

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

No. 21 Julio - Diciembre 2021

Revista Tecnocientífica URU



Universidad **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>

2021© Los Autores.

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



Web Tecnocientífica URU: <http://ojs.uru.edu/ojs/index.php/tc>

Web de Revista Arbitradas URU: <http://ojs.uru.edu/ojs/>

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

Correo Electrónico: tecnocientifica@uru.edu 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. *Eduardo Paz*, 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

Econ. Alfredo León, Rector
MgS. Ramón Rincón, Vicerrector Académico
MgS. Oscar Urdaneta, Secretario

Ing. Cezar García
Decano de la Facultad de Ingeniería

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

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

Ing. Nancy Urdaneta
Directora de la Escuela de Ingeniería Civil

Ing. Arnaldo Largo
Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Ing. Cezar García (E)
Director de la Escuela de Ingeniería Química

Ing. Ángel González
Directora de la Escuela de Ingeniería Industrial

Arq. María Medina
Directora de la Escuela de Arquitectura

Contenido

Artículos

Estudio de la incidencia de las vigas de amarre en el comportamiento estructural de edificios apor-
ticados mixtos acero-concreto.

**Study of the incidence of the tie beams on the structural behavior of mixed steel-concrete
buildings.**

Hans Wenger y Jesús Medina.

8

Sistema de gestión para el control de calidad en la construcción de viviendas unifamiliares de inte-
rés social en la ciudad de Maracaibo.

**Management system for quality control in the construction of single-family houses of social
interest in the city of Maracaibo.**

María Amanda García Román y Ernesto Velásquez.

18

Manual para la fabricación de adoquines de concreto convencionales y con aditivos para garantizar
las propiedades mecánicas de los elementos en la Región.

**Handbook for the elaboration of conventional concrete pavers and with additives in order to
guarantee the mechanical properties in the Region.**

Carlos Luis Espinoza Suárez y Nancy Urdaneta.

26

Impacto de los recursos en la cadena de suministro de las empresas avícolas.

Impact of resources of the supply chain in poultry companies.

Angel David González Portillo.

36

Diseño de una planta de producción de biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas*.

Design of a biodiesel production plant from *Jatropha curcas* oil.

*José Ángel Sarmiento Martínez, Luis Eduardo Vega Urdaneta y Charles Albert Gutiérrez Mendo-
za.*

48

Diseño del Proceso de Producción de Etanolaminas mediante Destilación Reactiva para la Indus-
tria Venezolana.

**Process Design for the Production of Ethanolamines via Reactive Distillation for the Vene-
zuelan Industry.**

*José Alejandro Barboza Fuenmayor, Miguel Alfredo Pérez Quintero y Charles Albert Gutiérrez
Mendoza.*

62

Modelado del Tiempo de Reacción para Catalizadores Homogéneos en la Producción de Etanol.

Modelling of the reaction time for homogeneous catalysts in the ethanol production.

Aldo Chacín, Jean Morles y Arelis Arrieta.

79

Normas para la presentación de trabajos científicos

91

Estudio de la incidencia de las vigas de amarre en el comportamiento estructural de edificios aporticados mixtos acero-concreto

Incidence study of mooring beams on the structural behavior of mixed steel-concrete buildings

Hans Wenger

Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.
Email: Hwenger3@gmail.com

Jesús Medina

Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.
Email: jesus.medina.60441@uru.edu

Recibido: 28-06-2021

Aceptado: 20-09-2021

Resumen

El objetivo general del presente trabajo de investigación es estudiar la incidencia de las vigas de amarre en el comportamiento estructural de edificios aporticados mixtos acero-concreto. Las estructuras, que se plantearon en la investigación, se consideraron columnas de concreto armado, vigas de carga de acero estructural, losas nervadas de una dirección y se diseñaron dos alternativas para las vigas de amarre, tanto hechas de acero estructural y otra de concreto armado en edificaciones de 8, 10, 12 niveles con la misma geometría de planta y vertical. La diferencia de los modelos radica en la selección de las vigas de amarre. Luego, se comparó el desempeño de las vigas de amarre más desfavorables de cada alternativa para analizar las fuerzas internas como, momentos flectores actuantes, fuerzas cortantes, deflexiones y especificaciones técnicas. Adicionalmente analizar el comportamiento de las edificaciones a raíz de la incidencia de las vigas de amarre, determinando el corte basal y el periodo fundamental. Para lograr el objetivo expuesto, el diseño de las edificaciones se realizó mediante el programa de cálculo estructural ETABS 2016. Los resultados obtenidos demuestran que las estructuras con vigas de amarre de concreto armado exigen más en las fuerzas internas y en el comportamiento estructural a diferencia de las estructuras con vigas de amarre de acero, ya que el peso estructural y las dimensiones de las vigas demandan mucho en las propiedades de las vigas, sin embargo, las estructuras con las vigas de acero, tienen la opción de ser elementos dúctiles y el peso de la edificación es baja con respecto a la estructura con vigas de amarre de concreto armado. Las dos alternativas son totalmente ejecutables, depende del tipo de cliente y las decisiones que se quieran tomar con respecto al tiempo y parte monetaria.

Palabras clave: Estructuras mixtas, concreto armado, acero estructural, incidencia, vigas de amarre, fuerzas internas.

Abstract

The general objective of this research work is to study the incidence of tie beams in the structural behavior of mixed steel-concrete frame buildings. The structures, which were raised in the investigation, were considered reinforced concrete columns, structural steel load-bearing beams, one-way ribbed slabs and two alternatives were designed for the tie beams, both made of structural steel and another made of reinforced concrete. in buildings of 8, 10, 12 levels with the same plant and vertical geometry. The difference of the models lies in the selection of the tie beams. Then, the performance of the most unfavorable tie beams of each alternative was compared to analyze internal forces such as acting bending moments, shear forces, deflections and technical specifications. Additionally, analyze the behavior of buildings as a result of the incidence of tie beams, determining the basal cut and the fundamental period. To achieve the

stated objective, the design of the buildings was carried out using the ETABS 2016 structural calculation program. The results obtained show that structures with reinforced concrete tie beams demand more in internal forces and in structural behavior than structures with steel tie beams, since the structural weight and the dimensions of the beams demand a lot on the properties of the beams, however, structures with steel beams have the option of being ductile elements and the weight of the building is low with respect to the structure with reinforced concrete tie beams. The two alternatives are fully executable, it depends on the type of client and the decisions that you want to make with respect to time and money.

Keywords: *Mixed steel-concrete frame buildings, reinforced concrete, structural steel, incidence, tie beams, internal forces*

Introducción

En Venezuela en la última década se han presentado construcciones innovadoras de edificaciones aporticadas de los cuales todos tienen sus pros y sus contras, según la manera en que están contruidos, pudieran enfrentar un riesgo potencial en cuanto a pérdidas humanas y económicas si la estructura está mal diseñada.

El ingeniero civil se ha visto en la necesidad de innovar en alternativas para garantizar que las estructuras sean seguras y capaces de soportar la influencia de las cargas permanentes y variables, las generadas por sismos y vientos para no comprometer las edificaciones, ya que su objetivo principal es reducir el impacto estructural mediante el uso de distintos materiales estructurales y sistemas constructivos innovadores para determinar el beneficio de la elección de un elemento estructural en la edificación. Se estaría adentrando en los materiales más usados para las construcciones, como es, el acero estructural y el concreto armado en conjunto, para dar una respuesta más eficiente, de la cual se analiza, cuanto beneficiará el proyecto estructural y con qué tipo de combinación de elementos será la mejor alternativa.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, en el diseño de estructuras aporticadas, los elementos más importantes son las vigas y columnas, ya que estas son las que soportan las cargas solicitadas por la edificación y se encarga de transmitir las y disiparlas en el suelo. Por lo tanto, las vigas de amarre que destacan en las vigas de la edificación, cumplen una función realmente importante para el diseño de la edificación.

Las vigas de amarre son elementos estructurales que ejercen una labor de funcionamiento en la estructura de mantener la ortogonalidad del sistema estructural y que la losa por sí sola no puede transmitir eficientemente las acciones laterales. Por lo tanto, es de gran importancia que el diseño de estas vigas de amarre sea realizado de la manera más óptima y seguro, aumentando la vida útil de la edificación, ya que las vigas de amarre absorben la mayor carga de las acciones laterales.

El objetivo de esta investigación, es hacer el estudio de la incidencia de las vigas de amarre en el comportamiento estructural de edificaciones aporticadas mixtos acero- concreto. En los cuales se estaría alternando las vigas de amarre de concreto armado a acero estructural para dar una comparación tanto de las especificaciones de las vigas de amarre del cual beneficiaría más la estructura y determinar una comparación general de la edificación a raíz de la incidencia del tipo de material de las vigas de amarre.

Metodología

La investigación se consideró de tipo descriptiva, ya que, para lograr los objetivos planteados, es necesario indagar en las características estructurales de los elementos que las integran, el cual sirvió para obtener los resultados al momento de analizar el comportamiento de las vigas de amarre.

También, se analiza el comportamiento de las vigas de amarre en cada tipo de estructuras, que van variando con las diferentes solicitaciones conforme a las dimensiones y lineamientos establecidos por las normas respectivas, especificando la geometría en planta, la geometría vertical, las acciones por cargas gravitacionales, las acciones sísmicas y las de viento así como también las características del programa de cálculo para así obtener los efectos resultantes de cada diseño de la estructura y resaltar los resultados de las vigas de amarre que posteriormente serán compilados e interpretados

La investigación se considera de carácter no experimental, ya que no existe manipulación alguna de las variables independientes, estudiar la incidencia de las vigas de amarre en dos diferentes tipos de combinaciones en estructuras mixtas: vigas de amarre metálicas y concreto reforzado, analizándolas ante las acciones gravitacionales, sísmicas y eólicas, y para la obtención de los resultados no fue necesaria la ejecución de nuevos modelos matemáticos distintos a los ya existentes y establecidos en el área.

La investigación se definió como unidad de análisis las vigas de amarre de una estructura mixta acero-concreto, analizamos la incidencia de las vigas de amarre con el propósito de definir y comparar comportamientos de las alternativas específicos en esta investigación.

Teniendo también en cuenta que los procedimientos que se aplicaron se rigieron por criterios normativos ya existentes, por lo cual no hubo manipulación alguna. Además, se enfatiza que el estudio se ha realizado en un solo momento específico investigando las incidencias de los elementos mediante estudios descriptivos, por este motivo también se considera como transaccional descriptiva.

El trabajo de investigación se realizó una observación de tipo documental basada en los argumentos de Hernández *et al.* [1] (2006), la cual especifica la revisión bibliográfica de tesis, libros y normas venezolanas, tales como: COVENIN 1756-1:2001 [2] “Edificaciones Sismorresistentes”, COVENIN 1618-1998 [3] “Estructuras de acero para edificaciones. Método de los estados límites”, COVENIN 1753-2006[4] “Proyecto y construcción de obras de concreto estructural” y COVENIN 2002-1988 [5] “Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones”, COVENIN 2003-1989 [6] “Acciones del viento sobre edificaciones”. Y, adicionalmente, como instrumento principal de recolección de datos se utilizó el programa de cálculo ETABS 2016, el cual permitió ejecutar el análisis y diseño de las edificaciones para obtener los resultados del comportamiento general y el comportamiento de las vigas de amarre en cada una de las alternativas propuestas.

Resultados

Una vez, obtenido los resultados planteados en los objetivos de ejecución de las estructuras mixtas con la variación de las vigas de amarre entre concreto armado y acero estructural en las diferentes elevaciones 8, 10 y 12 niveles, se procede a la elaboración de gráficas y tablas las cuales permiten observar las tendencias de los comportamientos de los diferentes tipos de elementos a estudiar y los comportamientos de las estructuras a raíz de la incidencia de las vigas de amarre de acuerdo a los parámetros establecidos a evaluar.

Dimensiones de los elementos

Se presenta un resumen comparativo de las dimensiones de los distintos elementos que conforman las estructuras, estas dimensiones tanto de acero estructural como de concreto armado pasaron por una fase de pre dimensionamiento, luego estuvo en una fase de diseño en el programa ETABS 2016, el cual se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 1. Resumen de resultados de las dimensiones de los elementos – Edificación de (8) Niveles.

