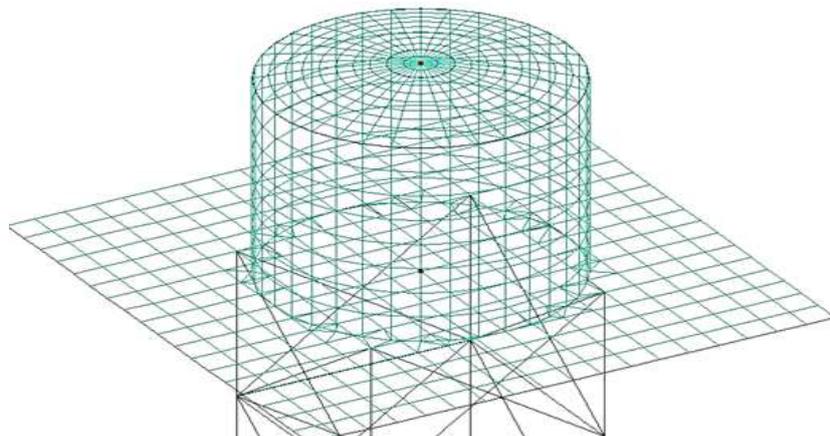


Figura 15. Nodos 1026 y 181

### **Deformación lateral en dirección “Z”**

En la Tabla 9 se muestra el máximo desplazamiento lateral en dirección “Z”, mientras que en la Figura 15 se observó la ubicación del nodo con el mayor desplazamiento lateral en dirección “Z”, el cual fue en el nodo 1026, dicho desplazamiento tuvo un valor de  $\Delta Lz_{act} = 17.918$  mm, este valor debe multiplicarse por 0.8 para obtener el desplazamiento elástico  $\Delta Lz_E = 17.918$  mm x 0.8 = 14.3344 mm.

Al desplazamiento elástico de este nodo se le debe restar el desplazamiento elástico del nodo inferior inmediato para poder obtener la deriva, dicho nodo es el 181 (que se observó en la figura 15 y su desplazamiento en la Tabla 8) y tiene un desplazamiento de  $\Delta Lz_{act} = 13.789$  mm, el cual, al multiplicarse por 0.8 se obtuvo el desplazamiento elástico  $\Delta Lz_E = 13.789$  mm x 0.8 = 11.0312 mm; obtenido este valor se proceden a restar los desplazamientos  $\delta_z = 14.3344$  mm – 11.0312 mm = 3.3032 mm.

El factor (FKz) actuante es la relación entre la deriva y la altura de entrepiso por lo que el factor  $FKz_{act} = 3.3032$  mm / 4,317.00 mm = 0.000765, siendo el  $FKz_{act}$  menor que el admisible  $FK_{adm} = 0.012$ , por tal motivo se da cumplimiento al criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1756:2001.

### **Ratio**

El miembro 785 presenta un valor de ratio actuante máximo de 0.372, el cual, es menor a 1, por consiguiente cumple con la norma COVENIN 1618[1].

El ratio mayor actuante en las columnas es de 0.153 correspondiente a los elementos estructurales 685, 690, 695 y 700, los cuales cumplen con la norma COVENIN 1618[1].

### **Losa**

Barra estriada #5 (5/8”) a/c 0.15 m, dos capas armadas en dos direcciones.

## **2. Estructura de un estanque metálico circular elevado mediante la norma [1] y [2][3] con la influencia de la fuerza de impacto de oleaje producida por sismo.**

### **Geometría y dimensionamiento de los elementos estructurales**

La geometría los elementos estructurales ya fueron definidos anteriormente (véase sección Resultados, punto 1)

### **Modelo matemático**

El modelo matemático de la estructura ya fue definido anteriormente en la sección anterior (véase sección Resultados, punto 1, Modelo matemático)

### **Sistema de cargas**

A continuación, se presentan las cargas primarias y sus respectivas combinaciones para el análisis y diseño estructural:

### **Cargas primarias**

1. Carga Permanente (CP)
2. Carga variable (CV)

3. Carga variable de techo (CVt)
4. Carga de viento dirección x ( $W_x$ )
5. Carga de viento dirección z ( $W_z$ )
6. Carga sísmica dirección x ( $S_x$ )
7. Carga sísmica dirección y ( $S_y$ )
8. Carga sísmica dirección z ( $S_z$ )
9. Carga de fluido (CF)
10. Carga por temperatura (CT)
11. Carga hidrodinámica en X positivo
12. Carga hidrodinámica en X negativo
13. Carga hidrodinámica en Z positivo
14. Carga hidrodinámica en Z negativo

#### **Combinaciones de cargas**

15. 1.4 CP
16. 1.2 CP + 1.6 CV + 0.5 CVt
17. 1.2 CP + 1.6 CVt + 0.5 CV
18. 1.2 CP + 1.6 CVt + 0.8  $W_x$
19. 1.2 CP + 1.6 CVt - 0.8  $W_x$
20. 1.2 CP + 1.6 CVt + 0.8  $W_z$
21. 1.2 CP + 1.6 CVt - 0.8  $W_z$
22. 1.2 CP + 1.3  $W_x$  + 0.5 CV + 0.5 CVt
23. 1.2 CP - 1.3  $W_x$  + 0.5 CV + 0.5 CVt
24. 1.2 CP + 1.3  $W_z$  + 0.5 CV + 0.5 CVt
25. 1.2 CP - 1.3  $W_z$  + 0.5 CV + 0.5 CVt
26. 0.9 CP + 1.3  $W_x$
27. 0.9 CP - 1.3  $W_x$
28. 0.9 CP + 1.3  $W_z$
29. 0.9 CP - 1.3  $W_z$

30.  $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx + 0.3 Sy + 0.3 Sz + 1.6 CHZP \rightarrow (\gamma = 1$  en los garajes, en las áreas destinadas a concentraciones públicas y en todas aquellas áreas donde la CV sea mayor que 500. A excepción de pisos y terrazas en edif. destinadas a viviendas  $\gamma = 0.5)$

31.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 1 Sy + 0.3 Sz$

32.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 0.3 Sy + 1 Sz + 1.6 CHZP$

33.  $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx - 0.3 Sy - 0.3 Sz + 1.6 CHXN$

34.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 1 Sy - 0.3 Sz$

35.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 0.3 Sy - 1 Sz + 1.6 CHZN$

36.  $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx + 0.3 Sy + 0.3 Sz + 1.6 CHXN$

37.  $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx - 0.3 Sy + 0.3 Sz + 1.6 CHXP$

38.  $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx + 0.3 Sy - 0.3 Sz + 1.6 CHXP$

39.  $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx - 0.3 Sy + 0.3 Sz + 1.6 CHXN$

40.  $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx + 0.3 Sy - 0.3 Sz + 1.6 CHXN$

41.  $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx - 0.3 Sy - 0.3 Sz + 1.6 CHXP$

42.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 1 Sy + 0.3 Sz$

43.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 1 Sy + 0.3 Sz$

44.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 1 Sy - 0.3 Sz$

45.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 1 Sy + 0.3 Sz$

46.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 1 Sy - 0.3 Sz$

47.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 1 Sy - 0.3 Sz$

48.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 0.3 Sy + 1 Sz + 1.6 CHZP$

49.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 0.3 Sy + 1 Sz + 1.6 CHZP$

50.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 0.3 Sy - 1 Sz + 1.6 CHZN$

51.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 0.3 Sy + 1 Sz + 1.6 CHZP$

52.  $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 0.3 Sy - 1 Sz + 1.6 CHZN$

53.  $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 0.3 Sy - 1 Sz + 1.6 CHZN$

54.  $0.9 CP + 1 Sx + 0.3 Sy + 0.3 Sz + 1.6 CHXP$

55.  $0.9 CP + 0.3 Sx + 1 Sy + 0.3 Sz$

56.  $0.9 CP + 0.3 S_x + 0.3 S_y + 1 S_z + 1.6 CHZP$
57.  $0.9 CP - 1 S_x - 0.3 S_y - 0.3 S_z + 1.6 CHXN$
58.  $0.9 CP - 0.3 S_x - 1 S_y - 0.3 S_z$
59.  $0.9 CP - 0.3 S_x - 0.3 S_y - 1 S_z + 1.6 CHZN$
60.  $0.9 CP - 1 S_x + 0.3 S_y + 0.3 S_z + 1.6 CHXN$
61.  $0.9 CP + 1 S_x - 0.3 S_y + 0.3 S_z + 1.6 CHXP$
62.  $0.9 CP + 1 S_x + 0.3 S_y - 0.3 S_z + 1.6 CHXP$
63.  $0.9 CP - 1 S_x - 0.3 S_y + 0.3 S_z + 1.6 CHXN$
64.  $0.9 CP - 1 S_x + 0.3 S_y - 0.3 S_z + 1.6 CHXN$
65.  $0.9 CP + 1 S_x - 0.3 S_y - 0.3 S_z + 1.6 CHXP$
66.  $0.9 CP - 0.3 S_x + 1 S_y + 0.3 S_z$
67.  $0.9 CP + 0.3 S_x - 1 S_y + 0.3 S_z$
68.  $0.9 CP + 0.3 S_x + 1 S_y - 0.3 S_z$
69.  $0.9 CP - 0.3 S_x - 1 S_y + 0.3 S_z$
70.  $0.9 CP - 0.3 S_x + 1 S_y - 0.3 S_z$
71.  $0.9 CP + 0.3 S_x - 1 S_y - 0.3 S_z$
72.  $0.9 CP - 0.3 S_x + 0.3 S_y + 1 S_z + 1.6 CHZP$
73.  $0.9 CP + 0.3 S_x - 0.3 S_y + 1 S_z + 1.6 CHZP$
74.  $0.9 CP + 0.3 S_x + 0.3 S_y - 1 S_z + 1.6 CHZN$
75.  $0.9 CP - 0.3 S_x - 0.3 S_y + 1 S_z + 1.6 CHZP$
76.  $0.9 CP - 0.3 S_x + 0.3 S_y - 1 S_z + 1.6 CHZN$
77.  $0.9 CP + 0.3 S_x - 0.3 S_y - 1 S_z + 1.6 CHZN$
- \*\*\*Chequeo del desplazamiento lateral\*\*\*
78.  $0.7 * D * S_x + 0.7 * D * 0.3 * S_y + 0.7 * D * 0.3 * S_z + 1.6 CHXP$
79.  $0.7 * D * 0.3 * S_x + 0.7 * D * S_y + 0.7 * D * 0.3 * S_z$
80.  $0.7 * D * 0.3 * S_x + 0.7 * D * 0.3 * S_y + 0.7 * D * S_z + 1.6 CHZP$
81. CV
82. CP + CV

\*\*\* Chequeo de presión del suelo \*\*\* Infraestructura

$$83. 0.75 CP + 0.75 CV + 0.75 W_x$$

$$84. 0.75 CP + 0.75 CV - 0.75 W_x$$

$$85. 0.75 CP + 0.75 CV + 0.75 W_z$$

$$86. 0.75 CP + 0.75 CV - 0.75 W_z$$

$$87. 0.75 CP + 0.75 W_x$$

$$88. 0.75 CP - 0.75 W_x$$

$$89. 0.75 CP + 0.75 W_z$$

$$90. 0.75 CP - 0.75 W_z$$

$$91. 1.1 CP + CV + 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$$

$$92. 1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.72 S_y + 0.22 S_z$$

$$93. 1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.22 S_y + 0.72 S_z$$

$$94. 1.1 CP + CV - 0.72 S_x - 0.22 S_y - 0.22 S_z$$

$$95. 1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.72 S_y - 0.22 S_z$$

$$96. 1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.22 S_y - 0.72 S_z$$

$$1.1 CP + CV - 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$$

$$97. 1.1 CP + CV + 0.72 S_x - 0.22 S_y + 0.22 S_z$$

$$98. 1.1 CP + CV + 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$$

$$99. 1.1 CP + CV - 0.72 S_x - 0.22 S_y + 0.22 S_z$$

$$100. 1.1 CP + CV - 0.72 S_x + 0.22 S_y - 0.22 S_z$$

$$101. 1.1 CP + CV + 0.72 S_x - 0.22 S_y - 0.22 S_z$$

$$1.1 CP + CV - 0.22 S_x + 0.72 S_y + 0.22 S_z$$

$$102. 1.1 CP + CV + 0.22 S_x - 0.72 S_y + 0.22 S_z$$

$$103. 1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.72 S_y - 0.22 S_z$$

$$104. 1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.72 S_y + 0.22 S_z$$

$$105. 1.1 CP + CV - 0.22 S_x + 0.72 S_y - 0.22 S_z$$

$$106. 1.1 CP + CV + 0.22 S_x - 0.72 S_y - 0.22 S_z$$

$$107. 1.1 CP + CV - 0.22 S_x + 0.22 S_y + 0.72 S_z$$

$$108. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} + 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$109. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} + 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$110. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} - 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$111. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} - 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$112. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} + 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$113. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$114. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$115. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$116. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$117. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$118. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$119. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$120. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$121. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$122. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$123. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$124. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$125. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$126. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$127. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$128. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$129. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$130. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$131. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$132. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$133. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$134. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$135. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$136. 0.9 CP + 0.22 Sx - 0.22 Sy - 0.72 Sz$$

$$137. 1.1 CP + CV$$

Los cálculos de las cargas primarias para este diseño se realizaron de la misma manera que para el diseño 1, a excepción de la carga hidrodinámica.

### Carga hidrodinámica

#### 1. Presión hidrodinámica impulsiva

- Presión hidrodinámica impulsiva en la pared

$$P_{IW} = Q_{IW}(Y)(Ah)_i p g \cos(\theta)$$

$$Q_{IW} = 0.866[1 - (Y/h)^2] \tanh(0.866) \quad \text{Máxima presión ocurrirá con } \theta = 0$$

- En la base del tanque  $y = 0$

$$Q_{IW}(Y=0) = 0.866 \left[ 1 - \left( \frac{0}{3} \right)^2 \right] \tanh(0.866) \quad (0.866)$$

$$Q_{IW} = 0.77$$

- Presión impulsiva en la base de la pared ( $Y=0$ )

$$(9.81m/s) (3m) \cos(0)$$

$$P_{IW} = 4.47 Kn / m (1000 / (9.81m / ? seg^2)) = 455.994 kg / m^2$$

Presión hidrodinámica impulsiva en la base de la losa ( $Y=0$ )

$$P_{ib} = 0.866(0.1974)(1000kg / m^3)(9.81m / seg^2)(3m) \sinh\left(0.866 \frac{5m}{2} 3m\right) / \cos \cos h\left(0.866 \frac{5m}{2} 3m\right)$$

$$P_{ib} = 3.108 Kn / m^2 1000 / (9.81m / ? seg^2)) = 316.91 kg / m^2 ? 317 kg / m^2$$

#### 2. Presión hidrodinámica convectiva

- Presión hidrodinámica convectiva en la pared

$$P_{CW} = Q_{CW}(Y)(Ah)_C$$

$$Q_{CW} = 0.5625 \cosh\left(3.67 \left(\frac{y}{d}\right)\right) / \cosh\left(3.674 \left(\frac{h}{D}\right)\right) y$$

- Máxima presión ocurrirá con  $\theta = 0$

- En la base de la pared  $y = 0$

$$Q_{CW}(Y=0) = 0.5625 \cosh\left(3.674 \left(\frac{0}{5}\right)\right) / \cosh\left(3.674 \left(\frac{3}{5}\right)\right)$$

$$Q_{CW} = 0.12$$

- Presión convectiva en la base de la pared

$$P_{CW}(y=0) = (0.12)(0.0805)(1000kg/m^3)(5m) \left[ \left(1 - \frac{1}{3}\right) \cos^2(0) \right] \cos(0)$$

$$P_{CW} = 32.34kg/m^2$$

En  $y = h$

$$Q_{CW}(y=h) = 0.5625$$

- Presión convectiva en  $y = h$

$$P_{CW}(y=h) = (0.5625)(0.0805) \left( \frac{1000kg}{m^3} \right) (5m) (0.67x1)$$

$$P_{CW}(y=h) = 151.57kg/m^2$$

Presión convectiva en la base de la losa ( $y = 0$ )

$$P_{Cb} = Q_{Cb(x)} (Ah)_c p g D$$

$$Q_{Cb(x)} = 1.125 \left[ \frac{1}{2} - \frac{4}{3} \left( \frac{1}{2} \right)^3 \right] \operatorname{sech} \left( 3.674 \left( \frac{3}{5} \right) \right)$$

$$Q_{Cb(x)} = 0.08$$

- Presión convectiva en la cima de la base de a losa

$$P_{Cb} = 0.080.0805 \frac{1000kg}{m^3} 5m$$

$$P_{Cb} = 32.2kg/m^2$$

### Análisis de los Resultados

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a las variables que resultaron de interés para la verificación y caracterización del comportamiento del sistema estructural propuesto, se utilizó STAAD Pro-V8i Professional. Como herramienta para aplicar los métodos de análisis.