Elementos	Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Acero		Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Concreto Armado	
	Nivel	Dimensiones	Nivel	Dimensiones
Columnas				
Esquinera	PB - P1	35 x 35	TODOS LOS NIVELES	30 x 30
	P2 - P8	30 x 30		
Borde	PB - P1	35 x 35	TODOS LOS NIVELES	30 x 30
	P2 - P8	30 x 30		
Central	TODOS LOS NIVELES	40 x 40	TODOS LOS NIVELES	40 x 40
Vigas				
Carga	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300
Amarre	TODOS LOS NIVELES	IPE - 240	TODOS LOS NIVELES	40 x 30

Losa Nervada en una Dirección (Esp: 0,25m), F'c 250 KG/cm2

Tabla 2. Resumen de resultados de las dimensiones de los elementos – Edificación de (10) Niveles.

Elementos	Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Acero		Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Concreto Armado	
	Nivel	Dimensiones	Nivel	Dimensiones
Columnas				
Esquinera	TODOS LOS NIVELES	30 x 30	TODOS LOS NIVELES	30 x 30
Borde	TODOS LOS NIVELES	30 x 30	TODOS LOS NIVELES	30 x 30
Central	TODOS LOS NIVELES	40 x 40	TODOS LOS NIVELES	40 x 40
Vigas				
Carga	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300
Amarre	TODOS LOS NIVELES	IPE - 240	TODOS LOS NIVELES	40 x 30

Losa Nervada de una Dirección (Esp: 0,25m), F'c 250 KG/cm2

Tabla 3. Resumen de resultados de las dimensiones de los elementos – Edificación de (12) Niveles.

Elementos	Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Acero		Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Concreto Armado	
	Nivel	Dimensiones	Nivel	Dimensiones
Columnas				
Esquinera	TODOS LOS NIVELES	30 x 30	TODOS LOS NIVELES	30 x 30
Borde	TODOS LOS NIVELES	40 x 40	TODOS LOS NIVELES	40 x 40
Central	TODOS LOS NIVELES	40 x 40	TODOS LOS NIVELES	40 x 40
Vigas				
Carga	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300
Amarre	TODOS LOS NIVELES	IPE - 240	TODOS LOS NIVELES	40 x 30

Losa Nervada de una Dirección (Esp: 0,25m), F'c 250 KG/cm2

Momento Flector Actuante

El momento flector es una sollicitación típica en las vigas, ya que todos estos elementos suelen deformarse, el momento flector aparece cuando se somete estos elementos a la acción de torsión o también cargas, que en este caso de estudio son cargas distribuidas. Según el tipo de elemento, el momento flector actúa de una manera diferente con respecto al otro.

Tabla 4. Resumen de resultados Momentos Flectores Actuantes

MOMENTO FLECTOR ACTUANTE			
Tipo de Elemento	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Vigas de Amarre de Acero	3.659,52 Kg.m	4.752,13 Kg.m	4.881,7 Kg.m
Vigas de Amarre de Concreto	7.812,4 Kg.m	9.935,1 Kg.m	10.208,87 Kg.m

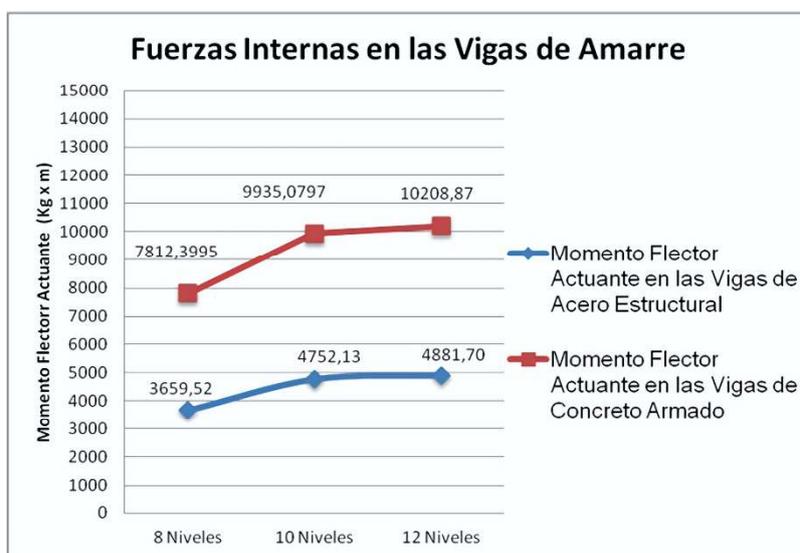


Figura 1. Momento Flector Actuante

Fuerzas Cortantes

Estas fuerzas son unos esfuerzos internos o resultantes de las tensiones paralelas a la sección transversal del elemento, estas fuerzas internas juegan un papel fundamental en las vigas, ya que éstas al sobrepasar las fuerzas admisibles, pueden romper el elemento transversalmente ocasionando daños estructurales. Las fuerzas cortantes se incrementan dependiendo de la sección del elemento y las cargas que actúan siempre y cuando, no sobrepase los parámetros estructurales.

Tabla 5. Resumen de resultados Fuerzas Cortantes Actuantes

FUERZA CORTANTE ACTUANTE			
Tipo de Elemento	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Vigas de Amarre de Acero	3.185,78 Kg	3.923,23 Kg	3.985,52 Kg
Vigas de Amarre de Concreto	5.932,4 Kg	7.108,32 Kg	7.104,92 Kg

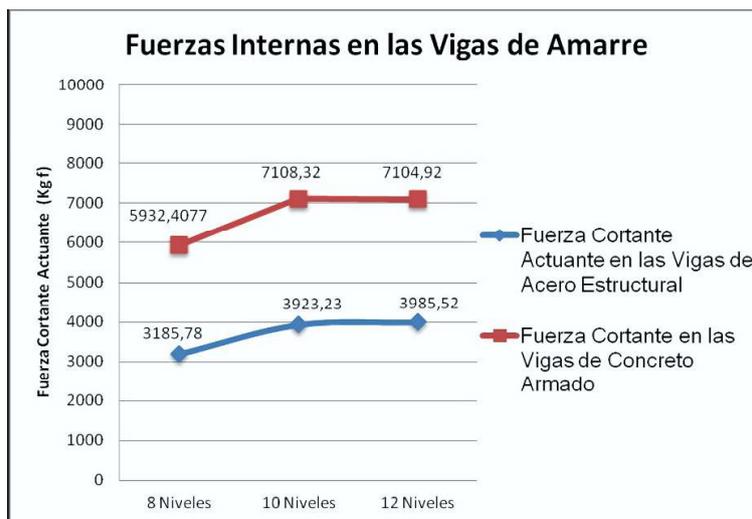


Figura 2. Fuerza Cortante Actuante

Deflexión en la Viga

La deflexión es el grado en el que un elemento estructural se desplaza bajo la aplicación de una fuerza o carga, es una respuesta que sufre el elemento por el efecto de las flexiones internas. Al saber las cargas que se utilizan, se pueden apreciar cuál fue la deformación correspondiente en los diferentes elementos que se plantean. Recordando que todo esto es producto del tipo de elemento y su comportamiento en la edificación.

Tabla 6. Resumen de resultados Deflexión Actuantes

DEFLEXION ACTUANTE DE LA VIGA			
Tipo de Elemento	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Vigas de Amarre de Acero	0,097 cm	0,067 cm	0,067 cm
Vigas de Amarre de Concreto	0,030 cm	0,032 cm	0,037 cm

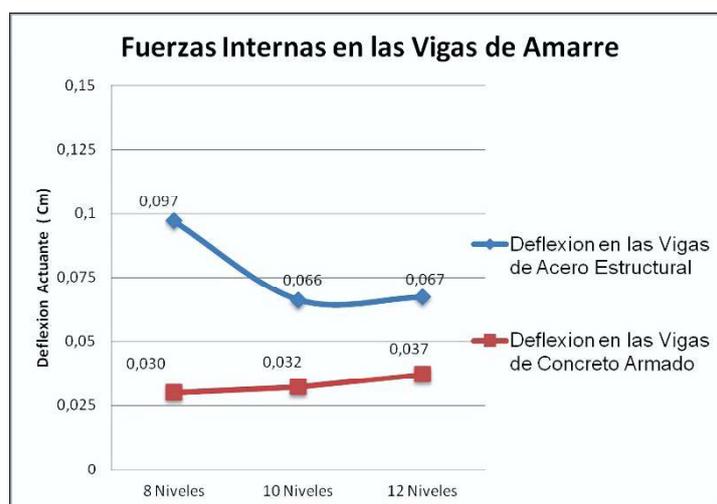


Figura 3. Deflexión Actuante

Peso de la Edificación

El peso de la edificación se refiere a la cantidad en masa de todos los elementos que lo comprenden, todos estos edificios fueron calculados en base de las normas venezolanas para tener los parámetros adecuados y poder hacer un estudio correctamente. Todo va a depender del tipo de material que lo comprende y a raíz de eso, se puede dar conclusiones de cuál sería la mejor alternativa desde el punto de vista del peso de la edificación.

Tabla 7. Resumen de resultados Peso de la Edificación

PESO TOTAL DE LA EDIFICACION			
Tipo de Estructura	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Estructura con Vigas de Amarre de Acero	621.229,47 Kg	757.216,46 Kg	948.443,57 Kg
Estructura con Vigas de Amarre de Concreto	718.437,88 Kg	881.754,61 Kg	1.095.756,14 Kg

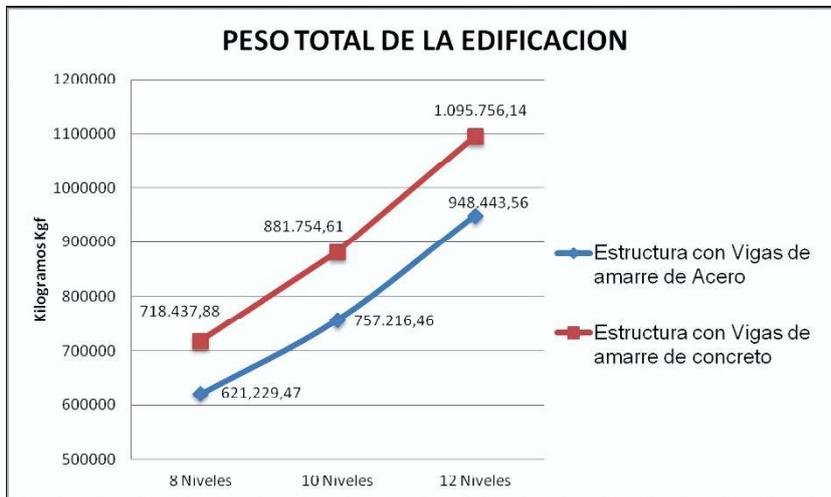


Figura 4. Peso total de la Edificación

Corte basal

Entendiéndose que el corte basal es la fuerza total de diseño por cargas laterales, Aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción sísmica y que este depende de la masa, de la aceleración de diseño, del tipo de material y de la cantidad de niveles. Este parámetro para verificar la edificación es de vital importancia en el chequeo sísmico. Al variar un elemento llámese vigas de amarre, puede cambiar las propiedades de la edificación considerablemente.

Tabla 8. Corte basal en el eje X

CORTE BASAL EN X			
TIPO DE ESTRUCTURA	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Estructura con Vigas de amarre de Acero	30.428,84 Kg	40.321,53Kg	43.774,42 Kg
Estructura con Vigas de amarre de concreto	31.571,69 Kg	42.140,84Kg	45.754,54 Kg

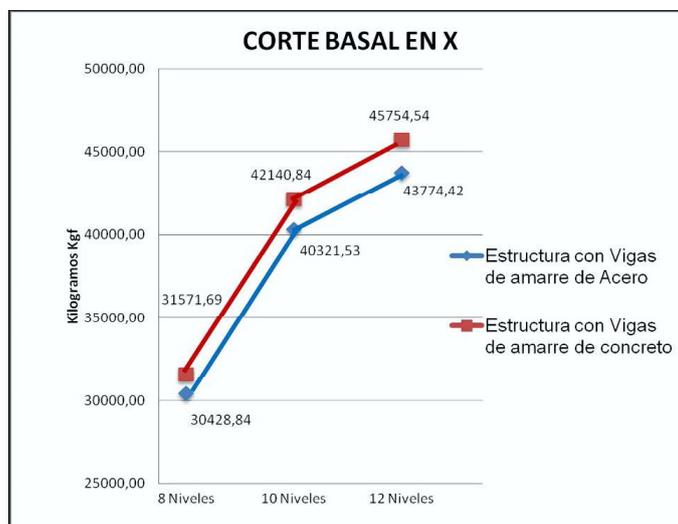


Figura 5. Corte basal en Eje X

Tabla 9. Corte basal en el eje Y

CORTE BASAL EN Y			
TIPO DE ESTRUCTURA	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Estructura con Vigas de amarre de Acero	25.273,99 Kg	33.363,21 Kg	35.418,37 Kg
Estructura con Vigas de amarre de concreto	44.959,15 Kg	58.229,34 Kg	66.613,81 Kg

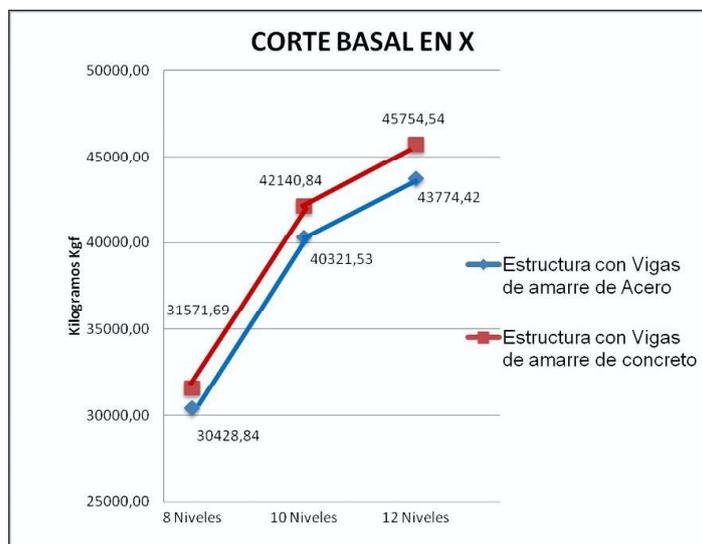


Figura 6. Corte basal en Eje Y

Periodo fundamental

El período de vibración de una estructura es el tiempo requerido para que un sistema complete un ciclo completo de movimiento, volviendo a su posición original durante un evento sísmico. Este depende de varios factores tales como la rigidez de la estructura, desplazamiento y masas. Es por ello que la incidencia de las vigas de amarre está ligada con este parámetro Sísmico. Ya que, al evaluar se puede modificar el período fundamental de la estructura considerablemente y determinar si es posible con cuál tipo de viga de amarre beneficiaría a la estructura.

Tabla 10. Periodo fundamental

PERIODO FUNDAMENTAL			
Tipo de Estructura	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Estructura con Vigas de Amarre de Acero	2,637 Seg	3,373 Seg	3,876 Seg
Estructura con Vigas de Amarre de Concreto	2,299 Seg	2,871 Seg	3,237 Seg

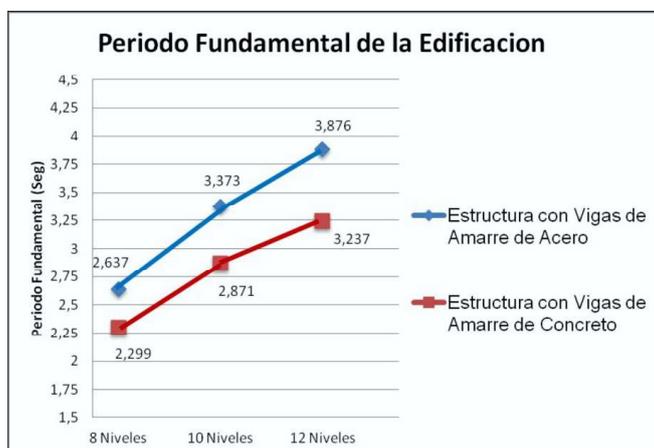


Figura 7. Periodo fundamental

Conclusiones

Una vez finalizado el análisis de los resultados se presentan las siguientes conclusiones, con el fin de dar respuesta a los objetivos planteados en la investigación. Se aclara que las vigas de amarre de la edificación son una pieza fundamental en la parte sísmica, ya que, al variar este elemento, la respuesta de la edificación va a cambiar según la incidencia del tipo de elemento que se encuentre colocado.

Se concluye que en las edificaciones mixtas acero – concreto de 8, 10, 12 Niveles con vigas de amarre de acero, el elemento más óptimo para estas estructuras son las Vigas IPE--240, con un peso propio de viga 122.8 Kg.

El Momento flector actuante mayor es de, 4881.7 Kg.m, la fuerza cortante mayor es de, 3985.52 Kgf, la deflexión mayor es de 0.097 cm. El período de vibración máximo ante eventos sísmicos en estas estructuras a raíz de la incidencia de las vigas de amarre es de 3.876 Seg, el Corte basal máximo es producido en el Eje X, donde se reflejan las vigas de carga de acero de 5m de largo con un corte en la estructura de 43.774,42 Kg y el peso de la Edificación total máxima para estas estructuras es de 948.443,57 Kg

Del segundo objetivo se concluye que en las edificaciones mixtas acero – concreto de 8, 10, 12 Niveles con vigas de amarre de concreto armado, el elemento más óptimo para estas estructuras son las Vigas de 40 x 30, con un peso propio de viga de 1200 Kg.

El Momento flector actuante mayor es de 10.208,87 Kg.m, la fuerza cortante mayor es de 7.108,32 Kgf, la deflexión mayor es de 0.037 cm El periodo de vibración máximo ante eventos sísmicos en estas estructuras a raíz de la incidencia de las vigas de amarre es de 3.237 Seg, el Corte basal máximo es producido en el Eje Y, donde se reflejan las vigas de amarre de concreto armado de 4 m de largo con un corte en la estructura de 66.613.81 Kg y el peso de la Edificación total máxima para estas estructuras es de 1.095.756,14 Kg.

Del tercer objetivo se concluye que, las vigas de amarre, según sus propiedades y las dimensiones definitivas, pueden variar dependiendo del tipo de proyecto que el cliente quiera ejecutar

Con respecto al momento flector actuante, las vigas de concreto armado son 47% más exigentes con respecto a los valores obtenidos a las vigas de acero, debido a que al tener unas dimensiones mayores a las de acero, exigen más. Por ende, se incrementa el momento actuante, las cargas son las mismas tanto en las vigas de concreto como de acero, pero las dos tienen maneras diferentes de recibirlas, y se producen flexiones diferentes.

En el caso de las fuerzas cortantes, las vigas de amarre de concreto son 55% más resistentes a esfuerzos cortantes que las vigas de acero, debido a la sección transversal del mismo. Las vigas de concreto armado van a exigir más debido a sus propiedades de rigidez y a su gran volumen con respecto a las vigas de amarre de acero. Las vigas de amarre de acero tienen unas dimensiones más ideales y por ende menor es la fuerza que actúan en ella.

En cuanto a la deflexión de la viga, se indica que las vigas de acero se deforman en un 40% más que las de concreto. Porque, las de concreto armado tienen las características de ser unos elementos más rígidos y por eso mayor peso propio. Las de acero al tener menor peso propio, las vigas tienden a deformarse un poco más; además, las vigas de acero tienden a ser elementos dúctiles, que tienen la capacidad de poder deformarse bajo el efecto de la carga sin romperse, pero siempre está limitado por una deflexión máxima por factor de seguridad.

Con respecto al peso de la edificación, la edificación con las vigas de amarre de concreto armado es 14% más pesada con respecto a la estructura con vigas de amarre de acero.

En relación con los resultados obtenidos del corte basal en las direcciones X y Y, los datos correspondientes a la estructura que emplea vigas de amarre de acero disminuyó notablemente con respecto a la estructura con vigas de amarre de concreto, debido a que el cortante basal es directamente proporcional al peso sísmico de

la edificación. En el cual las vigas de concreto es un elemento mayor, donde contiene mayores inercias. Por consiguiente, el comportamiento estructural con vigas de amarre de concreto es mejor.

En cuanto al periodo fundamental, las edificaciones con las vigas de amarre de acero suelen ser más flexibles que las construidas con vigas de amarre de concreto, por lo cual tienden a tener mayores periodos de vibración. En este caso, la estructura con vigas de amarre de concreto indica que es una estructura rígida, por lo que el espectro elástico de respuesta es muy parecido a la vibración, por ende, no se independiza del suelo y es más seguro estructuralmente.

Referencias bibliográficas

[1] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. Metodología de la investigación. 4ª ed. México: McGraw-Hill, (2006).

[2] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1756-1-2001: Edificaciones Sismorresistentes. Parte 1. Articulado (1ª.Revisión). Comité técnico de normalización CT-03: Construcción. Subcomité Técnico SC10 Estructura. En su reunión Nª 7-01 de fecha 25-07-2001. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2001).

[3] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1618-1998: Estructuras de acero para edificaciones. Método de los Estados límites (1ª.Revisión). En su reunión Nª 11-98 de fecha 09-12-1998. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1998).

[4] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1753-2006: Proyecto y construcción de obras en concreto estructural. (1ª.Revisión). Comité técnico de normalización CT-03: Obras Civiles. Subcomité Técnico SC1. Edificaciones. En su reunión Nª 2006-04 de fecha 30-08-2006. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2006).

[5] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 2002-88: Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones. En su reunión N° 5 de fecha 05-10-1988. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1988).

[6] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 2003-1989: Acciones del viento sobre las construcciones. Sector Construcción. En su reunión N° 5-89 de fecha 04-10-1989. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1989).

Sistema de gestión para el control de calidad en la construcción de viviendas unifamiliares de interés social en la ciudad de Maracaibo

Management system for quality control in the construction of single-family houses of social interest in the city of Maracaibo

María Amanda García Román

Especialización de Obras Civiles. Mención Edificaciones, Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Maracaibo, Venezuela.

Email: mariaamandag4@gmail.com

Ernesto Velásquez

Especialización de Obras Civiles. Mención Edificaciones, Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Maracaibo, Venezuela.

Email: evelasquez@zic.com.ve

Recibido: 21-06-2021

Aceptado: 20-09-2021

Resumen

El propósito de esta investigación, fue crear un sistema de gestión para el control de calidad en la construcción de viviendas unifamiliares de interés social, que satisfaga las necesidades de sus usuarios, y proporcione a los profesionales de la ingeniería civil, y empresas constructoras, una guía para el aseguramiento de la calidad, a través de un mejoramiento continuo de los procesos técnicos constructivos de dichas viviendas. El estudio está basado en una investigación de tipo proyectiva, con un diseño de campo, no experimental, transeccional, descriptivo, usando técnicas de recolección de datos documental, normativa vigente, planillas de campo, y un cuestionario multivariable de 94 ítems aplicado a profesionales involucrados en la construcción. Los resultados permitieron obtener un documento notorio donde se presentan controles en los procesos constructivos con supervisión, de los cuales depende la calidad, durabilidad y seguridad de las viviendas, acercándolas a estándares de certificación cada vez mejores que la normativa actual.

Palabras clave: Sistema de gestión, control de calidad, supervisión, vivienda.

Abstract

The purpose of this research was to create a management system for quality control in the construction of single-family homes of social interest, which meets the needs of its users, and provides civil engineering professionals and construction companies with a guide for quality assurance, through continuous improvement of the technical construction processes of said homes. The study is based on projective type research, with a non-experimental, cross-sectional, descriptive field design, using documentary data collection techniques, current regulations, field forms, and a 94-item multivariate questionnaire applied to professionals involved in the construction. The results allowed to obtain a notorious document where controls are presented in the construction processes with supervision, on which the quality, durability and safety of the houses depend, bringing them closer to certification standards that are increasingly better than the current regulations.

Key words: Management system, quality control, supervision, housing.

Introducción

Actualmente, las condiciones económicas y el déficit habitacional existente en América Latina, requiere de proyectos de vivienda de interés social, ya que, gran parte de la población que necesita una vivienda, vive o habita en barrios marginales, carentes de condiciones sanitarias, de infraestructura y equipamiento aceptables.

A su vez, “la ausencia de programas de vivienda social representa un significativo componente de la situación de informalidad de las ciudades, junto con la falta de regulaciones del suelo para evitar la especulación, la segregación y la degradación ambiental”. [1].