#### Período de la estructura $T_e$ (seg)

En la Tabla 9 se muestra el valor del periodo de la estructura, el cual debe estar fuera del intervalo  $0.30 > T_e > 1.00$  para que la edificación no entre en resonancia. En este diseño el periodo de vibración de la estructura fue de 0.26837 seg mostrado en la Tabla 9 dicho valor se encuentra fuera del intervalo de resonancia, lo cual cumple con el criterio establecido en la norma COVENIN 1756[2].

**Tabla 9. Período de la estructura**

CALCULATED FREQUENCIES FOR LOAD CASE 6			
MODE	FREQUENCY (CYCLES/ SEC)	PERIOD (SEC)	ACCURACY
1	3.726	0.26837	2.07E-16
2	3.726	0.26837	2.07E-16
3	6.033	0.16576	1.58E-16
4	9.312	0.10739	5.31E-16
5	10.26	0.09415	6.13E-16
6	10.62	0.09412	2.04E-16

**Masa participativa en dirección “X”**

En la Figura 23, en la columna de la izquierda se presentan los resultados de la masa participativa en dirección “X” (ver Tabla 10) para el sistema estructural. El % de la masa participativa en dirección X debe ser mayor o igual al 90%: el porcentaje de masa participativa obtenido es de 98.214% siendo este mayor al 90% lo cual cumple con el criterio establecido por la norma COVENIN 1756 [2][3].

**Tabla 10. Masa participativa y corte basal en dirección “X”**

MAS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT							BASE SHEAR IN KG				
MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z		
94	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00		
95	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00		
96	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00		
97	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00		
98	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.02	0.00	0.00		
99	0.05	0.00	0.00	98.212	88.904	98.163	53.66	0.00	0.00		
100	0.00	0.00	0.05	98.214	88.904	98.213	1.85	0.00	0.00		
-----											
							<b>Total SRSS</b>	<b>SHEAR</b>	66667.72	0.00	0.00
							<b>Total 10 PCT</b>	<b>SHEAR</b>	70637.70	0.00	0.00
							<b>Total ABS</b>	<b>SHEAR</b>	79222.29	0.00	0.00
							<b>Total CQC</b>	<b>SHEAR</b>	70668.38	0.00	0.00

**Corte basal en dirección “X”**

El valor obtenido del corte basal en dirección “X” es de  $V_{bx} = 70.668.38$  kgf como se muestra en la Tabla 11, el cual cumple el chequeo del coeficiente sísmico y control del corte basal.

**Masa participativa en dirección “Z”**

En la Tabla 11, en la columna de la izquierda se presentan los resultados de la masa participativa en dirección “Z” para el sistema estructural. El % de la masa participativa en dirección Z debe ser mayor o igual al 90%: el porcentaje de masa participativa obtenido es de 98.213% siendo este mayor al 90% lo cual cumple con el criterio establecido por la norma COVENIN 1756[2].

Tabla 11. Masa participativa y corte basal en dirección “Z”

MAS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT							BASE SHEAR IN KG		
MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z
94	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
96	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
97	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
98	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
99	0.05	0.00	0.00	98.212	88.904	98.163	0.00	0.00	1.87
100	0.00	0.00	0.05	98.214	88.904	98.213	0.00	0.00	53.61
-----									
				<b>Total SRSS</b>	<b>SHEAR</b>		0.00	0.00	66667.80
				<b>Total 10 PCT</b>	<b>SHEAR</b>		0.00	0.00	70638.83
				<b>Total ABS</b>	<b>SHEAR</b>		0.00	0.00	79221.74
				<b>Total CQC</b>	<b>SHEAR</b>		0.00	0.00	70668.89

**Corte basal en dirección “Z”**

El valor obtenido del corte basal en dirección “Z” es de  $V_{bz} = 70.668.89$  kgf como se muestra en la Tabla 11, el cual cumple chequeo del coeficiente sísmico y control del corte basal.

**Deformación vertical:**

A continuación, se presentan los resultados de los deformación verticales del sistema estructural, en la Tabla 12 se muestra que la deformación máxima actuante para la combinación de carga LOAD COMB 78 CP + CV es de  $\Delta V_{act} = 4.738$  mm. La deformación admisible no es más que la relación de la luz del volado entre doscientos (200.00),  $\Delta V_{adm} = 2,000.00$  mm/200.00. Siendo el desplazamiento en dirección “Y” menor que el valor admisible ( $\Delta V_{adm} = 10.00$  mm), por tal motivo cumple con criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1618.

Tabla 12. Máxima deformación vertical (Y)

			Hori- zontal	Verti- cal	Hori- zontal	Re- sul- tant	Rotational		
	Node	L/C	X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	xZ rad
Max X	504	78 CP+CV	0.117	-0.266	0.000	0.291	-0.000	0.000	-0.000
Min X	486	78 CP+CV	-0.119	-0.266	0.000	0.292	-0.000	-0.000	0.000
Max Y	181	78 CP+CV	-0.001	0.215	0.000	0.215	0.000	0.000	-0.000
Min Y	1	78 CP+CV	-0.002	-4.738	-0.001	4.738	-0.001	0.000	0.001
Max Z	508	78 CP+CV	-0.11	-0.25	0.110	0.294	0.000	0.000	0.000
Min Z	500	78 CP+CV	-0.11	-0.25	-0.110	0.294	-0.000	-0.000	0.000
Max rX	319	78 CP+CV	0	-1.874	0.001	1.874	0.001	0.000	-0.001
Min rX	43	78 CP+CV	-0.002	-1.876	-0.002	1.876	-0.001	0.000	0.001
Max rY	498	78 CP+CV	-0.051	-0.253	-0.021	0.259	-0.000	0.000	0.000
Min rY	510	78 CP+CV	-0.052	-0.253	0.02	0.259	0.000	-0.000	0.000

Max rZ	79	78 CP+CV	-0.002	-1.875	-0.001	1.875	-0.001	-0.000	0.001
Min rZ	283	78 CP+CV	0.001	-1.874	0.001	1.874	0.001	-0.000	-0.001
Max Rs	1	78 CP+CV	-0.002	-4738	-0.001	4.738	-0.001	0.000	0.001

### Deformación lateral en dirección “X”

En la Tabla 13 se muestra el máximo desplazamiento lateral en dirección “X”, con la ubicación del nodo de mayor desplazamiento lateral en dirección “X”, el cual fue en el nodo 1026, dicho desplazamiento tuvo un valor de  $\Delta Lx_{act} = 19.819$  mm, este valor debe multiplicarse por 0.8 para obtener el desplazamiento elástico  $\Delta Lx_E = 19.819$  mm x 0.8 = 15.8552 mm.

Al desplazamiento elástico de este nodo se le debe restar el desplazamiento elástico del nodo inferior inmediato para poder obtener la deriva, dicho nodo es el 181 (el cual se observó en la Tabla 14 y su desplazamiento en la Figura 16) y tiene un desplazamiento de  $\Delta Lx_{act} = 15.184$  mm, el cual, al multiplicarse por 0.8 se obtuvo el desplazamiento elástico  $\Delta Lx_E = 15.184$  mm x 0.8 = 12.1472 mm; obtenido este valor se proceden a restar los desplazamientos para obtener la deriva  $\delta_x = 15.184$  mm – 12.1472 mm = 3.0368 mm.

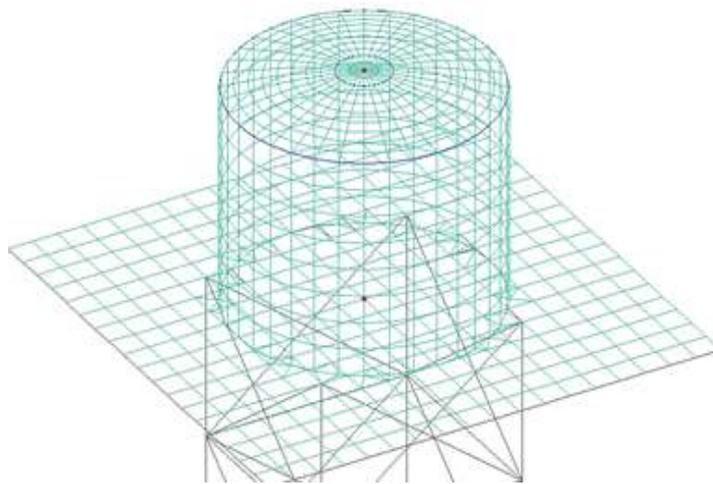
El factor (FKx) actuante es la relación entre la deriva y la altura entre los dos nodos consecutivos de estudio por lo que el factor  $FKx_{act} = 3.0368$  mm / 4,317.00 mm = 0.000703, siendo el  $FKx_{act}$  menor que el admisible  $FK_{adm} = 0.012$ , por tal motivo se da cumplimiento al criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1756:2001.

**Tabla 13. Máximos desplazamientos laterales en direcciones “X” y “Z” en el nodo 1026**

	Node	L/C	Horiz-	Verti-	Horiz-	Resul-	Rotational		
			zontal	cal	zontal	tant	rX	rY	rZ
			X mm	Y mm	Z mm	mm	rad	rad	rad
Max X	1026	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	19.819	0.229	5.376	20.536	0.000	0.000	0.001
Min X	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Y	361	76 0.84 SX+0.84 SY+2.8 SZ+1.6 CHXP	4.144	7.327	15.184	17.361	0.002	0.000	0.001
Min Y	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Z	1026	76 0.84 SX+0.84 SY+2.8 SZ+1.6 CHXP	5.377	0.229	19.819	20.536	0.001	0.000	0.000
Min Z	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max rX	361	76 0.84 SX+0.84 SY+2.8 SZ+1.6 CHXP	4.142	6.56	15.184	17.647	0.002	0.000	0.001
Min rX	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max rY	519	76 0.84 SX+0.84 SY+2.8 SZ+1.6 CHXP	4.833	2.075	16.845	17.053	0.001	0.002	0.000
Min rY	531	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	17.427	0.887	4.885	18.113	0.000	-0.000	0.001
Max rZ	361	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	15.186	6.561	4.142	17.053	0.001	0.000	0.001
Min rZ	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Rs	1010	74 0.84 SX+0.84 SY+2.8 SZ+1.6 CHXP	5.376	0.505	19.815	20.538	0.001	0.000	0.000

**Tabla 14. Máximos desplazamientos laterales en direcciones “X” y “Z” en el nodo 181**

Node	L/C	Horiz- zontal	Ver- tical	Horiz- zontal	Resul- tant	Rotational		
		X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	rZ rad
181	74 2.8 SX + 0.84 SY + 0.84 SZ + 1.6 CHXP	15.184	0.552	4.137	15.747	0.000	0.000	0.001
	74 2.8 SX + 0.84 SY + 0.84 SZ + 1.6 CHXP	4.137	0.552	15.184	15.747	0.001	0.000	0.000
182	76 0.84 SX+ 0.84 SY + 2.8 SZ + 1.6 CHZP	15.184	0.940	4.137	15.766	0.000	0.000	0.001
	74 2.8 SX + 0.84 SY + 0.84 SZ + 1.6 CHXP	4.137	0.670	15.183	15.751	0.001	0.000	0.000

**Figura16. Nodos 1026 y 181****Deformación lateral en dirección “Z”**

En la Tabla 13 se muestra el máximo desplazamiento lateral en dirección “Z”, mientras que en la figura 16 se observó la ubicación del nodo con el mayor desplazamiento lateral en dirección “Z”, el cual fue en el nodo 1026, dicho desplazamiento tuvo un valor de  $\Delta Lz_{act} = 19.819$  mm, este valor debe multiplicarse por 0.8 para obtener el desplazamiento elástico  $\Delta Lz_E = 19.819$  mm x 0.8 = 15.8552 mm.

Al desplazamiento elástico de este nodo se le debe restar el desplazamiento elástico del nodo inferior inmediato para poder obtener la deriva, dicho nodo es el 181 (el cual se muestra en la figura 16 y su desplazamiento en la Tabla 14) y tiene un desplazamiento de  $\Delta Lz_{act} = 15.184$  mm, el cual, al multiplicarse por 0.8 se obtuvo el desplazamiento elástico  $\Delta Lz_E = 15.184$  mm x 0.8 = 12.1472 mm; obtenido este valor se proceden a restar los desplazamientos para obtener la deriva  $\delta_z = 15.184$  mm – 12.1472 mm = 3.0368 mm.

El factor (FKz) actuante es la relación entre la deriva y la altura entre los dos nodos consecutivos de estudio por lo que el factor  $FKz_{act} = 3.0368$  mm / 4,317.00 mm = 0.000703, siendo el  $FKz_{act}$  menor que el admisible  $FK_{adm} = 0.012$ , por tal motivo se da cumplimiento al criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1756 [1].

### Ratio

El miembro 785 presenta un valor de ratio actuante máximo de 0.372, el cual, es menor a 1, por consiguiente cumple con la norma COVENIN 1618[1].

El ratio mayor actuante en las columnas es de 0.164 correspondiente a los elementos estructurales 685, 690, 695 y 700, los cuales cumplen con la norma COVENIN 1618[1].

### Losa

Barra estriada #5 (5/8") a/c 0.15 m, dos capas armadas en dos direcciones.

### 3. Análisis comparativo sobre la incidencia de la fuerza de impacto de oleaje en el diseño del tanque metálico circular elevado.

En esta sección se presenta un cuadro comparativo donde se observaron los resultados de los diferentes análisis del comportamiento estructural según diferentes parámetros e indicadores señalados previamente por la norma COVENIN 1753[6], y se indica la propuesta realizada para esta investigación.

**Tabla 15. Cuadro comparativo**

Descripción	Diseño 1 (COVENIN)	Diseño 2 (Influencia de la ola por sismo)	Observaciones
Dimensiones de columna (m)	D = 0.55m e = 0.010m	D = 0.55m e = 0.010m	No se observó diferencia
Dimensiones de viga de torre (m)	D = 0.323m e = 0.016m	D = 0.323m e = 0.016m	No se observó diferencia
Dimensiones de las cruces (m)	D = 0.323m e = 0.016m	D = 0.323m e = 0.016m	No se observó diferencia
Dimensiones de viga de emparrillado	IPE200	IPE200	No se observó diferencia
Pórtico del tanque	HEA100	HEA100	No se observó diferencia
Periodo de la estructura (seg)	0.26837	0.26837	No se observó diferencia
Frecuencia (ciclos/seg)	3.726	3.726	No se observó diferencia
MPX (%)	98.214	98.214	No se observó diferencia
MPZ (%)	98.213	98.213	No se observó diferencia
VBX (kgf)	70668.38	70668.38	No se observó diferencia
VBZ (kgf)	70668.89	70668.89	No se observó diferencia
Deriva en dirección X (mm)	3.3032	3.0368	Se observó una pequeña diferencia en la deriva debido al efecto de la carga hidrodinámica consecuente del sismo
Deriva en dirección Z (mm)	3.3032	3.0368	Se observó una pequeña diferencia en la deriva debido al efecto de la carga hidrodinámica consecuente del sismo
FKX	0.000765	0.000703	Este factor al ser directamente proporcional a la deriva, varía de la misma manera que el parámetro anterior

FKZ	0.000765	0.000703	Este factor al ser directamente proporcional a la deriva, varía de la misma manera que el parámetro anterior
Deformación vertical (mm)	4.738	4.738	No se observó diferencia
Ratio actuante mayor del tanque	0.372	0.372	No se observó diferencia
Ratio mayor en las columnas de la torre	0.153	0.164	Se observó un incremento en el ratio producto del oleaje por sismo.
Acero de refuerzo en losa	Barra estriada #5 a/c 0.15 m, dos capas armadas en dos direcciones	Barra estriada #5 a/c 0.15 m, dos capas armadas en dos direcciones	No se observó diferencia

No se observó la influencia de la fuerza de la ola inducida por una fuerza sísmica, debido al criterio de resonancia, ya que este criterio exige que los elementos sean altamente rígidos para evitar el fenómeno de resonancia en la estructura; este criterio al ser tan exigente diseña los elementos estructurales de una manera que la fuerza hidrodinámica producida por la ola es irrelevante para ellos mismos.