En Venezuela, se evidencia grandes problemas de construcción, servicios públicos, electricidad, educación, pobreza, que generan deterioro de competitividad, y calidad de vida. [2]. Por tal motivo, muchas empresas de construcción se han abocado a la utilización de sistemas industrializados, como es el caso del sistema de formaleas o encofrados metálicos (tipo Forsa), altamente versátiles y adaptables, que les permite la construcción en serie de viviendas, minimizando tiempo y costos de obra, gracias a la asesoría y respaldo técnico de su personal, así como la constante innovación y calidad de sus equipos.

Sin embargo, en estos procesos de construcción en serie, se cometen errores o fallas desde el diseño hasta la totalidad de la construcción de la vivienda. Por consiguiente, la calidad de una vivienda debe sustentarse de proceso en proceso, y no solamente en sus acabados; es imposible alcanzar y valorar la calidad en la construcción de una vivienda unifamiliar de interés social si únicamente se toman en cuenta productos parciales de construcción o solamente el producto final de sus acabados.

Por otro lado, no existe en los reglamentos y legislaciones un lineamiento específico que permita definir el nivel de calidad a recibir por parte del beneficiario en el producto final de su vivienda, lo cual le costará pagar el resto de su vida, y formará parte de su patrimonio familiar.

Es por ello, que amerita un sistema de gestión que controle cada una de las etapas que conforman la construcción de dichas viviendas, logrando así un mejoramiento progresivo de su calidad, respetando el medio ambiente; así como también, considerando la calidad no como un gasto adicional, sino como parte del mismo proceso constructivo de la vivienda.

Por lo antes mencionado, se propuso en esta investigación, un sistema de gestión para el control de calidad en la construcción de viviendas unifamiliares de interés social, donde se encuentren involucradas las tareas de planificación, control, coordinación, supervisión, y seguimiento. Usando como soporte los aspectos jurídicos y legales vigentes, ya que estos recursos describen el proceso de todas las actividades a ejecutar en una obra de este tipo, así como la toma de decisiones para el mejoramiento continuo de su construcción. Así pues, su implementación ayudará en gran medida a evitar los defectos existentes al construir este tipo de vivienda y la necesidad de aplicación de los correctivos para un mejoramiento progresivo de su calidad.

El sistema contempla las distintas etapas necesarias para llevar a cabo el proceso constructivo de estas viviendas; es decir, desde la planificación, pues se define las responsabilidades de cada actividad. Además, contiene la elaboración de un plan de control en infraestructura, superestructura y acabados, a través de una gerencia de supervisión cuya finalidad es hacer cumplir este plan de control, hasta la medición sistemática por medio de planillas de control de la calidad del producto final, tomando en cuenta las medidas de seguridad para llevar a cabo este sistema de gestión en el campo de trabajo.

Metodología

Esta investigación es del tipo proyectiva [3], ya que estuvo orientada a la elaboración y desarrollo de una propuesta para solucionar problemas existentes en los procesos constructivos de las viviendas de interés social en la ciudad de Maracaibo. También es de nivel descriptivo [4], porque realizó una descripción de todos los procesos constructivos de la vivienda y sus características con la finalidad de tener información sobre los problemas de calidad que presenta la misma en sus diferentes etapas.

Asimismo, esta investigación permitió seleccionar un diseño de campo no experimental [5] puesto que, es un estudio que permite observar situaciones ya existentes, y no provocadas intencionalmente. De igual manera, es transaccional univariable [5], ya que se ejecutó en un tiempo y momento único, además de contar con el propósito de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

Como técnica de recolección de datos se utilizó la observación directa [6] porque las variables a tomar en cuenta están basadas en procesos de construcción de las viviendas cuyos datos de interés o relevancia se

recolectan en forma directa en la realidad, es decir, en el lugar del objeto de estudio, sin ser manipulados. También se procedió la revisión documental de las normas de construcción de obras civiles, así como la aplicación de una encuesta tipo cuestionario [7], multivariable, uni-escogencia, de 94 ítems, dirigido a profesionales que desempeñan cargos de inspección y residencia en la construcción de este tipo de viviendas.

Para alcanzar el logro del objetivo principal de la investigación, el cual consiste en diseñar un sistema de gestión para el control de calidad en la construcción de viviendas unifamiliares de interés social en la ciudad de Maracaibo, se realizó una recopilación bibliográfica, de las normas Covenin 2000-92 Edificaciones, sector Construcción, Covenin 1430-90, sistemas de calidad en empresas, norma COVENIN 2237-89, Ropa, equipos y dispositivos de protección personal, entre otras; así como las normas ISO 9001,2000 Sistemas de gestión de la calidad-requisitos, con el fin de definir las especificaciones técnicas para este tipo de viviendas.

Posteriormente, se definió la muestra y la población, y se delimitó la unidad de análisis, para así aplicarle la encuesta tipo cuestionario de 94 ítems, el cual permitió llegar a obtener una información estandarizada de las características de los procesos constructivos, a través de las personas expertas en la materia de construcción de viviendas de interés social.

Por último, para el desarrollo del diseño de esta guía, se procedió a describir cada uno de los controles necesarios que se deben realizar durante el proceso de construcción de una vivienda de interés social. Para lograr su calidad se consideró las especificaciones técnicas recomendadas por la normativa vigente con la finalidad de permitir a las empresas constructoras impulsar la supervisión en la normalización y ejecución de estos procesos, ejecutando una revisión constante de cada uno de ellos en el proceso constructivo de este tipo de viviendas.

Propuesta

Sistema de gestión para el control de calidad en la construcción de viviendas unifamiliares de interés social en la ciudad de Maracaibo.

Esta propuesta busca concientizar y humanizar la construcción de viviendas unifamiliares de interés social, mostrando una metodología para un mejoramiento continuo de la calidad en el proceso de su construcción, obteniendo así, una vivienda segura, durable, confortable y exequible económicamente, a través de materiales de bajo costo, con buenas instalaciones y acabados.

Misión.

Fomentar una cultura de calidad que ayudará a cualquier empresa constructora a enfrentar en el mercado de la construcción los cambios y divergencias que se presenten, mediante una mejora continua de su personal y de los procesos ejecutados durante la construcción de este tipo de vivienda.

Visión.

Mejorar la calidad de la construcción de la vivienda unifamiliar de interés social a través de la correcta aplicación de la normativa vigente y especificaciones técnicas. Impulsar los procesos de supervisión de calidad y seguimiento de controles en el proceso constructivo de dichas viviendas, obteniendo un producto de interés en el mercado.

Objetivos del Sistema de Gestión.

- Definir lineamientos que determinen la manera correcta en la que se debe desarrollar la construcción de una vivienda unifamiliar de interés social.
- Gestionar cada uno de los procesos de la construcción de una vivienda de interés social, con la finalidad de obtener un mejor control del resultado a través de registros de calidad, logrando un mejoramiento continuo de los mismos.

- Establecer medidas de seguridad industrial que deben regirse dentro de la construcción evitando posibles accidentes en el trabajo.
- Establecer lineamientos necesarios para una gerencia de control de la calidad en la construcción de la vivienda unifamiliar de interés social.
- Capacitar al elemento humano para que desarrolle sus habilidades en las diferentes áreas del proceso constructivo de este tipo de viviendas, promoviendo un trabajo en equipo.

Introducción del Sistema de Gestión.

El conjunto de consideraciones y lineamientos técnicos a considerar en el control de la calidad del proceso constructivo de una vivienda de interés social y su implementación eficaz está dividido en cuatro partes importantes a tomar en cuenta como se muestra en la Figura 1, las cuales son:

- Planificar.
- Controlar.
- Mejorar.
- Asegurar.

Así pues, la construcción de cualquier obra civil debe presentar estas etapas para garantizar su calidad, seguridad y durabilidad en el tiempo. Por lo tanto, es importante tener a la mano una guía que muestre una metodología a emplear para la aplicación, de controles de calidad en los procesos constructivos de estas viviendas, que sirvan de apoyo y orientación para los profesionales del área y empresas constructoras, permitiendo identificar fortalezas y debilidades durante su construcción, con el propósito de reducir costos y tomar a tiempo medidas preventivas y correctivas cuando lo planificado presente desviaciones.



Figura 1. Etapas del sistema de gestión.

Etapas del Sistema de Gestión.

Planificar: En esta etapa se debe definir las responsabilidades para cada actividad a ejecutar en obra, verificando los perfiles de los profesionales involucrados en ella para su posible capacitación, así como los tiempos y recursos disponibles.

Por otro lado, hay que tomar en cuenta ciertos lineamientos para la evaluación y verificación del control de calidad de una vivienda unifamiliar de interés social, entre ellos están los ambientales y urbanísticos que consideran existencia de dotaciones e instalaciones de servicios, el ambiente, la iluminación y temperatura a través de una buena ubicación y disposición del sitio de la vivienda.

Adicional a esto, se debe garantizar la adecuada cantidad, calidad, cobertura y atención de las diferentes entidades prestadoras de servicios, como hospitales, instituciones educacionales, comercio, áreas deportivas y recreacionales alrededor de la vivienda, respetar las dimensiones mínimas que reclame la composición familiar a la cual dará servicio, garantizando áreas de movilidad, descanso y servicios básicos agradables y justas para la familia. Por último, la protección del medio externo a los habitantes de las mismas es decir su calidad térmica, el cual es un requisito indispensable para la aprobación de su construcción por parte de los entes municipales y gubernamentales.

Controlar: Definir un plan de control como criterios de aceptación y rechazo de materiales y equipos a utilizar, evaluación de proveedores, así como la utilización de planillas de registros de resultados de los ensayos realizados. Es por ello que el plan de control tendrá como objetivo la reducción de pérdidas tales como (tiempo, procesos innecesarios, excesivos, y recursos) a fin de cumplir con los requisitos estipulados por la empresa para asegurar la calidad de la obra a ejecutar.

Para verificar el cumplimiento de este plan se necesita una gerencia de supervisión, la cual tiene tres objetivos básicos a cumplir, vigilar el costo, vigilar el tiempo y vigilar la calidad, de acuerdo con esto, el esquema de inspección adolece de gran limitación ya que los defectos son detectados en un momento y su solución puede significar altos costos e inconvenientes. [8]

Según las normas Covenin, el sistema de gestión también debe hacer hincapié en la prevención de los efectos de los riesgos laborales antes de que estos surjan, a) identificando los riesgos desde la fase del proyecto, b) evaluar los riesgos de laborales de las actividades, productos y servicios existentes, c) investigar, analizar y registrar las consecuencias de incidentes, accidentes posibles y soluciones de emergencias, d) planificación de la vigilancia y control de la salud de los trabajadores. [9]

Para llevar a cabo este plan de control en cada uno de los procesos de construcción se debe tomar en cuenta controles en las diferentes etapas de dicho proceso, los cuales se muestran a continuación:

- Control de calidad en infraestructura:

En esta etapa en la cual se construye los cimientos de la vivienda se deben tomar en cuenta los siguientes controles: seleccionar materiales de calidad a utilizar, verificar la estabilidad de las excavaciones en zanjas al momento de la colocación de la tuberías de acueducto, cloacas y drenajes, a su vez, revisar las condiciones del suelo identificando las zonas de material inapropiado, a través de ensayos en laboratorios reconocidos, los encofrados deben estar en buen estado, y limpios según las Normas Covenin. [10]

El acero de refuerzo y el de amarre de los estribos deben colocarse según planos estructurales y especificaciones técnicas del proyecto, con la finalidad de prevenir desplazamientos y deformaciones durante el vaciado del concreto sobre el elemento estructural. El proceso de fraguado y curado del concreto, se deberá realizar según las especificaciones técnicas mencionadas en las normas Covenin. [11]

Realizar pruebas de estanqueidad e hidráulica a las tuberías de instalaciones sanitarias antes de su colocación verificando que se encuentren en perfectas condiciones, evitando materiales dentro de ellas. [12]

Constatar la temperatura de la mezcla de concreto sea la adecuada al llegar a la obra y revisar que la mezcla de concreto sea la adecuada y que su diseño garantice la resistencia requerida, a través de las pruebas de resistencia y asentamiento, de acuerdo a las Normas Covenin 633:2003.

A continuación, se presentan imágenes de viviendas en las cuales se obtuvieron fallas por no tomar en cuenta los controles anteriores. En la Figura 2, se mostró una vivienda en la cual no se verificó la resistencia del concreto, ocasionando su colapso.