### Conclusiones

- Según los resultados obtenidos en la presente investigación se muestran las siguientes conclusiones:

- Según el análisis de resultados obtenidos del diseño de un estanque metálico circular elevado bajo la aplicación de las normas COVENIN 1618[1], COVENIN 1756-1 [2] y COVENIN 1756-2[3] se concluye que se ha obtenido un diseño de secciones óptimas que cumple con todos los parámetros, indicadores, criterios y especificaciones técnicas establecidas en las normas previamente mencionadas.

- Según el análisis de resultados obtenidos con respecto al diseño de un estanque metálico circular elevado bajo la influencia de la fuerza hidrodinámica de la ola es decir la fuerza de impacto de oleaje producido por sismo y la aplicación de las normas COVENIN 1618[1], COVENIN 1756-1[2], COVENIN 1756-2[3] y la ACI 350[5] se concluye que se ha logrado obtener un diseño de secciones que cumple con todos los parámetros, indicadores, criterios y especificaciones técnicas establecidas en las normas previamente mencionadas más la acción de la fuerza hidrodinámica de la ola es decir la fuerza de impacto de oleaje producida por sismo.

- Del análisis comparativo de resultados obtenidos para el diseño de un estanque metálico de sección circular se concluye que los esfuerzos se incrementan en toda la estructura debido a la carga hidrodinámica, es decir de la fuerza de impacto de oleaje inducida por el sismo, pero en condiciones estables debido a la aplicación del criterio de que el periodo de la estructura no coincida con el periodo de vibración del suelo producto de un sismo para evitar una resonancia de la estructura.

- La carga hidrodinámica que es la fuerza de impacto de oleaje inducida por un sismo si tiene efectos en el diseño estructural del estanque metálico circular elevado.

### Referencias Bibliográficas

[1] COVENIN 1618 (1998), Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites.

[2] COVENIN 1756-1 (2001), Edificaciones Sismorresistentes Parte 1: requisitos. Ministerio de Desarrollo y Tecnología. Caracas, Venezuela.

[3] COVENIN 1756-2 (2001), Edificaciones Sismorresistentes Parte 2: comentarios). Ministerio de Desarrollo y Tecnología. Caracas, Venezuela.

[4] COVENIN 2003-89 (1986), Acciones del viento en las estructuras. Ministerio del Desarrollo Urbano. Caracas, Venezuela.

[5] ACI 350-3 (2001) Diseño Sísmico de Estructuras Contenedoras de Líquidos.

[6] COVENIN 1753 (2006), Proyectos y Construcción de Obras en Concreto Armado. Ministerio de Desarrollo y Tecnología. Caracas, Venezuela.

# Efectividad de la lixiviación ácida en la remoción de azufre inorgánico de carbones minerales

Rita Ferreira, Fabiangel Pulgar, José González y Juan Hernández

Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta.  
Maracaibo-Venezuela.

Laboratorio de Carbón. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.  
Maracaibo, Venezuela.

Correo electrónico: [lehung@gmail.com](mailto:lehung@gmail.com); [fppv01@gmail.com](mailto:fppv01@gmail.com);  
[amorosogonzalez@yahoo.com](mailto:amorosogonzalez@yahoo.com) y [jjhgamb@gmail.com](mailto:jjhgamb@gmail.com)

Recibido: 04-02-2020 Aceptado: 17-09-2020

## Resumen

El objetivo principal de esta investigación consiste en determinar la efectividad de la lixiviación ácida en la remoción de azufre inorgánico de carbones minerales utilizando ácidos fuertes como agentes lixiviantes. Se empleó para esta investigación como materia prima el carbón mineral de la Cuenca Guasare de la mina Paso Diablo. Durante esta investigación se caracterizó el carbón de Guasare en función del análisis inmediato, porcentaje de azufre y granulometría pulverizada. Se desarrolló un método de colorimétrico para determinar azufre inorgánico en soluciones carbón-ácido inorgánico por el método de espectrofotometría UV-VIS. Se determinó la capacidad de los ácidos fuertes en la remoción del azufre inorgánico mediante el proceso de lixiviación a diferentes condiciones de concentración y temperatura para un mismo tiempo de contacto. Los resultados indican que a mayor longitud de onda se obtiene mayor absorbancia, por lo tanto, mayor concentración de azufre en solución. Por otra parte, se obtuvo que, al aumentar la concentración de los ácidos, así como la temperatura, aumenta la capacidad del ácido de remover azufre del carbón, siendo el  $\text{HNO}_3$  con el que se obtuvo mayor porcentaje de remoción de azufre con 98.04%, seguido del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con 70.1% y por último el HCl con 60%.

**Palabras Claves:** Azufre inorgánico, ácidos fuertes, lixiviación, espectrofotometría.

# Effectiveness of acid leaching in the removal of inorganic sulfur from mineral coals

## Abstract

The main objective of this research is to determine the effectiveness of acid leaching in the removal of inorganic sulfur from mineral coals using strong acids as leaching agents. The mineral coal of the Cuenca Guasare of the Paso Diablo mine was used as raw material for this investigation. During this investigation, Guasare coal was characterized according to the immediate analysis, percentage of sulfur and pulverized granulometry. A colorimetric method was developed to determine inorganic sulfur in coals -inorganic acid solutions by the UV-VIS spectrophotometry method. The capacity of strong acids in the removal of inorganic sulfur was determined by the leaching process at different concentration and temperature conditions for the same contact time. The results indicate that the greater the wavelength, the greater the absorbance, therefore, the higher the concentration of sulfur in solution. On the other hand, it was obtained that, when increasing the concentration of the acids, as well as the temperature, the acid's capacity to remove sulfur from the coals increased, being the  $\text{HNO}_3$  with which a greater percentage of sulfur removal was obtained with 98.04%, followed by  $\text{H}_2\text{SO}_4$  with 70.1% and finally HCl with 60%.

**Key words:** Inorganic sulfur, strong acids, leaching, spectrophotometry.

## Introducción

El carbón representa un tercio de todas las fuentes energéticas utilizadas actualmente en el planeta según IEA[1]. La industrialización ha promovido el aumento de la demanda energética de carbón por ser fácilmente disponible y económico.

En palabras de Barberii[2], el estado Zulia es una de las principales regiones carboníferas de Venezuela contando con la explotación de importantes yacimientos de carbón como la mina Paso El Diablo.

Una buena parte del azufre en el carbón se encuentra combinada con diferentes metales, pero sobretudo con hierro formando un sulfuro que se le llama piritas según Caselli[3]. Esta piritita de acuerdo a Calkins[4] es la principal forma de azufre inorgánico presente en la mayoría de los carbones.

Por otro lado, en palabras de Quijandría y Aramburu[5] las emisiones de gases, fundamentalmente el  $\text{SO}_2$  y material particulado contaminan el medio ambiente y afectan la salud de los humanos, la fauna y el agua.

Los carbones con alto contenido de azufre se pueden mejorar mediante desulfuración a través de procesos físicos, químicos y biotecnológicos según Demirbas y Balat[6].

La desulfuración del carbón es necesaria, no solo para minimizar la contaminación del aire causada por la emisión de óxidos de azufre durante la combustión, sino también para aumentar la calidad del carbón.

Para llevar a cabo esta investigación se establecieron como objetivos:

1. Identificar la calidad del carbón mineral procedente de la Cuenca de Guasare (mina Paso El Diablo), en términos del análisis inmediato, porcentaje de azufre y granulometría pulverizada.
2. Desarrollar un método colorimétrico para la determinación de azufre inorgánico en solución a través del uso de métodos espectrofotométricos para soluciones carbón-ácido inorgánico.
3. Determinar la capacidad de los ácidos clorhídrico, sulfúrico y nítrico en la remoción del azufre inorgánico presentes en las muestras de carbones de la mina Paso El Diablo mediante pruebas de laboratorio a diferentes diluciones y temperatura.

## **Metodología**

A continuación, se explican los pasos necesarios para llevar a cabo de forma exitosa los objetivos propuestos, en donde, se especifica el conjunto de procedimientos que fueron empleados para el desarrollo de esta investigación.

La materia prima utilizada fue carbón mineral proveniente del Guasare en la mina paso Diablo, ubicada en la región noroeste del estado Zulia. Las muestras se encontraban contenidas en envases plásticos de polietileno de 20 kg de material selladas herméticamente.

La caracterización del carbón mineral se realizó por medio del análisis inmediato de carbón basado en las normas ASTM. Para humedad (Norma ASTM D3302), materia volátil (Norma ASTM D5142), cenizas (Norma ASTM D3174), carbono fijo (Norma D3172), azufre (Norma ASTM D3177), poder calorífico (Norma ASTM D5865) y granulometría pulverizada (Norma ASTM E-11). Teniendo la materia prima, se dispuso a su tamizado con una granulometría de -50+70 Mesh.

Seguido de esto, se prepararon las soluciones lixiviantes de tres ácidos diferentes (nítrico, clorhídrico y sulfúrico) a concentraciones de 5, 10 y 15% y se tomaron las muestras de carbón ya tamizadas para llevar a cabo el proceso de lixiviación ácida.

En el lavado de muestras se pesaron 5 gramos de carbón mineral para cada uno de los ensayos con la ayuda de un crisol y una balanza digital de precisión 0.001g. Se agregaron 100 ml de solución lixiviante en un vaso de precipitado y se agregaron los 5 gramos de carbón previamente pesado, luego con

la ayuda de un agitador y una plancha magnética se hizo el proceso de lavado a diferentes temperaturas, las cuales fueron de 40 °C, 50 °C y 60 °C a un mismo tiempo de contacto de 60 minutos para cada uno de los ensayos. Se realizaron en total 27 ensayos.

Posteriormente con la ayuda de papel filtro y un embudo se filtraron las soluciones y los sólidos se llevaron al horno para secado a 120°C. Seguido de esto, se sacaron los sólidos del horno y se pesaron. Las soluciones lixiviadas se almacenaron en balones aforados de 100 ml.

Para el desarrollo del método colorimétrico, teniendo las soluciones lavadas, se seleccionó la solución patrón tomando aquellas con mayor intensidad de color para cada ácido. Se determinó la concentración de azufre presente en cada solución patrón partiendo de la cantidad de porcentaje de azufre obtenido por el procedimiento de la norma ASTM D3177.

Luego, se determinó la longitud de onda de máxima absorción utilizando un espectrofotómetro UV-VIS modelo Génesis 10 UV (Thomas Scientific, Madison USA). Se verificó el rango espectral correspondiente al color de las soluciones y se midió la absorbancia de las respectivas soluciones patrón a diferentes longitudes de onda.

Se construyó la curva de calibración, se tomaron las 3 soluciones patrón, se diluyó cada una de ellas hasta un factor de 8 y se almacenó e identificó cada una en balones aforados de 100 ml.

Se midió la absorbancia cada una de las soluciones patrón y diluciones con el valor de longitud de onda máximo en el espectrofotómetro. Con los valores de concentración y absorbancia obtenidos, se graficaron las 3 curvas de calibración para cada ácido y se determinó la absorbancia de cada muestra a la longitud de máxima absorción.

Los valores obtenidos se registraron para su uso posterior en la construcción de tablas y gráficos necesarios. La concentración de azufre en solución en cada muestra fue automáticamente calculada a partir de la curva de calibración.

Finalmente, se determinó la capacidad de los ácidos clorhídrico, sulfúrico y nítrico en la remoción del azufre inorgánico presentes en las muestras de carbón.

### **Análisis de los resultados**

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización del carbón minera. Los valores mostrados en esta tabla, demuestran que se tiene un carbón de buena calidad debido a su bajo contenido de azufre (0.51%), además de esto, presenta valores aceptables de humedad (4.50 %), lo cual beneficia el poder calorífico del carbón (4.908,72 Kcal/kg), ya que mientras menor es el porcentaje de humedad en la muestra más alto será el poder calorífico. El contenido de ceniza (5.60%), muestra un valor alto en comparación con los carbones de alto rendimiento, sin embargo, por las razones anteriores, este carbón es considerado de buena calidad. De acuerdo al contenido de carbono fijo (58,40%) y según la clasificación ASTM-388-111, el carbón mineral se clasifica como carbón bituminoso.

**Tabla 1. Caracterización de las muestras de carbón mineral de Guasare en función del análisis inmediato, porcentaje de azufre y poder calorífico**

<b>% Carbono fijo</b>	<b>% Humedad +/- 0,3%</b>	<b>% Cenizas +/- 0,5%</b>	<b>% Volátiles +/- 0,5%</b>	<b>% Azufre +/- 0.05%</b>	<b>Poder Calorífico (Kcal/kg) +/- 50</b>
58.40	4.50	5.60	35.10	0.51	4.908,72

**Tabla 2. Caracterización de las muestras de carbón mineral de Guasare en función de la granulometría pulverizada.**

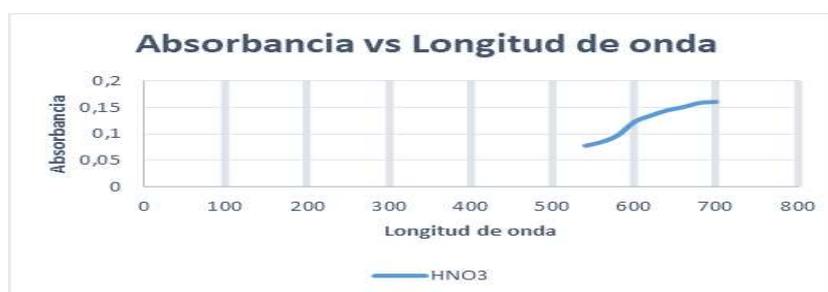
Tamiz	Diámetro de malla µm	Peso retenido (g) (rango)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Tamizado
8	2,36 mm	50,26 de 185	27,11	27,17	72,84
14	1,4 mm	40,60 de 185	21,95	49,11	50,89
16	1,18 mm	25,05 de 185	13,54	62,65	37,35
30	600µm	21,06 de 185	11,39	74,03	25,96
50	300µm	15,17 de 185	8,20	82,23	17,77
70	212 µm	10,03 de 185	5,67	87,90	12,09
100	150µm	8,45 de 185	4,57	92,47	7,53
120	125µm	6,05 de 185	3,27	95,74	4,26
140	106µm	5,61 de 185	3,03	98,78	1,22
170	90µm	0,85 de 185	0,46	99,23	0,77
200	75µm	0,40 de 185	0,22	99,45	0,55
Pérdidas	-	1,01 de 185	0,55	100	0,00
Total	-	-	99,99	-	-

En la Tabla 2 se encuentran los resultados obtenidos en el tamizado del carbón mineral en función de la granulometría pulverizada. La porción resultante del muestreo alcanzó el 13.87% del total del carbón molido y tamizado. Se puede observar la granulometría utilizada, la cual fue de -50+70 Mesh, lo que corresponde a un valor de rango pulverizado de carbón. Este rango, entre 200-300 µm, se utiliza en el mercado internacional del carbón. Ahmed *et al*[7] indica que la tasa de extracción aumenta a medida que aumenta el tamaño de la malla. Cuanto menor es el tamaño de la partícula, mayor es el área interfacial entre el sólido y el líquido.

**Tabla 3. Variables de las soluciones patrón**

Solución patrón	Ácido	Concentración del ácido (%)	Temperatura (°C)	Azufre en la muestra sin lavar (%)	Concentración de Azufre en la solución patrón (ppm)
1	HNO <sub>3</sub>	15	60	0,51	255
2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15	60	0,51	255
3	HCl	15	60	0,51	255

En la Tabla 3 se muestran las condiciones operacionales para cada solución patrón. Se escogieron las 3 soluciones por su intensidad de color. Se muestran las variables de cada solución patrón a las condiciones de lixiviación con la cual se realizó el lavado para cada una. También se observó el contenido de azufre de la muestra de carbón.



**Figura 1. Espectro de absorción para la solución patrón de HNO<sub>3</sub>**

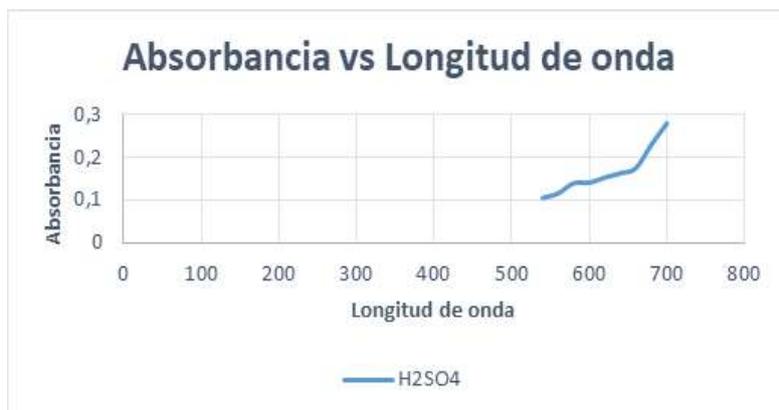


Figura 2. Espectro de absorción para la solución patrón de  $H_2SO_4$ .



Figura 3. Espectro de absorción para la solución patrón de HCl.

En las figuras 1, 2 y 3, se muestran los espectros de absorción para cada uno de los ácidos a la longitud de máxima absorción, obedeciendo a lo dicho en la literatura. Se tomó la longitud de onda correspondiente a la que absorbe luz, la solución coloreada. La longitud de onda utilizada fue de 700 nm, aunque según la Díaz *et al.* [8], esta puede variar en el rango de 650 a 780 nm, según la intensidad del color.

Tabla 5. Determinación de la concentración de azufre en solución para  $HNO_3$ .

Muestras	Concentración del ácido (%)	Temperatura (°C)	Absorbancia	Concentración de azufre en la solución (ppm)	Azufre en solución (%)
1	5	40	0.078	119.20	0.238
2	5	50	0.085	130.33	0.26
3	5	60	0.098	151.03	0.302
4	10	40	0.113	174.90	0.35
5	10	50	0.124	192.41	0.385
6	10	60	0.134	208.33	0.417
7	15	40	0.145	225.84	0.452
8	15	50	0.153	238.57	0.478
9	15	60	0.161	251.31	0.50

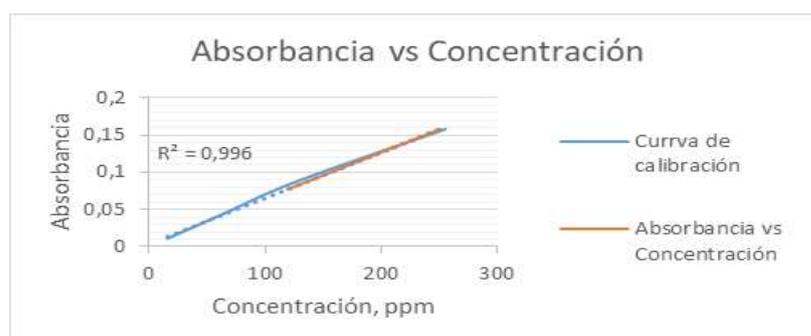
**Tabla 6. Determinación de la concentración de azufre en solución para H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.**

Muestras	Concentración (%)	Temperatura (°C)	Absorbancia	Concentración de azufre en la solución (ppm)	Azufre en solución (%)
10	5	40	0.105	102.61	0.205
11	5	50	0.116	114.21	0.228
12	5	60	0.129	127.92	0.256
13	10	40	0.141	140.58	0.281
14	10	50	0.153	153.23	0.306
15	10	60	0.163	163.78	0.328
16	15	40	0.175	176.44	0.353
17	15	50	0.182	183.82	0.368
18	15	60	0.244	249.21	0.383

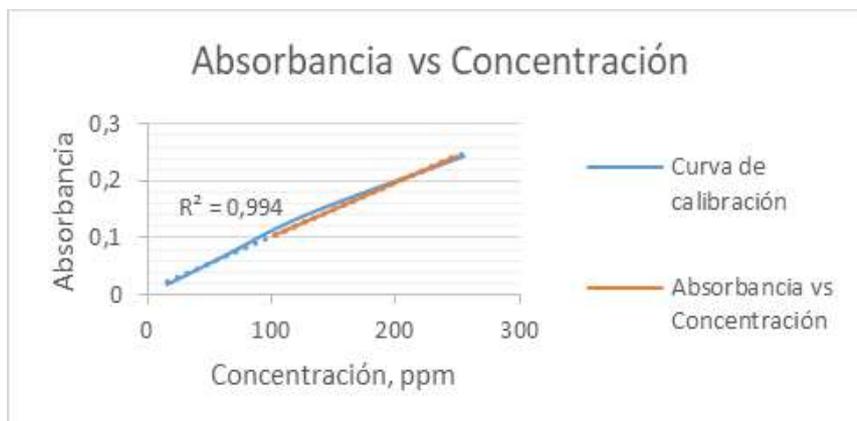
**Tabla 7. Determinación de la concentración de azufre en solución para HCl**

Muestras	Concentración (%)	Temperatura (°C)	Absorbancia	Concentración de azufre en la solución (ppm)	Azufre en solución (%)
19	5	40	0.118	80.68	0.161
20	5	50	0.128	88.40	0.177
21	5	60	0.137	95.34	0.191
22	10	40	0.151	106.15	0.212
23	10	50	0.167	118.50	0.237
24	10	60	0.179	127.76	0.256
25	15	40	0.19	136.25	0.273
26	15	50	0.201	144.74	0.289
27	15	60	0.334	247.39	0.306

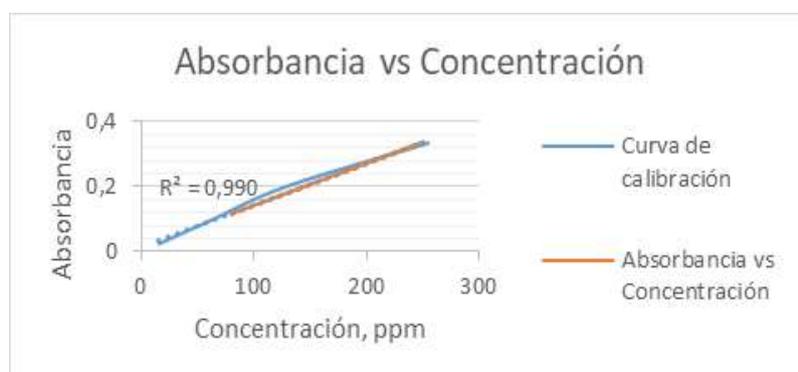
En las Tablas 5,6 y 7 se observaron los valores de absorbancia a la longitud de máxima absorción para cada una de las muestras a las diferentes condiciones de lixiviación y la concentración de azufre en solución obtenida a partir de la curva de calibración. Para cada uno de los ácidos, la mayor concentración de azufre en la solución se registró en aquellas lavadas al 15% y 60 °C, las cuales fueron de 247.39 ppm para el HCl, 249.21 ppm para el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 251.31 ppm para el HNO<sub>3</sub>. En estas mismas tablas, se muestra la cantidad de azufre en solución, las cuales fueron de 0.50% para el HNO<sub>3</sub>, seguido del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con 0.383% y por último el HCl con 0.306%, lo que se traduce en mayor remoción de azufre del carbón. Estos valores fueron menores al 0.51% de contenido de azufre del carbón mineral.



**Figura 4. Concentración de azufre en solución para HNO<sub>3</sub>**

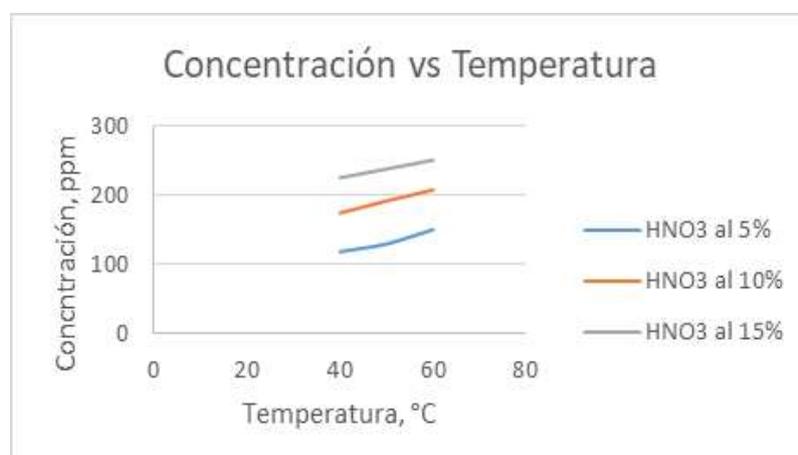


**Figura 5. Concentración de azufre en solución para  $\text{H}_2\text{SO}_4$**



**Figura 6. Concentración de azufre en solución para  $\text{HCl}$**

En las figuras 4, 5 y 6 se observó la curva de calibración para cada solución patrón y los valores de concentración obtenidos. Para el  $\text{HCl}$  se obtuvo una correlación de 0.990, 0.994 para el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 0.996 para el  $\text{HNO}_3$ , por lo que se puede decir que son valores confiables. También se muestra como a mayor concentración de azufre en solución, mayor es la absorbancia obtenida, obedeciendo la ley de Beer-Lambert, la cual establece que, para una misma especie absorbente, la absorbancia es directamente proporcional a la concentración según lo indica Skoog *et al* [9].



**Figura 7. Efecto de concentración y temperatura para el  $\text{HNO}_3$**

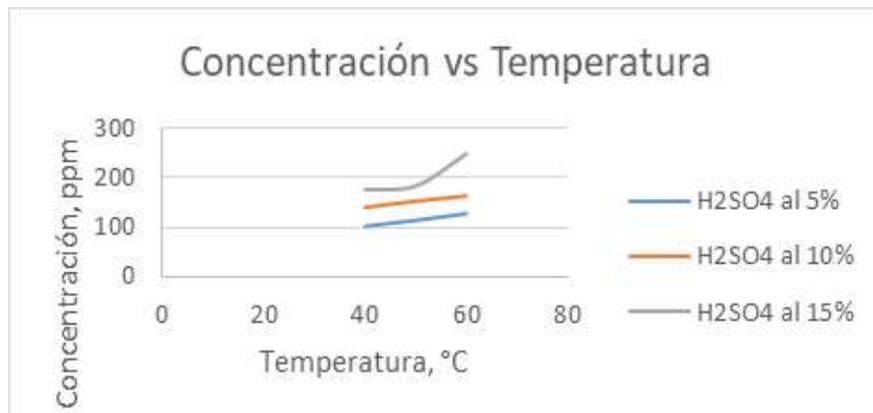


Figura 8. Efecto de concentración y temperatura para el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

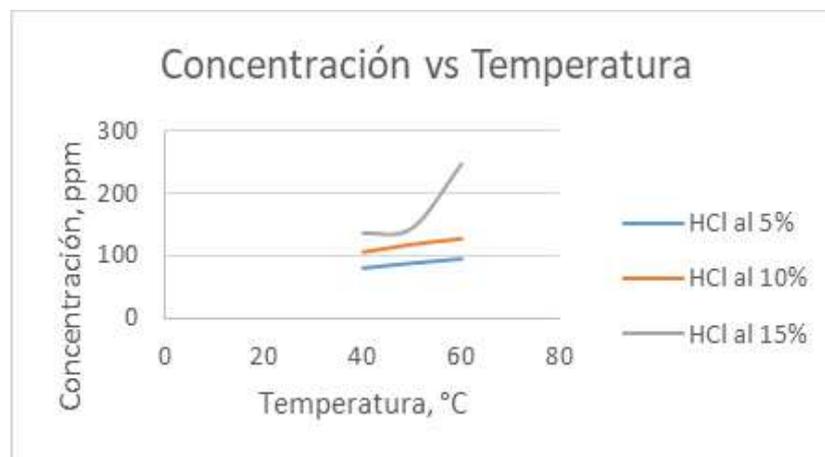


Figura 9. Efecto de concentración y temperatura para el HCl

En las figuras 7, 8 y 9, se observó el efecto de la concentración y temperatura para cada uno de los ácidos en el proceso de lixiviación. Se puede observar como para el caso de todos los ácidos, la mayor concentración y temperatura utilizados, las cuales son de 15% y 60 ° C, reportaron la mayor remoción de azufre inorgánico presente en el carbón. En la lixiviación, las temperaturas elevadas producen la mayor solubilidad del soluto en el disolvente y, en consecuencia, concentraciones finales mayores, por lo que la tasa de extracción es proporcional a la temperatura tal como lo indica Ma et al[10]. A medida que aumenta la temperatura del sistema, aumenta la velocidad de lixiviación debido a la difusión más fácil del disolvente en partículas de carbón para extraer el azufre esto según Ahmed *et al.*[7].

La difusividad es un factor muy importante a considerar en la lixiviación; A temperaturas elevadas, la viscosidad del líquido es menor y mayores las difusividades, esto incrementa la rapidez de la lixiviación tal como lo dice McCabe y Smith[11]. La concentración de ácido es el parámetro más efectivo en el proceso de desulfuración del carbón (Mukherjee y Borthakur[12]). La difusividad se relaciona con la concentración, ya que esta es una relación del flujo másico y el gradiente de concentración (Santamaría De La Cruz [13]), por lo que cuanto mayor sea la difusividad, más rápido se difundirán entre sí.

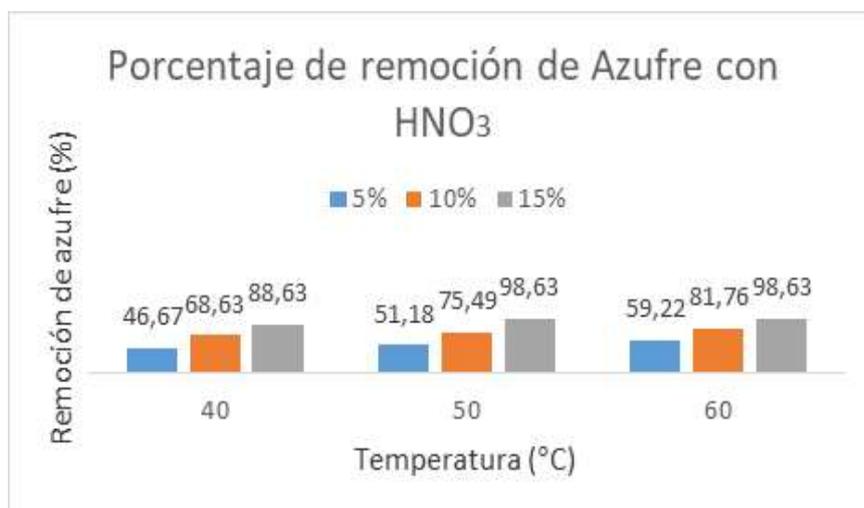


Figura 10. Porcentaje de remoción en función de la temperatura y concentración para  $\text{HNO}_3$

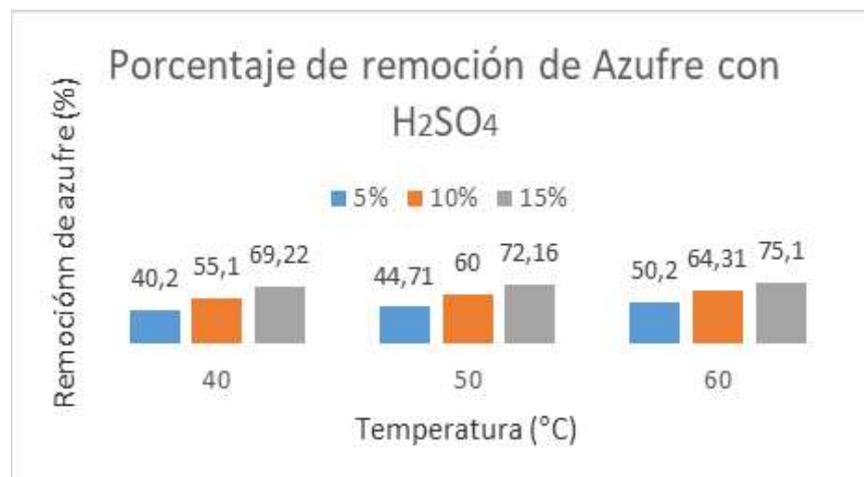


Figura 11. Porcentaje de remoción en función de la temperatura y concentración para  $\text{H}_2\text{SO}_4$

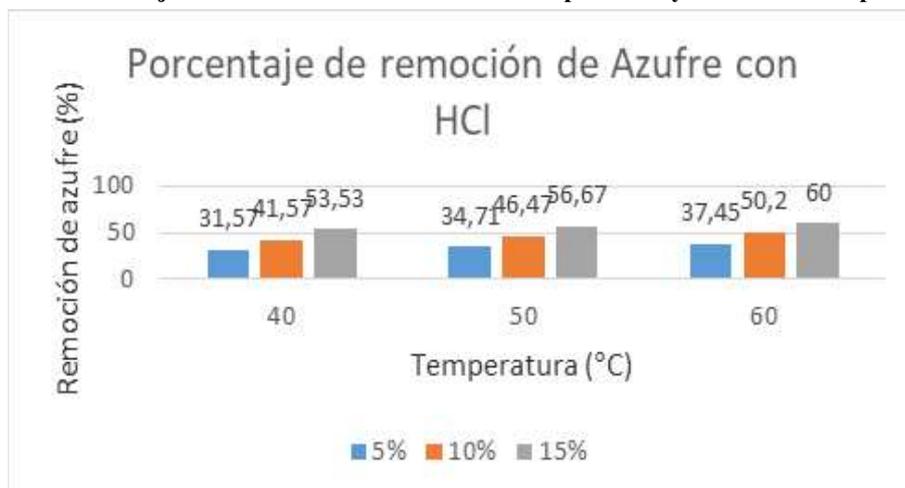


Figura 12. Porcentaje de remoción en función de la temperatura y concentración para  $\text{HCl}$

En las figuras 10, 11 y 12 se observó que el  $\text{HNO}_3$  es el ácido que presenta mayor porcentaje de remoción con 98.04% a medida que aumentan la temperatura y la concentración. En segundo lugar, de efectividad de remoción se encuentra el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con 75.1% y por último el  $\text{HCl}$  con 60% de remoción de azufre.