Figura 2. Contaminación en la mezcla del concreto.

En la Figura 3, se observó una vivienda a punto de derrumbarse ya que el suelo en donde está apoyada se encuentra saturado por las lluvias y por la mala disposición de las tuberías de aguas blancas y negras de la vivienda. No se realizó un estudio de suelo previo a la construcción de la misma.



Figura 3. Suelo saturado por lluvias.

Control de calidad en Superestructura: La superestructura comprende las paredes, vigas de carga, columnas, losa de techo en las viviendas. En esta etapa se debe revisar que la colocación del acero de refuerzo, malla, tuberías de electricidad, de aguas blancas y negras sea la correcta antes del vaciado de cualquier elemento estructural como paredes, muros, vigas y columnas.

Una vez realizado se deben revisar que los encofrados sean metálicos o de madera, sean resistentes para soportar el peso propio del concreto y no presenten grietas u orificios por los cuales se permita el escurrimiento del mismo, así como la verticalidad del encofrado para evitar desplazamientos o flexiones, los cuales deberán estar alineados y nivelados según los planos.

Por otro lado, la mezcla de concreto para los muros o paredes, vigas, columnas y losa de techo de la vivienda, no deberá tener contaminantes en su composición ya que pueden ocasionar falta de resistencia del concreto.

A continuación, se presentan unas figuras de fallas en la superestructura de una vivienda por no tomar en cuenta lo antes mencionado.



Figura 4. Falla en columnas.



Figura 5. Impermeabilización inadecuada.

Control de calidad en Albañilería y Acabados: Este control contempla tanto la parte de los revestimientos en paredes y pisos, encamisado, pintura, colocación de piezas sanitarias, equipamiento eléctrico (breakers, tomacorrientes, tableros, cajas de conexión y de paso) así como la grifería, centros de piso, tapones de registro entre otros. Incluye también la colocación de puertas, y ventanas.

A continuación, se muestra una vivienda con acabados que no cumplieron los respectivos controles, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Falla en revestimientos de cerámica en pisos.

Mejorar: Realizar una medición sistemática del avance de la obra a través de planillas de registro para asegurar el mejoramiento continuo de cada etapa y aplicar los correctivos necesarios cuando se amerite y permita obtener información primaria sobre lo observado y plantear las pautas de un sistema de gestión de calidad, comparando y verificando con la normativa vigente nacional.

Asegurar. Realizar auditorías de calidad en cada una de las etapas del proceso constructivo de las viviendas, con el fin de obtener un producto de calidad.

Conclusiones

Podemos decir que la no-calidad en la construcción de una vivienda de interés social, engendra fallas y patologías, pudiendo ser mucho más comprometedoras proporcionalmente cuando se tiene un gran número de ellas.

Sin embargo, muchos de los errores o fallas ocurridas en la etapa final de la construcción de las viviendas pueden evitarse desde el inicio de la obra, llevando a cabo un sistema organizado de verificación, control y corrección de los procesos que se ejecutan a través de un sistema de gestión de control de calidad, el cual puede evitar el retrabajo, el alza de costos y en el peor de los casos la pérdida total de los materiales empleados en la construcción, den los cuales depende la calidad, durabilidad y seguridad de la vivienda.

Por lo tanto, uno de los principales beneficios que se obtendrán por su implementación es la calidad y en el mantenimiento de la vivienda en el tiempo. Dado que, proporciona la información necesaria para el usuario, indicando, por ejemplo, la identificación de síntomas de defectos, y sus causas, ocasionando una pronta solución a los problemas que se le presenten en el futuro.

Por otro lado, poner en práctica esta propuesta, logrará un mejoramiento progresivo de la calidad de las viviendas de interés social en la ciudad de Maracaibo, así como la capacitación del personal que trabaja en dichas obras, el cual contará con mejores competencias para los futuros proyectos de este tipo, en el sector construcción.

Referencias bibliográficas

- [1] Rondón de Delgado, L., Marco regulatorio del mercado de suelo y de la vivienda en Venezuela. Rev. Economía, Vol. 43, No. 46, (2018), 165-208.
- [2] Pietrosemoli, L., Rodríguez, C., Nuñez Y., What do we know about sustainable construction? The importance to learn from global knowledge. The Venezuelan case. Madrid, España, (2021).
- [3] Hurtado, J. Metodología de la investigación Holística. 4ta edición. Baruta, Miranda, (2006).
- [4] Nicodeme, E. Tipos de investigación. (2018). Extraído de: <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>
- [5] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. Metodología de la investigación. 7ma edición. México. McGrawHill, (2014).
- [6] Arias, F. El proyecto de investigación. Introducción a la metodología 6ta edición. Caracas. República Bolivariana de Venezuela. Episteme, (2012).
- [7] Meneses, J. El cuestionario. Universitat Oberta de Catalunya, España, (2016)
<https://femrecerca.cat/meneses/publication/cuestionario>
- [8] Solís, R. La supervisión de obra. Revista Académica Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Vol. 8, No.1, (2004), 55-60. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46780106>
- [9] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 4004:2000. Sistema de gestión de seguridad e higiene ocupacional (SGSHO) guía de implementación. Comité técnico de normalización CT-06: Higiene, Seguridad y Protección. Sub-comité Técnico SC3 En su reunión N° 2000-05 de fecha 31-05-2000. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2000). <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/4004-00.pdf>
- [10] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 2244:1991. Encofrados. Requisitos de Seguridad. Aprobada en reunión N° 4-91 (107) de fecha 5-06-1991. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1991). <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2244-91.pdf>
- [11] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 338:2002. Concreto, método para la elaboración, curado y ensayo comprensión de cilindros de concreto. 2ª Revisión (2002). Comité Técnico de normalización CT27 Concreto. Aprobado en reunión de Consejo Superior N° 2002-10 de fecha 30-10-2002. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2002).
- [12] Ocampo, A. Tuberías plásticas ¿Cómo garantizar la calidad de los materiales y la de su instalación? (2018). <https://fierros.com.co/blog/tubosa/tuberia-plasticas-garantizar-la-calidad-los-materiales-la-instalacion/>

Manual para la fabricación de adoquines de concreto convencionales y con aditivos para garantizar las propiedades mecánicas de los elementos en la Región

Handbook for the elaboration of conventional concrete pavers and with additives in order to guarantee the mechanical properties in the Region

Carlos Luis Espinoza Suárez

Especialización de Obras Civiles. Mención Edificaciones, Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Maracaibo, Venezuela.

Email: c.L.espinoza.suarez@gmail.com

Nancy Urdaneta

Especialización de Obras Civiles. Mención Edificaciones, Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Maracaibo, Venezuela.

Email: nurdaneta19@gmail.com

Recibido: 21-06-2021

Aceptado: 20-09-2021

Resumen

La presente investigación busca definir los procesos para la fabricación de adoquines de concreto convencionales y con aditivos para mejora de la calidad de los adoquines para las empresas de la región. El estudio es ejecutado en el marco de la metodología de investigación de tipo descriptiva-proyectiva, bajo un diseño documental, no experimental y transeccional de carácter cualitativo. Los resultados permitieron obtener un documento tangible donde se establecen normativas internacionales y manuales para la elaboración de los elementos, considerando además procesos con actividades de acuerdo a diagramas PEPSU y diagramas de flujo que garanticen la continuidad, así como las estimaciones de cantidades y monitoreos para cumplir lo establecido con las normas, con el propósito de garantizar las propiedades mecánicas de estos elementos prefabricados.

Palabras clave: Manual, adoquín, concreto, fabricación.

Abstract

The present investigation seeks to define the processes for the elaboration of conventional concrete pavers and with additives to improve the quality of pavers for companies in the region. The study is carried out within the framework of the descriptive-projective research methodology, under a documentary, non-experimental and transactional design of a qualitative nature. The results allowed to obtain a tangible document where international regulations and manuals are established for the elaboration of the elements, also considering processes with activities according to PEPSU diagrams and flow diagrams that guarantee continuity, as well as estimates of quantities and monitoring to comply with the norms, with the purpose of guaranteeing the mechanical properties of these prefabricated elements

Key words: Handbook, Paver, Concrete, Elaboration.

Introducción

El sector de la construcción requiere cumplir con ciertos requerimientos técnicos con el fin de garantizar un control de calidad que genere un grado de satisfacción y cumpla con las características del material de acuerdo a las exigencias de los proyectos. La mayoría de los países buscan, dentro de dicho sector, mejorar su

calidad, productividad e innovación, generando ventajas en los productos que se ofrecen y así garantizar una competitividad en el entorno socioeconómico [1].

En Venezuela, el uso de adoquines se ha retomado en los últimos 4 años, debido a su alto atractivo decorativo en parques, así como también por las ventajas hidráulicas que ofrecen a la vegetación existente en sus alrededores, dando un aspecto minimalista a los acabados. Sin embargo, en el país no existe una norma aprobada que incluya las especificaciones técnicas que se recomiendan para la elaboración de adoquines. SENCAMER no tiene en su repositorio una norma finalizada y aprobada por FONDO NORMA, así como tampoco, los ensayos necesarios para la verificación de las propiedades mecánicas.

Es por ello que se elaboró un manual que explica detalladamente y de manera organizada, el procedimiento para llevar a cabo la elaboración, de adoquines de concreto tradicional y con aditivos, con el fin de que sea utilizado como herramienta y guía, por ingenieros civiles, arquitectos y afines, especialmente en la región. El manual contempla las distintas etapas necesarias para llevar a cabo el proceso constructivo, desde la descripción de los elementos que componen cada parte, la materia prima para la elaboración, la mano de obra incluyendo a los supervisores, los ensayos respectivos que se deben realizar por lotes, y los tipos de almacenamientos que se deben tomar en cuenta.

Se describen las técnicas de control de calidad durante los procesos de fabricación, así como tiempos y dosificaciones estimadas, así como también, se presentan normas y referentes de otros países que fueron consultados para la elaboración del manual que se presenta.

Metodología

La documentación se basa en definir cuales procesos se realizarán para la fabricación de los adoquines de concreto, describiendo cada uno de ellos según las especificaciones técnicas recomendadas, y a su vez busca diseñar un instructivo que permita la continuidad de la elaboración de los elementos, con el fin de garantizar las propiedades características de los mismos, de acuerdo a esto los autores catalogan la investigación del tipo y nivel de la investigación como descriptiva [2] y proyectiva [3].

Así mismo, esta investigación se enmarca en un diseño no experimental [3] puesto que la variable no es manipulada arbitrariamente durante la investigación, de igual manera es transeccional univariable [3] ya que se realizó en un tiempo y momento único, donde se obtienen datos en una sola oportunidad sin hacer repeticiones y comparar datos.

En el presente estudio, se utilizó como técnica de recolección de datos la observación de tipo documental simple o no participante [4], ya que no se intervino en el medio donde se realiza el estudio. Por lo que este tipo de observación está basado en la obtención de información.

Para alcanzar el logro del objetivo principal de la investigación, el cual consiste en diseñar un manual que describa los procedimientos de fabricación de adoquines de concreto, se realizaron distintas fases, entre estas están, la exploración, la documentación y el desarrollo. La exploración consistió en buscar una empresa de bloques dentro de la región, que tuviera la necesidad de un instructivo para la definición de los procesos para poder elaborar los elementos que en ella se fabrican.

Una vez, definida la muestra en la población, se delimitó la unidad de análisis, de todos los tipos de elementos que se fabrican en la empresa, se decidió elaborar un manual a la fabricación de adoquines de concreto, ya que de estos no se tiene en el país una norma aprobada, de la cual se pueden regir para controlar las características a la cual se deben amoldar para garantizar la vida útil del uso que se dé a estos elementos.

Posteriormente, se procede a la fase de documentación, la cual consistió en definir las normas de lengua española que han sido aprobada a nivel internacional, tales como la NTC [5], NTG [6], UNE-EN1-338 [7], normas que no solo dan recomendaciones sobre la fabricación de los adoquines, sino que también abordan las propiedades mecánicas que deben tener estos elementos para garantizar la vida útil a la cual son diseñados. De igual forma se consultaron normas aprobadas por los países donde se elaboraron, para la fabricación de adoquines de concreto.

Para el desarrollo del diseño del instructivo, se procedió a describir cada una de las especificaciones técnicas que se deben considerar para la elaboración de los adoquines, con base a investigaciones que presentan autores como Restrepo [8], Martín [9] y Arévalo [10], normativas anteriormente descritas, se establece y soporta la importancia de cada una de los procesos que se ejecutan durante la fabricación. Desde la dosificación de los complementos que abordan un adoquín, hasta el almacenamiento en el patio de la empresa, así como también se describe el personal y rendimiento de los elementos por cantidades de materia prima suministrada. Para esta última fase, se diseña un manual ilustrativo con las especificaciones detalladas y enumeradas mediante un flujograma que se establece en el desarrollo de esta investigación.

Propuesta

Manual para la fabricación de adoquines de concreto convencionales y con aditivos

El presente manual dispone de una recopilación de normas y propuestas con base a investigaciones, manuales internacionales, que asocian el trabajo de fabricación de un adoquín de concreto, con base a las siguientes fases:

- Alcance y objetivos
- Normativas
- Procesos

Para detallar mejor este contenido, se presentan las siguientes figuras, que involucran la elaboración de la Portada y Contra-Portada (Figura 1), una introducción, así como también el contenido del manual (Figura 2), especificando a que se refiere cada uno de los sub puntos involucrados.

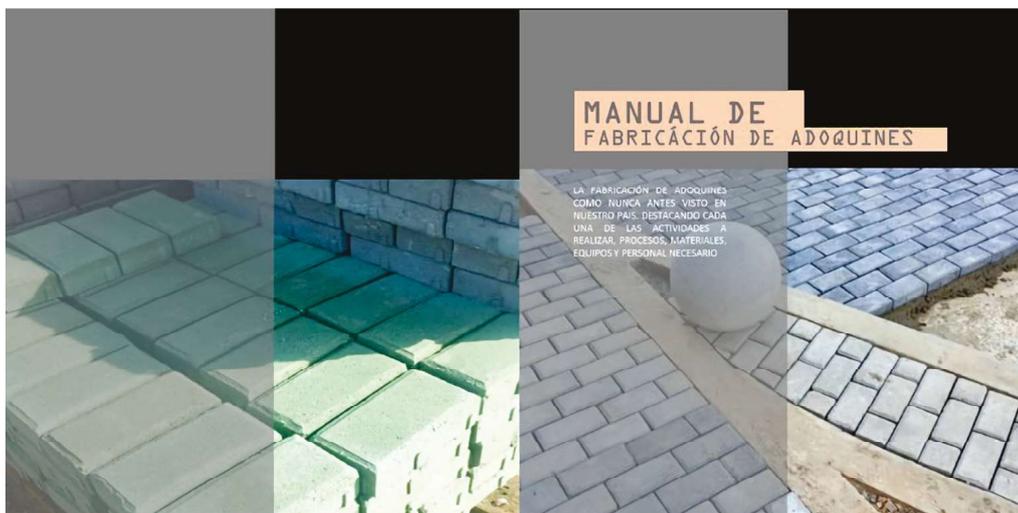




Figura 2. Introducción y Contenido del manual.

Alcance

Las recomendaciones y especificaciones dadas en este manual están referidas a los procesos y actividades necesarias acuerdo con los requisitos de las normas internacionales y manuales. El manual presenta flujogramas de procesos de materiales, tiempos y equipos, a su vez presenta un resumen de los procesos detallando cada actividad.

Se incluye en el manual los procesos para la elaboración de adoquines convencionales y con aditivos, rectangulares, no incluye en el manual la descripción para adoquines de otras formas geométricas y espesores variables. El manual está dirigido a ingenieros civiles, arquitectos, técnicos, constructores, maestros de obras, inspectores, profesores y estudiantes del nivel universitario y ha sido elaborado con apoyo de la Facultad de Ingeniería, Dirección de Postgrado, Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo-Venezuela

Objetivo

Definir todas las actividades necesarias para la elaboración de los adoquines de concreto convencionales y con aditivos.

Estos parámetros se presentan en la Figura 3, que describe lo antes expuesto de manera que se aprecie en el manual del contenido.



Figura 3. Alcance y objetivos del manual.

Normativas

Dado que la República Bolivariana de Venezuela, no cuenta con una norma aprobada para la elaboración de adoquines, así como tampoco dispone de un documento que defina algunos indicadores que deban cumplirse al momento de evaluar la calidad de los elementos (los adoquines) mediante ensayos. Aspectos desde el punto de vista técnico, que involucre el análisis de propiedades físicas y químicas que deben cumplirse para la correcta fabricación de adoquines se buscan dentro de las normas que se consultaron en cuanto a la documentación necesaria de la presente investigación, entre las cuales se encuentran las que se describen a continuación:

NTC 2017 Adoquines de concreto para pavimento, Norma Técnica Colombiana: Esta norma establece los requisitos para adoquines de concreto y sus piezas complementarias, aptos para construir pavimentos de adoquines para: Tráfico peatonal, tráfico vehicular sobre llanta neumática y cargas estáticas distribuidas (almacenamiento).

UNE-EN 1338 Adoquines de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo: La norma europea especifica los materiales, propiedades, requisitos y métodos de ensayo de los adoquines prefabricados de hormigón no armados y accesorios complementarios, previstos para el uso peatonal, uso en áreas sometidas a tráfico de vehículos y cubiertas.

NTG 41086 Adoquines de concreto para pavimentos. Especificaciones: La presente norma tiene por objeto establecer las características y especificaciones que deben cumplir los adoquines de concreto de cemento hidráulico empleados para tráfico vehicular y peatonal.

INVE-426-13 Resistencia a la compresión de adoquines de concreto: El documento se encarga de describir los procedimientos necesarios para garantizar los ensayos que se deben aplicar para evaluar la resistencia de los elementos a ensayar, en este caso los adoquines, indicando la maquinaria, así como también especificaciones para garantizar la transmisión correcta de las cargas sobre cada elemento.

INVE-427-13 Absorción de agua por los adoquines de concreto: Esta norma se refiere a la determinación de la cantidad de agua que absorben los adoquines de concreto cuando se someten a unas condiciones de inmersión especificadas. Describiendo los procedimientos y maquinarias necesarias para cumplir la realización de este ensayo en laboratorios.

COVENIN 277-200 Agregados. Determinación de la composición granulométrica: La norma venezolana contempla un procedimiento para la determinación por cernido de la distribución de los tamaños de las partículas de agregados finos y gruesos. Es cierto que esta norma no es internacional, así como tampoco está directamente aplicada al ámbito del estudio y fabricación de adoquines, sin embargo, uno de los materiales para la fabricación de los mismos es un agregado fino, del cual se describen aspectos importantes en dicha norma.

La Figura 4, refleja un resumen de estas normativas presentadas como referentes, para la elaboración del manual.



Figura 4. Normas bases del manual.

Proceso de Fabricación

Un proceso se refiere a una parte cualquiera de una organización que toma insumos y los transforma en productos que, según espera, tendrán un valor más alto para ellas que los insumos originales, a su vez Castellano [12], establece que una empresa venezolana, del tipo industrial, sin importar su propósito, involucra los siguientes procesos dentro de una línea de producción que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Procesos involucrados a una organización

Procesos involucrados una organización
SHA
Mantenimiento
Control de calidad
RRHH
Producción

Castellano [12]

De lo expuesto en la Tabla 1, se desarrollarán solo los procesos de Control de calidad y Producción, basado en las normativas y manuales anteriormente definidos, para lograr esto, se plantearán subprocesos simultáneos con el fin de obtener los productos definidos para la investigación. Se presentarán narrativas, mediante diagramas PEPSUS, que permitirán conocer la secuencia más adecuada que se adapte a las necesidades de la empresa en cuestión.

La Figura 5, presenta el inicio del proceso de fabricación, junto a los equipos necesarios para poder realizar las diferentes actividades que se pueden presentar, tales como montacargas, carretilla, cuñetes y tamices.



Figura 5. Inicio de proceso de fabricación y equipos.

La Figura 6, presenta otros equipos que también son necesarios para realizar las actividades del proceso de fabricación, tales como palas, cepillos, manguera, molde, así como también tiene el personal para cada proceso y las actividades que desempeñan, como Jefe de producción, Supervisor de almacén, Obrero de producción y Obrero auxiliar.



Figura 6. Equipos varios y Personal de procesos

Seguidamente, se encuentra la Figura 7, que presenta la materia prima de elaboración de adoquines, junto al primer paso de proceso de dosificación del resumen de la elaboración de diagrama PEPSU, también define el proceso de mezclado y moldeado de los adoquines, el proceso de curado y almacenamiento.

Todos estos salen del diagrama de PEPSU, que define cuatro niveles, según el triángulo de jerarquización, siendo los niveles, un Macroproceso la fabricación de adoquines, un Proceso la producción, siete subprocesos; Recepción de materia prima, Dosificación, Mezclado, Moldeado, Curado, Muestro, Almacenamiento, que a su vez de estas se desarrollan 20 actividades, las cuales se pueden apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2. Desagregación del proceso clave de fabricación de adoquines

MACROPROCESO (Nivel I)	PROCESO (Nivel II)	SUBPROCESO (Nivel III)	ACTIVIDADES (Nivel IV)
Fabricación de adoquines	Producción	Recepción de materia prima	Suministro
			Inspección visual
			Disposición
Fabricación de adoquines	Producción	Dosificación	Verificación de los materiales
			Volumetría
			Área de trabajo
Fabricación de adoquines	Producción	Mezclado	Materiales secos
			Humedecer
			Aditivos
Fabricación de adoquines	Producción	Moldeado	Limpieza
			Vertido
			Vibrado
Fabricación de adoquines	Producción	Curado	Desmoldado
			Rocío
			Cubierta
Fabricación de adoquines	Producción	Muestreo	Lote de adoquines
			Estadística
			Ensayos
Fabricación de adoquines	Producción	Almacenamiento	Apilado
			Cubierta

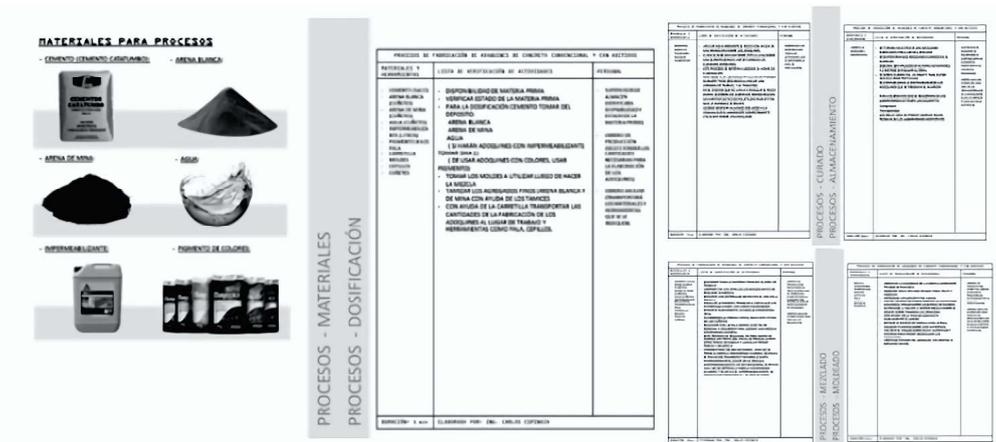


Figura 7. Materia prima y Proceso de Dosificación, Proceso de Mezclado, Proceso de Moldeado, Proceso de Curado y Proceso de almacenamiento

Conclusiones

Mediante la revisión documental de las normas y manuales internacionales fueron establecidas desde el punto de vista técnico las especificaciones físicas y químicas que debe cumplir el proceso de fabricación de adoquines siendo consideradas las normas: NTC 2017, UNE-EN 1338, NTG 41086. Así mismo fueron establecidas las condiciones ideales del proceso, las cuales se relacionaron con su geometría, apariencia, absorción de agua y resistencia a la compresión (utilizando para el cemento los requisitos establecidos por la norma COVENIN 28-93, para los agregados los requisitos establecidos por la normativa COVENIN 277-2000 y para el agua la norma COVENIN 2385-2000).

Con base a la documentación antes mencionada, junto a manuales mencionados en la bibliografía, se definieron los niveles de proceso de la fabricación de adoquines de concreto, siendo estos 4 niveles, que abordan la fabricación de los adoquines de concreto, como nivel macro, la producción como nivel de proceso general, entre los subprocesos se definieron en orden secuencial; recepción de materia prima, dosificación, mezclado, moldeado, muestreo, curado y almacenamiento, para estos se desarrollaron 20 actividades, con el fin de poder elaborar los diagramas PEPSU para definir cada proceso.