La lixiviación ácida produce el efecto más significativo en la desmineralización del carbón. El  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  y  $HNO_3$ , son ácidos fuertes y se disocian completamente en agua en concentraciones moderadas. El  $HCl$  es el ácido más fuerte (indicado por el  $pK_a$  más bajo), seguido de  $H_2SO_4$  y por último el  $HNO_3$ . El  $HNO_3$  y el  $H_2SO_4$  concentrado son agentes oxidantes fuertes (Van der Hagen y Järnberg [14]). Estos ácidos, atacan los metales reactivos contenidos en los minerales desplazando los iones por disociación de los ácidos con hidrógeno (Astuti [15]) por lo que son eficientes en la desulfurización del carbón mineral.

El contenido de pirita en azufre se puede disolver en una solución de ácido nítrico y la interacción entre  $FeS_2$  y el  $HNO_3$  es muy sensible a la concentración, por lo que la desulfurización del carbón se incrementó al aumentar la concentración de éste ácido (Shahraki[16]) ya que es un ácido lixivante y un oxidante relativamente fuerte (Ma *et al.*[10]), por lo que oxida la pirita del carbón, siendo muy efectivo en la remoción de azufre inorgánico, a diferencia del  $H_2SO_4$ , que solo es oxidante a elevadas concentraciones y el  $HCl$ , el cual no puede disolver la pirita, ya que es un ácido reductor.

### Conclusiones

El azufre es uno de los principales contaminantes que contiene el carbón mineral. El análisis inmediato del carbón mineral de la Cuenca de Guasare, ha demostrado que se trata de un carbón de tipo bituminoso de acuerdo con la norma ASTM-388-11 con 4.50% de humedad, 5.60% de cenizas, 58.40%R de carbono fijo, 0.51% de azufre y 4.908,72 Kcal/kg de poder calorífico.

Por las razones anteriores, este carbón es considerado de buena calidad. Los ácidos fuertes ( $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$  y  $HCl$ ) demostraron ser eficientes en la remoción de azufre inorgánico del carbón mineral. El porcentaje de azufre inorgánico removido fue de 98.04% para el  $HNO_3$ , 75.1% para el  $H_2SO_4$  y 60% para el  $HCl$ .

La granulometría utilizada fue de -50+70 Mesh, la cual favoreció la lixiviación, ya que, en el rango de sólido pulverizado, hay mayor área interfacial entre el sólido y el líquido. La temperatura de lixiviación y la concentración del ácido son los parámetros más efectivos en la remoción de azufre del carbón. A mayores temperaturas, mayor es la solubilidad del soluto en el solvente y mayores las concentraciones finales.

El método colorimétrico como método de análisis depende de la intensidad del color de las soluciones, por lo que es un método relativo para la cuantificación de azufre en solución para la longitud de máxima. La difusividad también se relaciona con la concentración, ya que es una relación del flujo másico y el gradiente de concentración. El ácido nítrico demostró ser el más eficiente de los ácidos fuertes en la remoción de azufre inorgánico, debido a su capacidad oxidante.

### Referencias Bibliografica

[1] IEA, (2012). Coal information. International Energy Agency – Coal Industry Advisory Board, Paris Cedex.

[2] Barberii, E. E. (1998). El pozo ilustrado. PDVSA, Programa de Educación Petrolera. Capítulo 9, Carbón Fósil. Págs. 396-405.

[3] Caselli, M. (1992). La contaminación atmosférica. Siglo XXI.

[4] Calkins, W. H. (1994). The chemical forms of sulfur in coal: a review. Fuel, 73(4), 475-484.

- [5] Quijandría, J. C., & Aramburu, V. S. Evaluación del carbón mineral para disminuir el contenido de azufre y mejorar su calidad. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 19(38), 61-66.
- [6] Demirbas, A., & Balat, M. (2002). Coal desulfurization via different methods. *Energy Sources*, 26(6), 541-550.
- [7] Ahmed, A., Ahmad, N., Shah, R., Bhatti, M. N., & Saleem, M. (2008). Coal desulfurization by solvent leaching methods. *Journal of Faculty of Engineering & Technology*, 2007, 47-56.
- [8] Díaz, N. A., Ruiz, J. A. B., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., Peinado, J. P. & Fiñana, I. T. (2000). Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Universidad de Córdoba.
- [9] Skoog, D.A.; Leary J.J., Holler F. James; Principios de análisis instrumental, 5° ed.; Ed. McGraw-Hill (1998), págs. 353-367.
- [10] Ma, B., Wang, C., Yang, W., Yang, B., Zhang, Y., 2013. Selective pressure leaching of Fe (II)-rich limonitic laterite ores from Indonesia using nitric acid. *Miner. Eng.* 45, 151–158.
- [11] McCabe, W. L., & Smith, J. C. (1981). Operaciones básicas de ingeniería química (Vol. 1). Reverté.
- [12] Mukherjee, S., & Borthakur, P. C. (2001). Chemical demineralization/desulphurization of high sulphur coal using sodium hydroxide and acid solutions. *Fuel*, 80(14), 2037-2040.
- [13] Santamaría De La Cruz, H. (2009). Estudio experimental del fenómeno de transferencia de masa en el proceso de secado artificial en estado transitorio de yuca. (Master's thesis, Maestría en Ingeniería Mecánica).
- [14] Van der Hagen, M., & Järnberg, J. (2009). 140. Sulphuric, hydrochloric, nitric and phosphoric acids.
- [15] Astuti, W., Hirajima, T., Sasaki, K., & Okibe, N. (2016). Comparison of effectiveness of citric acid and other acids in leaching of low-grade Indonesian saprolitic ores. *Minerals Engineering*, 85, 1-16.
- [16] Shahraki, S., Karamoozian, M., & Azizi, A. (2018). Desulfurization of coal by HNO<sub>3</sub> leaching: Optimization of influential factors using Box-Behnken design. *Journal of Mining and Environment*, 9(3), 657-665.

## Determinación del rendimiento y calidad del colágeno obtenido de las escamas de la especie *pomadasys incisus* (roncador) proveniente del Lago de Maracaibo

Genesis Jaimes, Waldo Urribarri y Gladys Quevedo

Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta.  
Maracaibo-Venezuela.

Correo electrónico: [genesismjm91@gmail.com](mailto:genesismjm91@gmail.com); [waldo.uribari@iesa.edu.ve](mailto:waldo.uribari@iesa.edu.ve) y [gladxdx@gmail.com](mailto:gladxdx@gmail.com)

Recibido: 04-02-2020      Aceptado: 17-09-2020

### Resumen

En la interpretación de la calidad y rendimiento del colágeno extraído de las escamas de la especie Roncador, por medio de la caracterización y aplicación de la técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), para la evaluación del producto obtenido de la extracción sólido-líquido. Los resultados indicaron que el colágeno obtenido es tipo I, ya que en el espectro se observaron las bandas:  $3273,8 \text{ cm}^{-1}$  correspondiente a un enlace nitrógeno-hidrógeno (Amida A),  $1631,2 \text{ cm}^{-1}$  correspondiente a un enlace carbono-oxígeno (Amida I),  $1240,2 \text{ cm}^{-1}$  correspondiente a un enlace carbono-nitrógeno y  $1114,6$  correspondiente a un enlace carbono-nitrógeno. Los datos de las bandas detectadas en la muestra de colágeno obtenido experimentalmente, coinciden con los datos de la muestra patrón de colágeno bovino tipo I.

**Palabras clave:** Colágeno, extracción, escamas de pescado, *Pomadasys incisus*

## Determination of the performance and quality of the collagen obtained from the scales of the species *pomadasys incisus* (roncador) from Maracaibo Lake

### Abstract

In the interpretation of the quality and performance of the collagen extracted from the scales of the Roncador species, through the characterization and application of the Fourier transform infrared spectroscopy technique (FTIR), for the evaluation of the product obtained from solid extraction-liquid. The results indicated that the collagen obtained is type I, since in the spectrum the bands:  $3273,8 \text{ cm}^{-1}$  corresponding to a nitrogen-hydrogen bond (Amide A),  $1631,2 \text{ cm}^{-1}$  corresponding to a carbon-oxygen bond (Amide I),  $1240,2 \text{ cm}^{-1}$  correspond to a link carbon-nitrogen and  $1114,6$  correspond to a link carbon-nitrogen. The data of the bands detected in the experimentally obtained Collagen, coincide with the data of the bovine Collagen type I.

**Keywords:** Collagen, extraction, fish scales, *Pomadasys incisus*

### Introducción

El colágeno es la proteína más abundante de origen animal, constituye aproximadamente el 25 - 30% de todas las proteínas de los organismos animales es un componente importante de todos los tejidos conectivos del cuerpo como dientes, huesos y piel, también se encuentra en el tejido intersticial de prácticamente todos los órganos, donde pueden contribuir a la estabilidad de los tejidos y órganos, y mantener su estructura e integridad. La piel va disminuyendo su elasticidad con el paso del tiempo, también se presenta fragilidad en uñas, pérdida de elasticidad del cabello, aparición de manchas tipo lunar en brazos y manos, endurecimiento de los tejidos y las válvulas cardiacas [1].

Actualmente la pesca suministra aproximadamente 150 millones de toneladas de pescado a nivel mundial. La industria dedicada al procesamiento de productos pesqueros genera una gran cantidad de residuos, tales como pieles, espinas, escamas, vísceras, cabezas y restos de músculo; residuos que dependiendo de la especie y el tipo de procesamiento pueden ser entre 30% y 50% del peso inicial. Últimamente se han desarrollado diversas estrategias para utilizar los residuos de pescados y mariscos, obteniendo un producto de alto valor comercial tal como el colágeno procedente de pieles, espinas y escamas [2].

El colágeno marino es un activo relativamente nuevo en el mercado de los complementos alimenticios. Durante un tiempo, los suplementos de colágeno solo se formularon a partir de gelatina animal. Se obtenía mediante diferentes tratamientos en los huesos y la piel del ganado vacuno o porcino. Actualmente el colágeno marino se extrae directamente de la piel, los huesos y las escamas de los peces. Esta forma es muy recomendable para la administración de suplementos nutricionales, pero no solo eso, también se utiliza en cosméticos para la formulación de cremas antienvjecimiento y en biomedicina para la preparación de apósitos, pieles artificiales y materiales para la reconstrucción ósea [3].

El colágeno marino generalmente lo encontramos en forma de polvo. En cuanto a su estructura química, ha despertado un gran interés en la suplementación debido a su similitud con el colágeno sintetizado por el cuerpo humano. Para comprender su estructura química, es necesario tener en cuenta la estructura de doble hélice del ADN. Ya sea colágeno marino o colágeno humano, ambos tienen una estructura de triple hélice. En otras palabras, tienen tres cadenas conectadas entre sí por enlaces específicos. Los científicos a menudo tienden a llamar a esta triple hélice tropocolágeno [4].

## **Metodología**

Para dar inicio a esta investigación se utilizó la investigación documental puesto que se realizó una revisión de las normas establecidas para la calidad del colágeno, con el propósito de elaborar una técnica y un procedimiento a seguir para llevar a cabo los métodos a evaluar. Los instrumentos de recolección de datos empleados en la presente investigación fueron las tablas de registro [5].

Después de la revisión documental, se procedió al desarrollo de la parte experimental recolectando las escamas, tratándolas con agua destilada, secándolas a temperatura ambiente y a la sombra, para posteriormente ser pesadas y determinar en una pequeña muestra de las escamas el porcentaje de humedad, materia seca, cenizas y pH [6].

Para la eliminación de material no colagenoso antes de la extracción se utilizó el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta, en donde las escamas fueron tratadas dos veces con dos volúmenes de una solución de NaCl al 5% durante 30 minutos y con una solución de NaOH 0.1N durante una hora, con el fin de eliminar las proteínas no colágenosas.

Para la extracción se realizaron dos pruebas utilizando el mismo volumen de solvente y la misma masa de escamas, una cocina marca Premium con alimentación de gas, una olla de acero inoxidable con capacidad de 4 litros, para la primera prueba se adicionó 2000 ml de agua destilada y 90 gramos de las escamas, se cocinó durante 150 minutos a una temperatura de 90°C y para la segunda prueba se variaron las condiciones de temperatura a 88°C y se cocinó durante 170 minutos para obtener la misma cantidad de producto.

Luego en el proceso de filtración, se separa las escamas del líquido deseado, para esto se utilizó un colador de metal ya que el colágeno es una molécula de peso molecular muy grande y el líquido obtenido presenta una elevada densidad, para filtrarla se necesita un material que tenga poros más grandes, la filtración se la realiza rápidamente para evitar que se enfríe, no se pudo utilizar papel filtro debido a

que el líquido es denso y en frío se va gelatinizando rápidamente impidiendo realizar la filtración razón por la cual se filtra en caliente, en donde se obtiene un producto líquido.

El producto líquido se coloca en un vidrio de reloj, en un lugar fresco y con sombra, con una temperatura ambiental de 36°C durante 4 horas, luego al secarse completamente eliminando así toda humedad para evitar la descomposición del colágeno como consecuencia de la intervención de bacterias, se llevó al laboratorio y se pesó en la balanza analítica obteniendo un producto seco.

El producto seco obtenido de la extracción sólido.- líquido del colágeno de las escamas se comparó con un patrón de colágeno tipo I. También se determinó el rendimiento del colágeno obtenido.

## Resultados

### Caracterización fisicoquímica de las muestras de la escamas

La caracterización de las escamas de la especie Roncador se realizó a través de análisis fisicoquímicos referenciados por la literatura de Ramos[6] realizados en el laboratorio Occilab, a continuación en la Tabla 1 se muestran los valores de pH, cenizas, humedad y materia seca correspondientes a las muestras.

**Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de las escamas realizada en el laboratorio Occilab**

Parámetro fisicoquímico	Resultado
pH (Dilución 1:4)	7.74
Cenizas %p/p	43.31
Humedad %p/p	11.23
Materia Seca %p/p	88.77

### Obtención del colágeno de las escamas mediante extracción con agua

Para la obtención del colágeno de las escamas se realizaron dos pruebas, utilizando la misma masa de escamas con un peso de 90 gramos mediante extracción con agua, durante tiempos de 170 y 150 minutos a las temperaturas de 88°C y 90°C respectivamente, obteniéndose un líquido bastante viscoso y adherente al contacto con la piel, el cual posteriormente fue secado a temperatura ambiente para poder calcular el rendimiento.

En la Tabla 2 se presentan las características para las dos extracciones realizadas en el proceso de investigación, la primera extracción fue realizada a una temperatura de 88°C y duro 170 minutos para obtener el producto líquido mientras que la segunda extracción fue realizada a una temperatura de 90°C y duro 150 minutos para obtenerse el producto líquido, el rendimiento del producto líquido para las dos extracciones fue el mismo con un volumen de 28 ml, por lo cual se puede decir que la temperatura de 90°C es la más conveniente ya que es la extracción que económicamente es más factible, ya que se obtiene más rápido el colágeno sin alterar sus propiedades fisicoquímicas.

**Tabla 2. Características de la extracción sólido –líquido del colágeno a temperatura de 88°C Y 90°C**

Extracción	Temperatura °C	Volumen de agua (ml)	Tiempo min	Observación
1	88	2000	170	Tardo 2 horas en gelatinizarse, presenta una estructura muy sólida al perder toda el agua presente
2	90	2000	150	Tardo 2 horas en gelatinizarse, presenta una estructura muy sólida al perder toda el agua presente

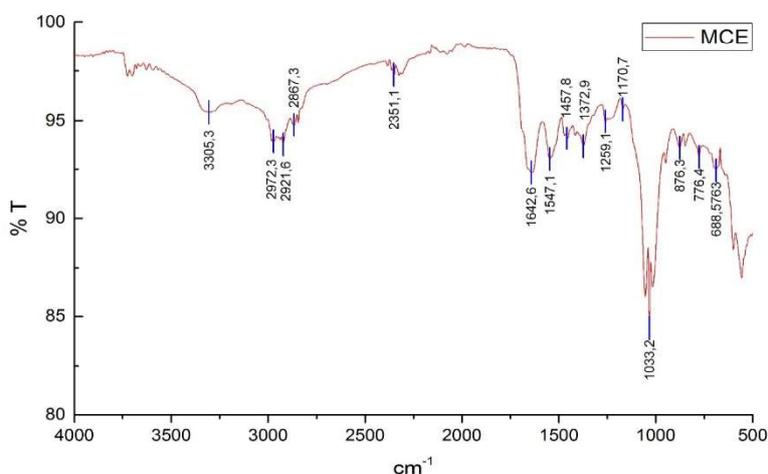
### Contenido de Proteínas en las escamas por medio de caracterización infrarroja

Para determinar la presencia de proteína en la muestra y poder continuar con la investigación, ya que el colágeno es una proteína, se realizó un estudio de Espectroscopia infrarroja (FTIR) a una escama del Roncador.

El espectro se presenta en la Figura 1, con bandas de absorción de 3305,3 correspondiente a una vibración de estiramiento, 1642,6 característico de una vibración de estiramiento del carbonilo C=O, 1547,1 es una vibración de deformación que corresponde a una amida secundaria, 1259,1 una amida terciaria y 1170,7 correspondiente a una vibración de estiramiento carbono-nitrógeno, tal como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3. Datos de las bandas detectadas de las bandas de una escama de la especies**

Número de banda	Datos Experimentales cm-1
A	3305,3
B	1642,6
C	1547,1
D	1259,1
E	1170,7



**Figura 1 Espectro a muestra de escama.**

### Evaluación sensorial del producto obtenido

Para la evaluación sensorial se determinaron las propiedades dureza, color, olor y forma del producto seco obtenido; cuyas características se muestran en la Tabla 4, soluble en agua de dureza flexible, entre otras.

**Tabla 4. Evaluación de la calidad del colágeno obtenido**

Propiedades	Características
Dureza	Flexible
Color	ámbar claro
Olor	Neutral
Forma	Amorfo
Solubilidad	Agua

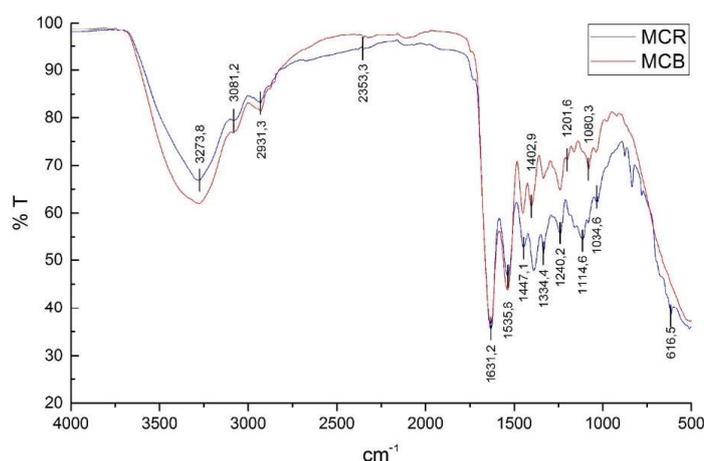
### Comparación de la muestra con un patrón mediante Espectroscopia Infrarroja.

Se comparó mediante un análisis de Infrarrojo (IR) el colágeno obtenido de la extracción solido-líquido de las escamas de la especie *Pomadasys Incisus* (Roncador), con una muestra patrón de colágeno bovino tipo I. Los análisis fueron realizados en el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), para asegurar la calidad del colágeno, se determinaron las bandas de la muestra obtenida experimentalmente y de la muestra patrón para evaluar el comportamiento mediante el espectro de infrarrojo. En la Tabla 5 se muestran los datos detectados de las bandas para las dos muestras con el espectro de infrarrojo.

**Tabla 5. Datos de las bandas detectadas de la muestra experimental en comparación con los datos detectados de las bandas de la muestra patrón**

Número de banda	Datos Experimentales cm-1	Datos de la Muestra Patrón cm-1
A	3273,8	3081,2
B	1631,2	1535,6
C	1240,2	1201,6
D	1114,6	1080,3

El espectro presenta bandas de absorción para la muestra extraída experimentalmente en 3273,8 correspondiente a una vibración de estiramiento, 1631,2 característico de una vibración de estiramiento del carbonilo C=O, 1240,2 para una amida terciaria y 1114,6 correspondiente a una vibración de estiramiento C-N. Estas bandas de absorción corresponden al enlace peptídico o enlace amida característico de una proteína y para la muestra patrón en 3081,2, correspondiente a una vibración de estiramiento del carbonilo C=O y 1535,6 para una amida secundaria. Estas bandas de absorción corresponden al enlace peptídico o enlace amida característico de una proteína. En la Figura 2 se presentan los espectros de infrarrojo para la muestra extraída y le muestra el patrón.



**Figura 2. Espectro de Infrarrojo de la muestra extraída y de la muestra patrón.**

Los datos de las bandas detectadas en la muestra de colágeno obtenido experimentalmente, coinciden con los datos de la muestra patrón. Verificando que la muestra es colágeno tipo I. La muestra patrón utilizada fue colágeno bovino Tipo I. Se revisó en la ficha técnica la composición de los aminoácidos presentes en la muestra patrón, se observó que esta tiene un porcentaje óptimo de prolina, hidroxiprolina, y glicina, aminoácidos característicos del colágeno.

### Evaluación de la muestra después de tres semanas de extracción.

La evaluación de las características físicas dureza, color, olor y forma del colágeno extraído mostró una disminución de las propiedades debido al tiempo el cual había transcurrido desde la extracción. Esto se debe a que la proteína la cual conforma al colágeno sufre una serie de oxidaciones, las cuales alteran su estructura molecular.

Se observó en la Figura 3 que los porcentajes de transmitancia están alrededor del 80% lo cual indica que después de tres semanas la muestra extraída de colágeno de las escamas del Roncador, perdió concentración de las proteínas, por lo cual se sugiere que para fines comerciales se le debe adicionar algún tipo de conservador que mantenga las propiedades físico-químicas del colágeno.

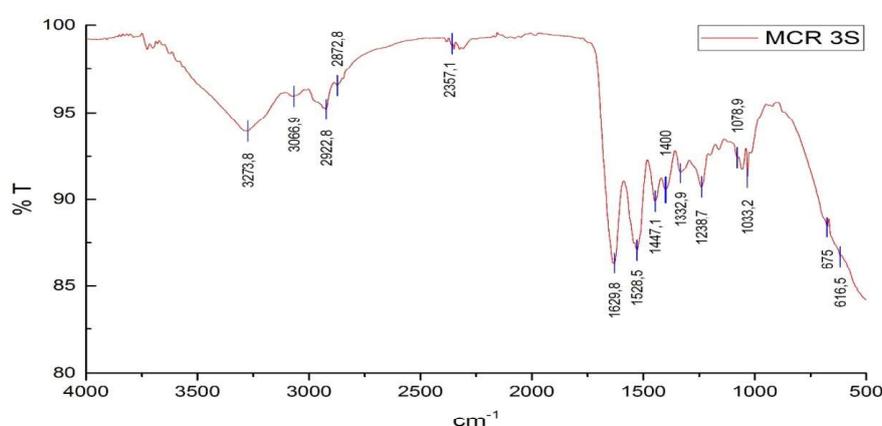


Figura 3. Espectro de la muestra extraída después de tres semanas.

### Rendimiento del colágeno obtenido

El cálculo del rendimiento del colágeno obtenido de las escamas de la especie Roncador mediante la extracción sólido-líquido, usando como solvente agua se realiza mediante el siguiente cálculo.

$$R = \text{Peso final} \times 100\% = \text{Peso inicial}$$

$$28 \times 100 = 90R$$

El rendimiento obtenido fue del 31.11% lo cual indica que la extracción de colágeno de las escamas del Roncador, es una técnica económicamente factible para ser implementada a escala industrial.

### Conclusiones

- La metodología experimental que se aplicó, fue efectiva para la extracción del colágeno de las escamas de pescado, ya que se obtuvo un biopolímero de aspecto sólido y sin tendencia a la descomposición por acción microbiana, es una metodología factible ya que aparte de otorgar un grado de importancia a estos residuos, ayuda a disminuir la contaminación ambiental y a liberarnos de los óxidos de trimetilamina producidos en la descomposición bacteriana de dichos desechos (escamas, colas y aletas).

- El solvente óptimo para la extracción siguiendo los objetivos planteados es el agua, debido a que tiene la característica de ser una molécula polar y reacciona con aquellos compuestos que igualmente son polares, también porque es el único compuesto químico que se halla en la naturaleza en grandes cantidades.

- El colágeno obtenido presentó las siguientes características sensoriales: dureza flexible, color ámbar claro, olor neutral, forma amorfo y soluble en agua.
- El rendimiento del colágeno obtenido fue de 31.11% partiendo de 90 g de materia prima, siendo el factor principal el tiempo de extracción, pues se debe realizar en un tiempo óptimo de 150 minutos para eliminar la mayor cantidad de humedad posible.
- La identificación de colágeno se realizó por comparación de espectroscopia infrarroja con una muestra patrón de colágeno bovino tipo I

### **Referencias Bibliográficas**

- [1] Serrano, J. (2004). Estandarización de un proceso de extracción de colágeno a partir de los residuos de fileteo de tilapia (*Oreochromis*) y cachama (*Piaractus brachyomus*). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- [2] Flores, C. (2017). Extracción de colágeno de las escamas de pescado utilizando diferentes niveles de rennina. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- [3] Delgado, S. (2013). Evaluación de escamas de pescado como adsorbente de metales pesados de agua residual. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- [4] Rodríguez, A., López, R., Ramírez, C. y Andrade, J. (2017). Propuesta para extracción de colágeno soluble en ácido (CSA) de escamas de tilapia del Nilo. Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- [5] De la Mora, M. (2006). Metodología de la investigación. D.F., México: Internacional Thomson Editores.
- [6] Ramos, C. (2018). Obtención y caracterización de colágeno a partir de escamas de pescados rojo y pardo. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

# Efecto de la sustitución de arena por *oil fly ash* en las propiedades Marshall de una mezcla asfáltica caliente tipo III

Victoria Valera, Luis Romero, Cezar García y Gabriela Carruyo.

Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta.  
Maracaibo, Venezuela.

Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.  
Maracaibo, Venezuela.

Correo electrónico: [vickyvalerohart@hotmail.com](mailto:vickyvalerohart@hotmail.com); [ladrianr198@gmail.com](mailto:ladrianr198@gmail.com); [cgarcia@uru.edu](mailto:cgarcia@uru.edu) y [gabcarruyo@gmail.com](mailto:gabcarruyo@gmail.com)

Recibido: 04-02-2020    Aceptado: 17-09-2020

## Resumen

En el trabajo de investigación presentado se enfocó en determinar el efecto de la sustitución de arena por *oil fly ash* en las propiedades Marshall de una mezcla asfáltica caliente tipo III, haciendo variaciones de 5% p/p de ceniza con respecto a la arena, se utilizó la metodología Marshall para evaluar las briquetas elaboradas en el laboratorio, se realizaron 5 briquetas por diseño, se mezclaron los agregados pétreos con la ceniza de *oil fly ash* incluida y el cemento asfáltico a temperatura constante para obtener una mezcla homogénea, se pesaron 1200g de mezcla dentro del molde y realizo la compactación dando 75 golpes por cara, una vez las briquetas se encontraron frías se determinaron las propiedades Marshall. Al realizar dichos ensayos se observó que en la densidad a medida que se aumentaba el %p/p de oil fly ash disminuía, de igual forma al evaluar la estabilidad de las mezclas se observó un ligero aumento de estabilidad al 5% modificado y luego un decrecimiento de la estabilidad a medida que seguía aumentando el %p/p de *oil fly ash*, en cuanto a la fluencia de las mezclas no presentaba un comportamiento predecible en los porcentajes evaluados.

**Palabras claves:** Mezcla asfáltica, cenizas volantes, bitumen, Método Marshall, MAC tipo III.

## Effect of the substitution of sand by oil fly ash on the Marshall properties of a hot asphalt mixture type III

### Abstract

In the research work present, it focused on determining the effect of the substitution of sand by oil fly ash on the Marshall properties of a hot asphalt mix type III, making variations of 5% w/w of ash with respect to the sand, the Marshall methodology was used to evaluate the briquettes elaborated in the laboratory, 5 briquettes were made by design, the stone aggregates were mixed with the ash of oil fly ash included and the asphaltic cement at constant temperature to obtain a homogeneous mixture, 1200g of mixture were weighed inside the mold and the compaction was carried out giving 75 blows per face, once the briquettes were cold we proceeded to determine the property Marshall. When performing these tests, it was observed that in the density as the % w / w of oil fly ash increased, similarly, when evaluating the stability of the mixtures, a slight increase in stability at 5% modified and then a decrease in stability was observed as the % w / w of oil fly ash continued to increase. As for the creep of the mixtures, it does not show predictable behavior in the percentages evaluated.

**Key words:** Asphalt mix, fly ash, bitumen, Marshall Method, MAC type III.

### Introducción

Los cambios climáticos que se están viviendo en nuestros días afectan a la infraestructura vial de ciudades y pueblos en general. Se hace necesaria la búsqueda de nuevos materiales o modificaciones de los existentes para aportar al desarrollo vial de la población. En el argot popular se dice que un país se conoce por su infraestructura vial, y es aquí en donde se propondrá una nueva forma de modificación del asfalto para sustituir arena por *oil fly ash* en las propiedades Marshall de una mezcla asfáltica caliente

tipo III. Los estudios sobre los asfaltos modificados llevan más de 30 años trabajándose. Entre otros se ha estudiado la adición de polímeros de tipo elastómero y plastómero los cuales logran mejorar algunas de sus propiedades tales como la estabilidad pero como contraparte se tiene un alto costo en la fabricación de los mismos originando que la implementación de éstos no se pueda generar para todo tipo de proyecto. (Reyes y otros 2007).

En nuestro país se ha visto una tendencia de aumento del número de ejes equivalentes y cargas suministradas por el paso del tráfico pesado, lo cual genera en las carpetas asfálticas mayores esfuerzos y deformación. Por tal razón, este estudio pretende encontrar una alternativa de solución a las necesidades existentes para poder mejorar las propiedades mecánicas, químicas y reológicas de los asfaltos con la intención de aumentar la resistencia y la rigidez utilizando un material sobrante de las centrales termoeléctricas, conocidas por el nombre *oil fly ash*, las cuales son cenizas sobrantes de la combustión. A lo largo de este trabajo se evaluaron los cambios que una mezcla en caliente tipo 3, presentó con la adicción de cenizas al asfalto en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20%. De esta manera, se aportó una opción de un material para asfaltos y se contribuyó a la aplicación de una solución al problema de contaminación ambiental generado por la posible inadecuada disposición de este producto. La hipótesis es proveer una metodología alternativa para la construcción de carpetas asfálticas.