Referencias bibliográficas

[1] Peña, A. La calidad de la industria de la construcción. Buenos Aires.. Universidad de Palermo. Estudio de diagnóstico. 69, (2017)

[2] Hurtado, J. Metodología de la investigación Holística. 4ta edición. Caracas, (2010).

[3] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. Metodología de la investigación. 6ta edición, México, McGraw-Hill, (2014).

[4] Arias, F. El proyecto de investigación. Introducción a la metodología. 6ta edición, Caracas, Episteme, (2012).

[5] Normas Técnicas Colombianas. NTC-2017: 2018. Adoquines de concreto para pavimento. 3ª Actualización. Aprobado 2018-05-23. INCOTEC, Bogotá. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/gp-adoquines-de-concreto-para-pavimentos-ntc2017-2018.html>

[6] Comisión Guatemalteca de Normas. COGUANOR: NTG 41086. Adoquines de concreto para pavimentos. Especificaciones. Adoptado Consejo Nacional de Normalización. Aprobada 2012-08-17. Recuperado de: <https://docplayer.es/9588389-Norma-tecnica-guatemalteca.html>

[7] UNE-EN 1338. Adoquines de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo. AERNOR. Norma española. Recuperado de: <https://oaklarpwell.com/wp-content/uploads/2020/01/UNE-EN-1338.pdf>

[8] Restrepo, A. Propuesta para la fabricación de adoquines en mortero mezclados con cascarilla de arroz para uso en la construcción de la ciudad de Girardot en el Departamento de Cundinamarca. Trabajo de Grado. Ingeniería Civil. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Cundinamarca, Colombia, (2018).

[9] Martín, M. Diseño de una planta industrial para fabricar adoquines mediante activación alcalina. Trabajo de Grado. Ingeniería Química. Universitat Jaume I. Castellon, España. (2019).

[10] Arévalo, V. y López, C. Diseño de una fábrica de adoquines de Garbancillo residual en el departamento de Piura. Trabajo de grado. Piura, Perú. Universidad de Piura, (2017).

[11] Castellano, V. Mejora de los procesos en el área de producción para la planta beneficiadora de aves de Protinal del Zulia, C.A. Trabajo de Grado. Ingeniería Industrial. La Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela, (2016).

Impacto de los recursos en la cadena de suministro de las empresas avícolas

Resource impact in the supply chain of poultry companies

Angel David González Portillo

Escuela de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Estado Zulia. Venezuela.

Email: angeldavidgp2009@hotmail.com

Recibido: 21-06-2021

Aceptado: 20-09-2021

Resumen

La industria avícola realiza un número considerable de procesos que incluyen la fecundación, cría, beneficio y distribución de las aves; lo que conduce a realizar una gran cantidad de actividades que emplean un número elevado de recursos, aumentando la complejidad de su evaluación y control en la cadena de suministro. Por ello, el objetivo general del artículo fue determinar el impacto de los recursos en la cadena de suministro de las empresas avícolas del estado Zulia. La investigación fue de tipo analítica, no experimental; con un diseño transeccional. La muestra está conformada por 4 empresas avícolas del estado Zulia, donde se aplicó un cuestionario. Los resultados indican que el porcentaje de impacto de los recursos son: sistemas tecnológicos 20,88%, instalaciones 17,44%, maquinarias 17,06%, equipos 16,05%, personal 15,70% y materiales 12,87%. En cuanto al impacto de las actividades: producción 51,53%, almacenamiento 20,33%, gestión de inventarios 7,97%, procesamiento del pedido 7,19%, transporte 5,52%, servicio al cliente 4,65% y compras 2,81%. Finalmente, el porcentaje de impacto de cada fase de la cadena de suministro es: aprovisionamiento 71,97%, procesamiento 21,57% y distribución 6,46%, reflejando que la mayoría de los recursos son empleados en las actividades realizadas durante la fase de aprovisionamiento.

Palabras clave: Logística, cadena de suministro, inventarios, transporte, empresas avícolas.

Abstract

The poultry industry makes a number of processes including fertilization, breeding, processing and distribution of birds, leading to perform a lot of activities that employ a large number of resources, increasing the complexity of the evaluation and control of the supply chain. Therefore, the overall objective of the article was to determine the impact of the resources in the supply chain in poultry companies. The research was analytical type, not experimental, with transactional design. The sample consisted of four poultry companies in the Zulia stat, where a questionnaire was applied. The results indicate that the percentage of impact of the resources are: technological systems 20.88%, 17.44% facilities, machinery 17.06%, 16.05% equipment, personnel and material 15.70% 12.87%. As for the impact of activities: production 51.53%, 20.33% storage, inventory management 7.97%, 7.19% order processing, transport 5.52%, 4.65% customer service and 2.81% purchases. Finally the percentage impact of each stage of the supply chain is 71.97% sourcing, processing 21.57% and distribution 6.46%, showing that the majority of resources are used in the activities during the provisioning, responsible for preparing and supplying the raw material supply chain.

Keywords: Logistic, supply chain, inventory, resources, poultry companies.

Introducción

En la actualidad, el ámbito empresarial ha sido afectado por constantes cambios generados por: los avances tecnológicos, la globalización de los negocios y las modificaciones en el ámbito político, económico y social; alterando los criterios tradicionales de gestión organizacional. Todo esto ha conducido a un ambiente

competitivo que a cualquier empresa le dificulta la producción de los bienes o servicios a ofrecer si trabaja de manera aislada; por tanto, es necesaria la actuación en conjunto de diferentes organizaciones a lo largo del proceso para hacer llegar el producto al consumidor final de la manera más económica y eficiente posible.

Ahora bien, con la finalidad de generar ventajas competitivas, todo tipo de empresa grande, mediana o pequeña, de cualquier sector, requiere continuamente incrementar su nivel de respuestas ante los cambios que presentan la demanda en el nuevo contexto de la economía global. Es imprescindible que estas conozcan cuáles son las tendencias y prioridades sobre las que tendrán que trabajar para garantizar su permanencia en el medio en el cual se encuentran; no obstante, el adecuado desempeño de una organización y de su sistema logístico, ya no depende de sí misma, sino también de sus proveedores, distribuidores, clientes y todos aquellos que forman parte de su cadena de suministro.

La cadena de suministro es definida por Miquel et al. [1, Pág. 435] como “la unión de todas las empresas que participan en la producción, distribución, manipulación, almacenamiento y comercialización de un producto; es decir, integra todas las empresas que hacen posible que un producto salga al mercado”.

En el contexto planteado, las fases de la cadena de suministro de la industria avícola nacional se caracterizan por integrar varios eslabones; por lo que, desde el momento en que se inicia el flujo del material, existe una gran cantidad de tiempo y recursos que incrementan el grado de complejidad de su gestión.

Debido a dicha complejidad, se puede incurrir en una inadecuada gestión de las actividades realizadas, lo que ocasionaría: retrasos en los trámites para obtener divisas necesarias para la compra de productos importados, fluctuaciones en la distribución del producto, malas relaciones con proveedores y comercializadores, altos costos de producción, incluso paradas por falta de materia prima, así como retrasos en los tiempos de entrega del producto final al cliente, entre otros; afectando de forma directa la rentabilidad de la empresa y la competitividad en el mercado al ofrecer productos de baja calidad o de elevado costo.

Dada la importancia y necesidad que la carne de pollo representa para el mercado nacional y por el hecho de significar parte del sustento de alimentación de la sociedad, es necesario determinar el impacto de los recursos en la cadena de suministro de las empresas avícolas, enfocándose el estudio en las empresas ubicadas en el estado Zulia.

Metodología

Con el propósito de lograr este objetivo, la investigación se cataloga como analítica, definida por Hurtado [2, Pág. 103], como “aquella que trata de entender las situaciones en términos de las relaciones de sus componentes”. Este tipo de investigación permite analizar los elementos que conforman el tema en estudio y la manera en la que están conectados.

De igual forma, el diseño de la investigación es no experimental, la cual, según Hernández et al. [3, Pág. 25], comprende “un estudio que se realiza sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos”.

Con respecto a la temporalidad es transaccional contemporáneo, porque se realiza en un único momento del tiempo. Hernández et al. [3, Pág. 208], explican que “los diseños de investigación transaccional o transversal recopilan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado”. A su vez, se consideró un diseño de campo, debido a que todos los datos e información necesarios para la investigación fueron tomados de fuentes directas en su contexto natural durante el año 2019.

La población está conformada por todas las empresas avícolas que operan en el estado Zulia. Al respecto, Chirinos et al. [4] indican que en el estado Zulia operan seis (6) empresas avícolas que poseen integradas gran parte de su cadena de suministro: Avícola de Occidente (AVIDOCA), Avícola La Rosita (AVIROSA), Protinal del Zulia, Agropecuaria Nivar (AGRONIVAR), Procesadora Industrial de Pollo (PINPOLLO) y Productores Avícolas del Zulia (PROAVE). En este estudio se toma una muestra por conveniencia compuesta por 4 empresas que estuvieron dispuestas a participar en la investigación. Para la recolección de datos se emplea un

cuestionario con 21 preguntas, el cual es aplicado a los gerentes de las 4 empresas mencionadas, aunado a la observación directa de los procesos involucrados y la observación documental de los recursos empleados en ellos.

Generalidades de la cadena de suministro avícola

La cadena de suministro “está formada por el conjunto de empresas que están vinculadas, a través de relaciones con otras empresas, en los diferentes procesos y actividades que generan valor en forma de productos y servicios para el consumidor final” Christopher, [5, Pág. 93]

Considerando todos los elementos aportados por diversos autores, se puede decir que la cadena de suministro es el conjunto de empresas interrelacionadas que realizan actividades a través de las cuales fluye el producto, la información y otros recursos necesarios. Dichas actividades están involucradas desde el momento de proveer la materia prima, hasta la entrega al consumidor final del producto terminado. Esta tiene como objetivo añadirle valor al producto a medida que pasa por cada uno de sus eslabones (grupo de empresas que realizan la misma función dentro de la cadena), buscando satisfacer plenamente las necesidades del cliente.

La cadena de suministro avícola está compuesta por un número de eslabones que incluyen granjas, plantas productivas, almacenes de distribución y puntos de venta. Dichos eslabones forman parte de alguna de las fases de la cadena de suministro, dependiendo de la función que cumplan dentro de ella. Pires y Carretero [6] mencionan que la cadena de suministro está compuesta por 3 fases: aprovisionamiento, procesamiento y distribución. A continuación, se presenta cómo está formada cada fase de la cadena de suministro avícola:

- Fase de aprovisionamiento: comprende la planta de elaboración de alimento y las granjas donde se crían las aves de diferentes generaciones hasta que estén listas para ser procesadas.
- Fase de procesamiento: incluye los eslabones de las plantas de beneficio y despresado. Estos eslabones son los encargados de beneficiar (matar) el ave viva, despresarla y transformarla en algún producto de interés para el cliente.
- Fase de distribución: comprende los eslabones que trasladan los productos de las empresas hasta que llegan al consumidor, empleando para ello diferentes canales de distribución.

Actividades de la cadena de suministro

Para un desarrollo exitoso de cada una de las fases de la cadena de suministro mencionadas anteriormente, es necesario que se ejecuten una serie de actividades que juntas permitan elaborar un producto para el cliente bajo las condiciones deseadas, con la calidad requerida, en el momento justo y a un bajo costo.

En tal sentido, Hernández [7, Pág. 12] indica que una actividad: “Es el conjunto de acciones que se llevan a cabo para cumplir las metas de un programa o subprograma de operación, que consiste en la ejecución de ciertos procesos o tareas mediante la utilización de los recursos humanos, materiales, técnicos, y financieros asignados a la actividad con un costo determinado”.

Por otro lado, Casanovas y Cuatrecasas [8] mencionan las actividades que, junto a la producción como tal del producto, deben ejecutarse a lo largo de la cadena de suministro para cumplir con las metas deseadas. En total son 7 actividades; y se presentan a continuación:

- Producción: en una cadena de suministro una gran cantidad de empresas participan en la producción (elaboración) de los productos. Según Bowersox et al. [9, Pág. 89], “los fabricantes agregan valor al convertir la materia prima en productos para los clientes o la industria”. Los mismos crean valor al fabricar grupos de productos para clientes o los integrantes medios de la cadena de suministro. El estudio indica que en la cadena de suministro avícola la actividad de producción se da en las fases de aprovisionamiento y procesamiento por medio de 7 procesos productivos: elaboración de alimento balanceado, levante, reproducción, incubación y

engorde de aves, beneficio y despresado.