## **Fundamentos Teóricos**

### **Método de Marshall**

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi. El ensayo Marshall, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple. Dicho cuerpo de ingenieros decidió adoptar el método Marshall, desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del Ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2.5in) de espesor por 103mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas. (Garnica Aguas et al., 2004).

## **Cenizas volantes**

Cenizas volantes son un producto el cual resulta de la combustión del fuel *oil* o del carbón pulverizado en la producción de energía en plantas termoeléctricas. Las partículas de ceniza son generalmente de un tamaño menor a 200  $\mu\text{M}$ , tiene una alta resistencia mecánica una gama de densidades entre 0,6 y 3  $\text{gr}/\text{cm}^3$ , un punto de fusión superior a 10.000°C, baja conductividad térmica, y son en la mayoría de los casos químicamente inertes. (Herrera Galvis, 1999)

La mayoría de las cenizas volantes apropiadas para la construcción provienen del carbón que es utilizado en la combustión en plantas eléctricas. En este proceso el carbón es primero pulverizado o triturado a un grado específico de finura y luego mezclado con el aire caliente y soplado dentro de una cámara generadora que se enciende inmediatamente para calentar los tubos de la caldera, los componentes orgánicos del carbón son quemados casi inmediatamente, dejando la mayor parte de ceniza inorgánica como subproductos. (Herrera Galvis, 1999)

## **Parte Experimental**

### **Caracterización físico química de las muestras de bitumen, *oil fly ash* y de los agregados pétreos que utilizaran en las mezclas.**

Como primera actividad se determinó la viscosidad cinemática, viscosidad dinámica, punto de inflamación y la penetración del cemento asfáltico ac-30 suministrado por PDVSA, siguiendo la metodología descrita en la NORMA COVENIN, posterior eso se hicieron los análisis granulométricos a las muestras de arena, *oil fly ash*, polvillo y piedra, haciendo pasar la muestra por unos tamices de diferentes tamaños utilizando un agitador mecánico para agilizar la separación de las partículas de diferentes tamaños y así poder determinar el porcentaje que pasa por cada tamiz. Antes de realizar este ensayo se deben lavar todos los agregados para eliminar todos los residuos de arcilla y material orgánico que puedan estar presentes.

### **Determinación del %p/p máximo con el que se puede dosificar las mezclas**

La determinación del %p/p máximo con el cual se podía dosificar la mezcla se realizó mediante la observación de las mezclas al ir sustituyendo la arena por la ceniza, ya que las mezclas asfálticas en caliente son totalmente homogéneas. De tal manera que al observar que la mezcla no sea homogénea se sabrá que ese porcentaje de ceniza con el cual se dosifico la mezcla fue demasiado para que se logre una buena adherencia entre los agregados y el cemento asfáltico, que para cada uno de los diseños es el mismo (5,5%). Se harán variar los porcentajes de ceniza en rangos de 10% hasta que la mezcla no sea homogénea.

### **Determinación de las propiedades Marshall de las mezclas preparadas.**

Para la determinación de las propiedades Marshall se realizaron nuevas asfálticas esta vez haciendo variar el porcentaje de ceniza en un rango menor con la finalidad de poder observar los fenómenos que ocurren de una mejor forma. Esta vez se hicieron variar los % sustituidos en 5%. Se realizan las nuevas mezclas y se compactaran las briquetas para poder realizarles los ensayos de estabilidad, densidad y flujo. Apenas se enfríen las briquetas se determina la densidad de mezcla, mientras que para determinar la estabilidad y flujo se dejó reposar las briquetas por 5 días para que expulsara los gases atrapados por la compactación. La medida de la densidad real y el peso específico "BULK" de las briquetas puede hacerse tan pronto como las briquetas se enfríen a temperatura ambiente.

$$\text{Densidad real de la briqueta} = \frac{\text{peso en el aire}}{\text{volumen total de la briqueta}} \quad (1)$$



Donde, el eje de las ordenadas representa el %pasante, mientras que en las abscisas se muestra en escala logarítmica el tamaño de los tamices (Figura 1). Se puede observar que el tamaño de partículas de la arena es mucho mayor que la de la ceniza, se nota una diferencia considerable entre el porcentaje pasante desde el tamiz N°30(0.59mm) hasta el N°200(0.074mm).

La Tabla 2 muestra los porcentajes de arena sustituido por *oil fly ash* con los que se comenzaran a preparar las mezclas para la determinación del porcentaje máximo con el cual se puede dosificar la mezcla asfáltica caliente tipo III.

**Tabla 2. % p/p sustituido por ceniza con respecto a la arena.**

Mezcla	1	2	3	4	5
% p/p sustituido	10%	20%	30%	40%	50%

Después de haber planteado los porcentajes (Tabla 2), se comenzó la preparación de cada una de ellas, se pudo observar que al aumentar el porcentaje de ceniza de 20% a 30% no se pudo conseguir una mezcla asfáltica homogénea, ya que para el porcentaje de cemento asfáltico planteado (5,5%) no era suficiente para lograr una buena adherencia entre los agregados, las cenizas y el líquido, este resultado desfavorable se le atribuye a las características granulométricas de las cenizas *oil fly ash*. Se elaboró una mezcla sustituyendo el 25% de arena por ceniza para observar si se obtenía una mezcla homogénea pero no se consiguió. Por lo que se tomó como tope 20% de arena que podía ser sustituida por *oil fly ash*.

La Tabla 3 muestra los nuevos diseños de mezclas para la determinación de las propiedades Marshall, esta vez haciendo variar los % p/p en un rango más pequeño para poder conseguir una mejor apreciación de los diferentes fenómenos que se presentan.

**Tabla 3. Dosificación de las mezclas elaboradas.**

Mezcla	1	2	3	4	5
%C.A	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
%arena	32	30.4	28.8	27.2	25.6
%ceniza	0	1.6	3.2	4.8	6.4
%piedra	26	26	26	26	26
%polvillo	42	42	42	42	42
%p/p que representa	0	5	10	15	20

Posterior a haber planteados los diseños (Tabla 3), se elaboraron las mezclas, se compactaron las briquetas y se dejaron enfriar para la determinación de la densidad, estabilidad y flujo.

En la Figura 2 se observó los valores de estabilidad en función del porcentaje de arena sustituido por *oil fly ash*, destacándose una ligera elevación de los valores de estabilidad al aumentar de 0% a 5% sustituido (Figura 2) aumento favorable ya que tiene que existir un valor más elevado de esfuerzo para que exista el punto de rotura. Mientras que al seguir aumentando la ceniza estos valores de estabilidad van decreciendo por lo que se dice que la mezcla comienza a perder la capacidad de soportar carga y hace que llegue al punto de falla más rápido, lo que no es recomendable si se tomara en cuenta para la aplicación que se le da.

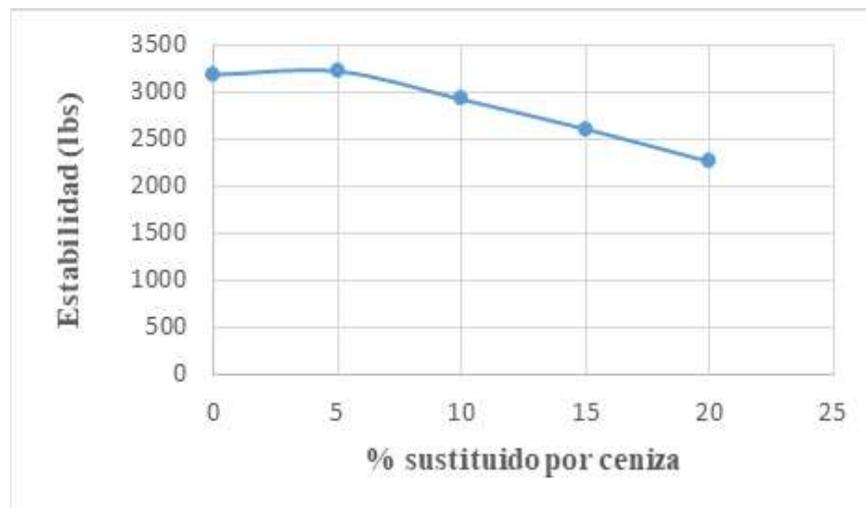


Figura 2. Estabilidad de mezcla en función del % sustituido por *oil fly ash*

La Figura 3 muestra los valores de fluencia en función del porcentaje sustituido, se observó que hay un decrecimiento desde 0% hasta 10% y luego un crecimiento brusco hasta el 20% sustituido, esto se debe a que la mezcla al ser modificada con mucha cantidad de ceniza hace que esta se vuelva una mezcla más débil acreditándose esto a la granulometría de la ceniza, ya que aporta mucho a los agregados finos quitándole rigidez a la mezcla, se puede decir que a partir del 15% sustituido esta mezcla es blanda. Ahora si se observan los valores desde 0% hasta 10% pueden ser valores permisibles, sin embargo al dosificarse con un primer 5% de ceniza esta propiedad mejora, haciendo que la mezcla sea un poco más rígida, seguirá siendo pavimento flexible pero con un valor de fluencia mejorado.

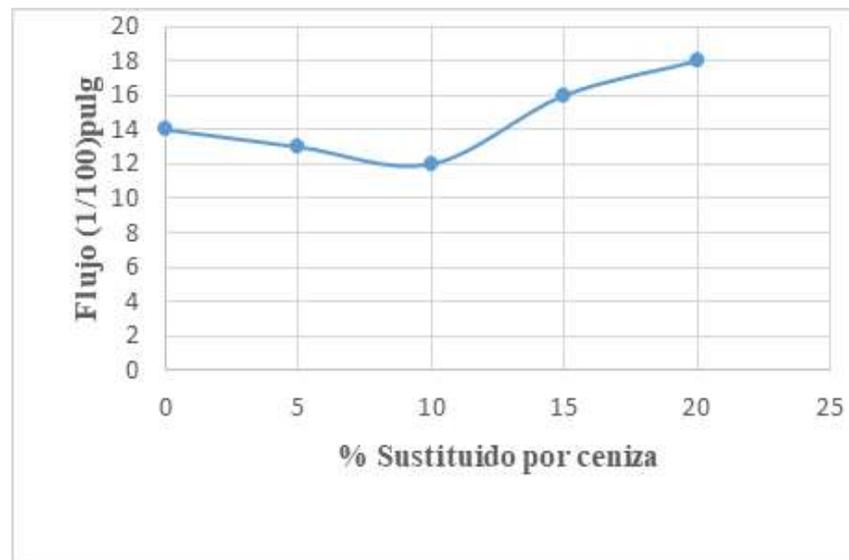
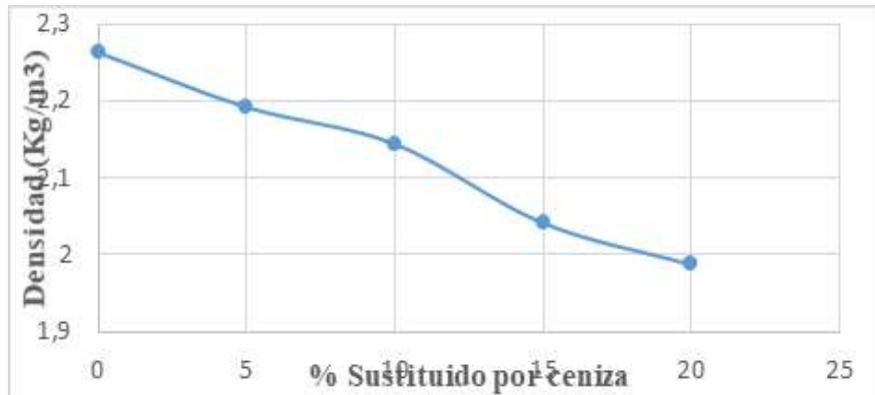


Figura 3. Fluencia de mezcla en función del % sustituido por *oil fly ash*

La Figura 4 muestra los valores de densidad en función del % sustituido por *oil fly ash*, se observa a lo largo de todas las dosificaciones un decrecimiento considerable de la densidad, este fenómeno sigue acreditándose a la granulometría de la ceniza, ya que de por si estas cenizas son muy poco densas y sustituirlas por arena ocasiona que la densidad de la mezcla también baje.

Ahora bien, al analizar la densidad con respecto al porcentaje sustituido, se observó que el mejor valor de densidad obtenido fue cuando se dosifico la mezcla con un 5%, ya que aportó un valor de den-

idad más aproximado a la mezcla original tipo III que representa a la de 0% y no es tan baja, hay que añadir a esto, que la estabilidad y fluencia dependen directamente de la densidad de la mezcla.



**Figura 4. Densidad de mezcla en función del % sustituido**

Una vez determinadas las propiedades se compararon los valores con los establecidos en la NORMA COVENIN, donde se especifica que una vez seleccionada el tipo de granulometría, que en nuestro caso es la tipo 3, y determinado el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, que en nuestro caso se mantuvo fijo en 5,5%, las mezclas tenían que cumplir con lo señalado por norma.

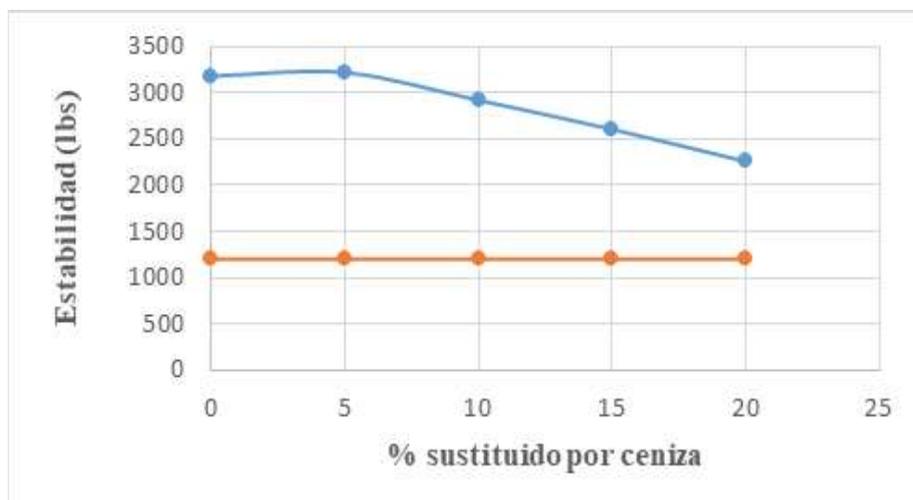
**Tabla 3. Parámetros de aceptación de carpetas según NORMA COVENIN 12-10**

Uso de la mezcla asfáltica	Estabilidad Marshall (en lb)	Flujo 1/100 pulg	%de vacíos de la mezcla
Rodamiento	1.200 min	8-16	3-5
Intermedia	1.000 min	8-16	3-7
Base	900 min	8-16	3-8

Fuente: (COVENIN, 1987:2000)

La Tabla 3 muestra las especificaciones según la norma para cada uno de los diferentes usos que se le da a las mezclas asfálticas, teniendo esto se compararon los valores obtenidos con los establecidos en la norma.

La Figura 5 muestra la comparación de los valores de estabilidad obtenidos y los especificados para una carpeta de rodamiento



**Figura 5. Relación entre estabilidad calculado con los especificados en norma**

Se observó que (Figura 5), la estabilidad satisface en todo momento la especificación mínima de estabilidad para carpetas de rodadura, por lo que si solo dependiera de estabilidad, tomar una elección para darle un posible uso a las mezclas preparadas se pudiera escoger cualquier diseño planteado.

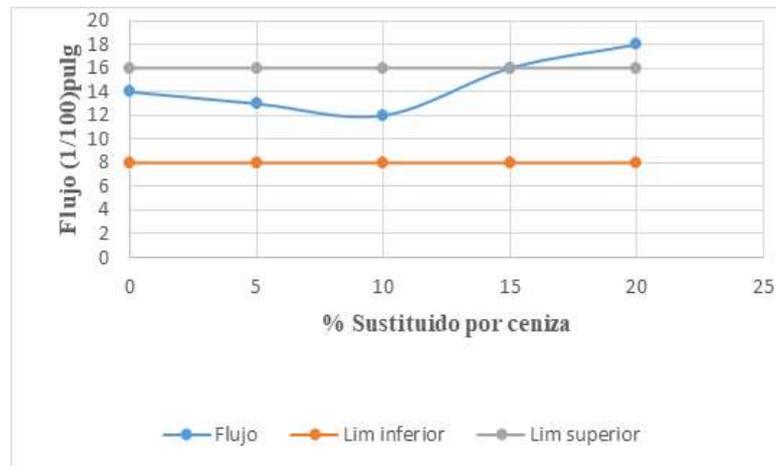


Figura 6. Relación entre el flujo calculado y requisitos de norma.

Sin embargo, se observaron los valores de fluencia en comparación de los especificados en la norma (Figura 6), se observa que hasta el porcentaje de 15% cumple con lo especificado, no obstante, el valor de flujo para 15% de ceniza queda en el límite superior por lo que no se sugiere tomar en cuenta ese diseño, porque a pesar que este dentro del límite es una mezcla blanda y no ofrece las mejores propiedades de calidad ya que para el porcentaje del 15% la estabilidad está por encima del mínimo pero no es la más alta, al igual que la densidad que igual ha disminuido con respecto a porcentajes más bajos.

Por lo que si se toman en cuenta todas las propiedades evaluadas las cuales son densidad, estabilidad y flujo en cual el porcentaje de cenizas que ha sido modificada presenta resultados favorables, se tendría que optar por la de 5% que fue la que proporciono mejores resultados, esta mezcla asfáltica con 5% de ceniza con respecto a la arena se puede implementar como Mezcla Asfáltica Caliente tipo III que es un pavimento flexible, en la actualidad es uno de los pavimentos más comerciales que hay ya que su uso fundamental es para asfaltado en vías principales que tienen un alto tráfico y soportan cargas pesadas.

## Conclusiones

- Al modificar las mezclas con un 30% p/p de *oil fly ash* no se pudo preparar una mezcla homogénea, esto se debe a que era demasiado agregado fino para la cantidad de cemento asfáltico que tenía establecida la mezcla asfáltica caliente tipo III.
- Al elaborar mezclas modificadas con 5% ,10% ,15% ,20% de *oil fly ash* se pudieron obtener mezclas homogéneas, sin embargo se tomó 20%p/p como tope máximo con el que se puede dosificar la mezcla original.
- A medida que el % p/p de *oil fly ash* aumentaba la densidad fue disminuyendo, esto no es un resultado favorable ya que la estabilidad y flujo tienen relación con la densidad de mezcla.
- El flujo se mantuvo en el rango permisible por la Norma COVENIN hasta que la mezcla se modificó con un 15% donde se obtuvo un valor de fluencia que se ubicó en el límite superior indicando una mezcla muy blanda.

- Al evaluar los valores de estabilidad en función del %p/p modificado se obtuvieron resultados que satisfacían en todo momento los requisitos mínimos de la NORMA COVENIN.

- Se observó que al modificar la mezcla original con un 5% se obtuvo un crecimiento en el valor de estabilidad con respecto a la de 0% modificado, resultado favorable ya que está agregando más capacidad de resistencia al esfuerzo.

- Los resultados de efecto de la sustitución de arena por *oil fly ash*, satisfacen los requisitos mínimos de la norma hasta la sustitución del 20% donde la fluencia sale del rango permisible.

- La mezcla modificada que presento mejores resultados fue la de 5%, esta es la que se debería tomar en cuenta para la fabricación de una mezcla asfáltica caliente tipo III a nivel industrial.

- En la actualidad se producen un poco más de 7875 toneladas de pavimento tipo III al mes por lo que se puede aprovechar aproximadamente 126 toneladas de cenizas.

### Referencias Bibliográficas

[1] Reyes, F., Figueroa, A. y Sanchez, A. Caracateirización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada. *Epsilon*, Julio- Diciembre, Núm. 009, pág. 41-45, Universidad de la Salle, Bogotá Colombia. (2007).

[2] Garnica, P., Delgado, H. y Sandoval, C. Análisis comparativo de los métodos Marshall y superpave para compactación de mezclas asfálticas. *Publicación Técnica 271*. Instituto Mexicano del Transporte. (2005).

[3] Herrera, L. Utilización de las cenizas volantes en el concreto. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana. Coolombia. (2009).

[4] Norma COVENIN N° 424-91 “Petróleo crudo y sus derivados. Determinación de la viscosidad cinemática y cálculo de la viscosidad dinámica”

[5] Normas Venezolanas COVENIN. Sector construcción especificaciones. Codificación y Mediciones. Parte 1: Carreteras. FONDONORMA, Venezuela. (2000).

[6] Norma COVENIN N° 372-97 “Productos derivados del petróleo. Determinación del punto de inflamación y fuego método Cleveland de copa abierta”

[7] Norma COVENIN N° 4105 “.” Materiales bituminosos. Método de ensayo para determinar la penetración”

## **Normas para la presentación de artículos**

**1. La Revista Tecnocientífica URU** es una revista digital arbitrada de la Universidad Rafael Urdaneta cuyo propósito es dar a conocer trabajos científicos originales e inéditos en las áreas de Ingeniería (Química, Civil, Eléctrica, Computación, Telecomunicaciones, Industrial y Producción Animal, entre otras).

### **2. Tipos de trabajos**

Se aceptaran para la publicación artículos científicos inéditos, esto es, que no hayan sido enviados o publicados en otro órgano de divulgación científica con anterioridad, con un máximo de quince (15) páginas y escrito en MICROSOFT OFFICE WORD. Se deben consignar tres copias y un CD-ROM del artículo.

- 2.1 Artículos de actualización científica que resuman el “Estado del Arte” de las áreas de la revista, con un máximo de quince (15) páginas.
- 2.2 Artículos de reflexión sobre un tema específico de las áreas de la revista, desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, recurriendo a fuentes originales.
- 2.3 Artículos de revisión: documentos donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, sobre una temática especializada de las áreas de la revista.
- 2.4 Artículos de discusión: documentos que presentan el debate de afirmaciones realizadas en artículos anteriores.
- 2.5 Artículos de invitados especiales con un máximo de quince (15) páginas.
- 2.6 Notas técnicas: sobre mejoras de procesos en ingeniería, resultados de investigaciones derivadas del ejercicio profesional en ingeniería y ciencias afines, con un máximo de ocho (8) páginas.

### **3. La portada debe contener**

- 3.1 Título del trabajo en español e inglés en letras mayúsculas y minúsculas.
- 3.2 Nombre(s) del autor(s), 6 autores como máximo y su dirección institucional(es) completa(as) (dirección postal, correo electrónico).
- 3.3 Resumen del trabajo en español e inglés (abstrac) con un máximo de doscientas (200) palabras.
- 3.4 Palabras clave en español e inglés (key words) con un máximo de cinco (05) palabras.

### **4. Normas de estilo**

- 4.1 El orden a seguir para el artículo es: portada, resumen (en español e inglés), introducción, fundamentos teóricos, parte experimental, resultados, discusión de resultados, conclusiones, agradecimiento y referencias bibliográficas.
- 4.2 El artículo debe escribirse en estilo Times New Roman tamaño 12, el título tamaño 16 y las Figuras, tablas y texto subordinados tamaño 10.

- 4.3 El interlineado debe ser doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.
- 4.4 El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.
- 4.5 El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.
- 4.6 Las Figuras, fotografías, diagramas y gráficos deben denominarse como Figuras y estas deben ir numeradas con números arábigos, así como las tablas. Además, deben incluirse dentro del texto correspondiente y con su respectiva leyenda.
- 4.7 La redacción de los trabajos puede ser en español o inglés.
- 4.8 Las fotografías, imágenes, mapas y Figuras incluidas en el documento se anexaran también por separado en el CD-ROM con excelente calidad.
- 4.9 Las fotografías deben estar en blanco y negro, bien contrastadas y brillantes de un ancho máximo de 9,5cm.
- 4.10 Todos los símbolos matemáticos deben ser escritos en forma clara y legible, con los subíndices y superíndices ubicados correctamente.
- 4.11 Deben ser numeradas todas las ecuaciones matemáticas en forma consecutiva con números arábigos entre paréntesis y ubicados en el margen derecho.
- 4.12 Las citas dentro del documento se escriben con el nombre de sus autores seguido con un número entre corchetes que corresponde a la referencia.

Ejemplo: García [1], L Moreno [3, Pág. 19-24] o ubicando el número de la referencia sin colocar autor [4], si son 3 o más autores se escribe K. Nishimoto *et al.* [2].

Las referencias bibliográficas de artículos de revistas deben contener autor(es) si tiene varios autores separarlos con comas, título de la revista, volumen y número, año de publicación (entre paréntesis) y páginas. Solo deben incluirse referencias bibliográficas con autores totalmente identificados y se escribirán por orden de aparición de las citas.

Ejemplo: García C., Marín j., Alaña J., Martínez K. y Faria J., Modelo de Nernst-Planck aplicado a la cinética de intercambio iónico del sistema PO<sub>4</sub>(-3)- Cl(-1) en leche, Rev. Tec. Ing. Univ.Zulia, Vol. 30, N<sup>o</sup>. 3, (2007), 236-243.

Los libros se escriben: apellido e inicial del autor(es) con mayúsculas y minúsculas.

Ejemplo: Nishimoto K. (Editor), Fractional Calculus and its Applications, Nihon University, Tokyo (1990).

- 4.13 En los artículos deben emplearse unidades del Sistema Internacional: metro (m), kilogramos (Kg), Segundo (s), entre otras.

## 5. Arbitraje

- 5.1 El trabajo, recibido por el Editor(a), será enviado al Comité Editorial para su revisión y consideración de tres árbitros.
- 5.2 El método de arbitraje que sigue la revista es de tipo “doble ciego”, que consiste en que tanto los árbitros como los autores desconocen sus respectivas identidades.
- 5.3 Los trabajos serán evaluados de acuerdo a los siguientes criterios: claridad, originalidad del

contenido, aportes al campo de conocimiento, coherencia del discurso, adecuada organización interna, calidad de las referencias bibliográficas, adecuada elaboración del resumen y pertinencia del título.

- 5.4 En caso de recibir observaciones por parte de los árbitros, estas serán enviadas al(los) autor(es) para su corrección. Después de realizar las correcciones, los autores devolverán la versión corregida en un CD-ROM, así como un original impreso y tres copias.
- 5.5 Las pruebas de imprenta serán enviadas a los autores para la revisión final del artículo.
- 5.6 Cuando el trabajo sea aceptado los autores serán informados del tiempo aproximado de publicación. Si el trabajo es rechazado los autores podrán remitir al Editor(a) Jefe una comunicación exponiendo argumentos a favor de su artículo. El Comité Editorial considerará las acciones a tomar.
- 5.7 Cada autor principal de los artículos publicados recibirá gratuitamente una (1) revista y cinco (5) separatas.

## **6. Consideraciones finales**

- 6.1 Los conceptos u opiniones emitidos en los artículos, serán de exclusiva responsabilidad de los autores.
- 6.2 El Comité Editorial se reserva el derecho de los arreglos de estilo que considere conveniente.
- 6.3 Bajo ninguna circunstancia, la revista devolverá los originales (Impreso y CD-ROM) de los artículos enviados para su consideración.
- 6.4 Lo no previsto en las presentes normas será resuelto por el Comité Editorial.

## **Guidelines for Submitting Articles**

**1. URU techno-scientific journal** is an arbitrated digital journal of the Rafael Urdaneta University, whose purpose is to publish scientific papers in the areas of engineering (Chemical, Civil, Electrical, Computer, Telecommunications, Industrial, Animal Production, etc.).

### **2. Types of articles**

Articles will be accepted for publication which have not been submitted or published in other scientific journals, and should have a maximum of fifteen (15) pages, and written in MICROSOFT OFFICE WORD. Three copies should be submitted along with a CD-ROM containing the article.

- 2.1 Scientific articles that summarize the “state of the art “ in areas of interest for the journal with a maximum of fifteen (15) pages.
- 2.2 Reflection articles on specific issues covered by the magazine, from an analytical, interpretative or critical viewpoint of the author, and based on original sources.
- 2.3 Review articles which analyze, systematize and integrate results, published or unpublished, on specific issues covered by the magazine.
- 2.4 Discussion articles: A document that presents the debate of assertions published in previous articles.
- 2.5 Articles by special guests with a maximum of fifteen (15) pages long.
- 2.6 Technical notes on process improvements in engineering, results of research obtained from professional practice in engineering and related fields, with a maximum of eight (8) pages.

### **3. The front page must contain**

- 3.1 Title of paper in English and Spanish, in uppercase and lowercase letters.
- 3.2 Author’s name , maximum of 6 authors and full institutional address or addresses (postal address, e-mail).
- 3.3 Abstract in Spanish and English with a maximum of two hundred (200) words.
- 3.4 Key words in Spanish and English with a maximum of five (5) words.

### **4. Text guidelines**

- 4.1 The sequence for the article should be as follows: title, abstract (in English and Spanish), introduction, theoretical foundations, experimental part, and discussion of results, conclusions, acknowledgements and references.
- 4.2 Article should be written in 12 point Times New Roman, and 16 point for the title, and figures, tables and subordinate text should use 10 point. Interlining should be double space; abstract, acknowledgments and references should be single space.
- 4.3 The heading of each section should be centered and written in boldface letters.
- 4.4 Subsections headings should be written in boldface letters on the left of text and in upper and

lower case letters.

- 4.5 Figures, photographs, diagrams and charts should be labeled as figures, and numbered with Arabic numerals, as well as tables. They should be included within the corresponding text along any explanation.
- 4.6 The article draft should be in Spanish or English.
- 4.7 Photographs, images and figures included in the document should be annexed separately on a CD-ROM of excellent quality.
- 4.8 Photographs must be in black and white, with good contrast and brightness, with a maximum width of 9.5 centimeters.
- 4.9 Mathematical symbols should be written clearly and legibly, with subscripts and superscripts correctly located.
- 4.10 Mathematical equations should be numbered sequentially with Arabic numerals within parentheses and placed on the right margin.
- 4.11 Quotations within the document should be written with the author's name followed with a number inside brackets that corresponds to the reference. Examples: García [1], L. Moreno [3, pages 19-24] or, if there are three or more authors, the reference number without the author's name [4], and written as K.Nishimoto *et al.* [2].
- 4.12 Bibliographic references to journal articles should include author (s) name (s); if it has multiple authors, their names should be separated by commas, title of journal, volume and number, year of publication (in parentheses) and page numbers. Bibliographical references should be included only when authors are fully identified and they will be written in order of appearance of the quote. Example: Garcia C., Marin J., Alaña J., Martinez K y Faria J., Model of Nernst-Planck applied to the ion exchange kinetics of the PO<sub>4</sub> (-3)-Cl(1) system in milk, Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia, vol. 30, N° 3, (2007), 236-243.  
  
Books references should be written: surname and initial of the author (s) name (s) in uppercase and lowercase letters.  
  
Example: Nishimoto K. (editor), Fractional calculus and its applications, Nihon University, Tokyo (1990).
- 4.13 Articles should use the International System Units: meter (m), kilogram (kg), second (s).

## **Evaluation**

- 5.1 Articles received by the Editor (s) will be submitted to the Editorial Committee for review and consideration of three arbitrators.
- 5.2 The evaluation method followed by the Journal is of the "double blindness" type; neither the arbitrators nor the authors know their respective identities.
- 5.3 The works submitted will be evaluated according to the following criteria: clarity of language, originality of contents, contributions to the field of knowledge, coherence, adequate internal organization and quality of bibliographic references, appropriate elaboration of the abstract and relevance of title.

- 5.4 In case of observations from the referees, these will be forwarded to the author (s) for corrections. After making corrections, the authors should return the corrected version on a CD-ROM, as well as an original of the reviewed work and three copies.
- 5.5 Press proof will be sent to authors for final review of the article.
- 5.6 When the work is accepted, authors will be informed of the approximate date of publication. If the work is rejected, the author may submit a communication to the Editor in Chief presenting his arguments in favor of the article. The Editorial Committee will consider the actions to take.
- 5.7 Each author will receive one (1) free copy of the journal volume and 5 reprints.

#### **Final considerations**

- 6.1 Concepts or opinions expressed in articles shall be the sole responsibility of the authors.
- 6.2 The Editorial Committee reserves the right for any format changes that considers convenient.
- 6.3 Under no circumstances, the magazine will return the original of the articles (print and CD-ROM) submitted for consideration.
- 6.4 Questions not answered by these guidelines shall be resolved by the Editorial Committee.

**Revista Tecnocientífica URU**  
Número 19 Julio-Diciembre 2020  
Maracaibo - Venezuela