- Compras: todas las organizaciones, ya sea un fabricante, mayorista o minorista, adquieren materiales y suministros para apoyar sus operaciones. A lo largo de la historia, “la compra se ha percibido como una actividad administrativa de oficina o de bajo nivel que tiene a su cargo la responsabilidad de ejecutar y procesar los pedidos iniciados en otro lugar de la organización”, afirman Bowersox et al. [9, Pág. 81]. Sin embargo, en la actualidad el enfoque de esta actividad está dirigido a la disminución del gasto total y al desarrollo de las relaciones entre los compradores y los vendedores.

- Procesamiento del pedido: en la cadena de suministro, los requerimientos del cliente se transmiten en forma de pedidos; por ello, las capacidades logísticas de la misma serán tan buenas como lo sea su capacidad de procesamiento de pedidos. Según Ballou [10, Pág. 27] “el procesamiento de estos implica todos los aspectos de administrar los requerimientos del cliente, entre ellos la recepción inicial del pedido, la entrega, la facturación y la cobranza”.

- Gestión de inventarios: uno de los objetivos principales de la empresa es asegurar la disponibilidad de los productos que solicita la demanda. Bowersox et al. [9] reflejan que un inventario constituye la cantidad de existencias de un bien o recurso cualquiera usado en una organización, el cual se mantiene para asegurar el nivel de servicio al cliente deseado. Los mismos autores también indican que la gestión de inventarios es “el procedimiento administrativo para implementar una política de inventario” [9, Pág. 152].

- Almacenamiento: el almacenamiento es una actividad que se deriva de la necesidad de mantener un inventario. Ballou [10] menciona al respecto del almacenamiento que la percepción actual de su función es la de combinar el surtido del inventario con el fin de cumplir con los requerimientos de los clientes. En tal sentido, Mauleón [11, Pág. 27]. Afirma que “el almacén está para almacenar, pero también para dar servicio al cliente – con calidad, el plazo corto y sin roturas de stock- y al menor costo posible”. Es decir, su principal función, aparte de conservar el producto, es disminuir el tiempo de respuesta al cliente y la falta de disponibilidad.

- Transporte: factores como el tiempo en tránsito, la disponibilidad, la eficiencia, la rapidez y el riesgo son importantes para el cliente, por lo que deben ser considerados al momento de trasladar el producto de un lugar a otro. Casanovas y Cuatrecasas [8, Pág. 19] afirman que “la actividad de transporte resulta indispensable en cualquier empresa para poder trasladar los materiales o productos propios, así como los productos finales (distribución)”.

- Servicio al cliente: el servicio al cliente es un proceso de valor agregado que integra una gran cantidad de elementos o componentes que van desde la disponibilidad del producto, hasta la atención de devoluciones y otros servicios postventa, con la finalidad de satisfacer las necesidades del mismo a tiempo, bajo las condiciones requeridas y aun costo razonable. Respecto a la definición de servicio al cliente, Carranza [12, Pág. 64] indica que “El concepto implica la entrega del producto correcto al consumidor correspondiente en el lugar preciso, en las condiciones adecuadas y en el tiempo indicado y al menor costo total posible”.

Recursos de las actividades de la cadena de suministro

Para abordar el posicionamiento estratégico de una empresa, es necesario conocer los diversos recursos que se consumen para el desempeño de sus actividades, con el fin de lograr el uso racionado de los mismos, determinando bien sea si se puede prescindir del empleo de algunos de ellos o si estos pueden ser utilizados de una mejor manera. De acuerdo con Chiavenato [13, Pág. 52] los recursos son: “Medios que las empresas poseen para lograr sus objetivos y realizar sus tareas: son bienes o servicios consumidos en la realización de las actividades empresariales y constituyen los insumos o entradas necesarios para elaborar el producto final o el servicio prestado por la empresa”.

En otras palabras, los recursos son todos aquellos elementos que posee la empresa a su disposición para llevar a cabo las actividades necesarias para la producción del bien o la prestación del servicio que se ofrece,

desde el momento del aprovisionamiento hasta la distribución del mismo, de tal manera que se alcancen los objetivos planteados.

Asimismo, Cuervo y Osorio [14, Pág. 32] dan a conocer la importancia de monitorear y controlar el uso de los recursos para mejorar el rendimiento de las organizaciones, debido a la relación de causalidad existente entre ellos, las actividades y el producto final; ya que para poder ofrecer este último es necesario llevar a cabo una serie de actividades, las cuales utilizan los recursos que son consumidos. Los mencionados autores explican que: “Sobre la base de que los recursos generalmente son escasos, solamente se impacta bien si estos se utilizan bien; si apuntan con diligencia hacia los objetivos y si obedecen a una política de racionalización. Una empresa no puede ser eficiente si no optimiza la utilización de los recursos”.

Para lograr la racionalización de los recursos, es necesario conocer cómo se clasifican los mismos y el papel que cumplen dentro de una organización para la continuidad de su funcionamiento, razón por la cual David [15, Pág. 242] explica que no existe nada que perjudique más al éxito de la organización que realizar una distribución de estos recursos de manera que no vaya acorde con las metas planteadas, por lo que es importante conocer que “todas las empresas tienen por lo menos cuatro tipos de recursos que se emplean para lograr los objetivos deseados: recursos financieros, recursos físicos, factor humano y recursos tecnológicos”. En este artículo solo se consideran los últimos tres y se presentan a continuación:

- Humanos (personal): este se refiere al personal que labora dentro de la organización, siendo su empleo de primordial importancia para el funcionamiento de la misma, ya que es el elemento que va a dirigir, manipular, supervisar y controlar la utilización y desempeño del resto de los recursos con los que cuenta la empresa, por medio de las cualidades que posee, tales como conocimientos, aptitudes y habilidades. Esto es sustentado por Casanova y Barrera [16, Pág. 82] quienes explican que el término “se refiere a toda persona que ejerce cualquier tipo de actividad profesional dentro del marco de la empresa. Constituye la mano de obra de la cual se nutren los procesos de la compañía”.
- Físicos: se refieren a los elementos tangibles disponibles en la empresa para realizar sus diferentes actividades. Éstos pueden ser transformadores de otros recursos para lograr la prestación del servicio o producto final, o pueden ser transformados por los mencionados anteriormente para convertirse en el producto final. Este tipo de recursos es definido por Casanova y Barrera [16, Pág. 83] como “todos los entes físicos no humanos que hacen posible el desarrollo de una actividad empresarial”.

Asimismo, Rodríguez [17, Pág. 221] expresa que la correcta planeación de estos recursos, con la finalidad de utilizarlos de manera óptima para obtener rentabilidad económica, incluye establecer la finalidad y determinar “un curso de acción a seguir de los siguientes elementos:

- Materiales de producción: definidos por Escalona [18, Pág. 3] como “todos aquellos elementos físicos que es imprescindible consumir durante el proceso de elaboración de un producto, de sus accesorios y de su envase”. En otras palabras, los materiales son los elementos físicos empleados durante el proceso de producción del producto, bien sea mediante su transformación o incorporación al resultado final obtenido con las actividades de la organización.
- Equipos y maquinarias: un equipo es aquel elemento físico utilizado para llevar a cabo las actividades dentro de una organización, permitiendo facilitar y mejorar los métodos o técnicas de producción o movilización, a la vez de obtener una mejora en la calidad de aquello producido. Mientras que las maquinarias son las que realizan la transformación del material en producto terminado.
- Instalaciones: Casanova y Barrera [16, Pág. 83] las definen como “la construcción, área, edificio o fábrica cuyo interior alberga la actividad empresarial propiamente dicha”, además explica que en ella se alojan el resto de los recursos a ser empleados en el proceso productivo de la organización.
- Tecnológicos: son todos aquellos sistemas de los que se vale la empresa para desempeñar sus actividades de la manera más adecuada y coordinada posible. Los recursos tecnológicos son definidos por Rodríguez [19, Pág. 312] como “aquellos que sirven como herramientas o instrumentos auxiliares en la coordinación de

otros recursos”, instituyendo nuevas mejoras encaminadas a incrementar la eficiencia o productividad de la organización.

Lo anteriormente planteado hace evidente la relevancia de los recursos y el uso racionado de los mismos dentro de la organización. Ante tal situación es importante determinar el efecto o incidencia que tiene el empleo de cada recurso en las diferentes actividades de la cadena de suministro. Para ello se procede a calcular su impacto considerando dos aspectos: el uso de los recursos en cada actividad y su grado de importancia para realizar las mismas.

El uso de los recursos se mide por medio del porcentaje de utilización de cada recurso en las actividades de los diferentes eslabones de la cadena de suministro, acorde a la metodología mencionada por Chopra y Meindl [20], el cual se calcula mediante la fórmula 1. El cálculo se realiza dividiendo la cantidad de un recurso empleado en una actividad (j) de un eslabón (k) de la cadena de suministro, entre la cantidad total del recurso empleado en la cadena de suministro. El porcentaje obtenido se tomará como el puntaje de utilización para el cálculo del impacto.

$$\%URecurso_{j,k} = \frac{\text{Cantidad del recurso}_{j,k}}{\text{Cantidad total del recurso}} \times 100$$

Para ejemplificar la formula anterior, se calcula el porcentaje de utilización del personal en la actividad de producción de la planta de alimentos balanceados de la empresa A.

$$\%URecurso_{\text{producción,alimentos}} = \frac{53 \text{ personas}}{859 \text{ personas}} \times 100 = 6.17$$

El grado de importancia de los recursos es un valor entre 0 y 4 que mide la relevancia del uso de un recurso en alguna actividad. El grado de importancia se usa para calcular el factor de importancia (FI), que se origina de la relación entre el grado de importancia promedio que tiene el empleo de un recurso (i) para una actividad (j) y la suma del grado de importancia promedio de todos los recursos empleados en una actividad, tal como se muestra en la fórmula 3.

$$FI_{i,j} = \frac{\text{Grado de importancia promedio}_{i,j}}{\sum_{n=1} \text{Grado de importancia promedio}_{nj}} \times 100$$

Para ejemplificar la formula anterior, se calcula el factor de importancia del personal en la actividad de producción de la empresa A.

$$FI_{\text{personal,producción}} = \frac{3.71}{22.71} \times 100 = 16.34$$

El factor de importancia permitirá ponderar la utilización de un recurso en una actividad, dicha relación es la empleada para calcular el puntaje de impacto que es realmente el valor de utilización de un recurso en una actividad ponderado por la importancia que éste tiene para la misma. Para el cálculo del puntaje de impacto de un recurso (i), sobre una actividad (j) en un eslabón de la cadena de suministro (k) se emplea la fórmula 4.

$$\text{Impacto}_{i,j,k} = \text{Utilización}_{i,j,k} \times FI_{i,j}$$

Por ejemplo, el cálculo del puntaje de impacto del personal en la actividad de producción de la planta de alimentos de la empresa A se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Impacto}_{\text{personal,producción,alimentos}} = 6.17 \times 16.34 = 100.80 \text{ ptos}$$

Donde 6.17 es el porcentaje de utilización del personal en la actividad de producción de la planta de alimentos empleado como puntaje de utilización y 22,23 es el factor de importancia que tiene la utilización del

personal en dicha actividad. Una vez calculados los puntajes de impacto de cada recurso sobre las actividades de la cadena de suministro, se totalizan los puntajes de impactos por recurso para calcular el porcentaje de impacto de cada recurso (i) por actividad (j), empleando la fórmula 5.

$$\%Impacto_{i,j} = \frac{Puntaje\ de\ impacto\ total_{i,j}}{Puntaje\ de\ impacto\ total\ de\ la\ cadena} \times 100$$

Por ejemplo, el cálculo del porcentaje de impacto del recurso personal en la actividad de producción de la empresa A se realizó de la siguiente manera:

$$\%Impacto_{personal, producción} = \frac{1.025,07\ ptos}{10.855,04\ ptos} \times 100 = 9.44\%$$

Donde 1.025,07 es el puntaje de impacto de todo el recurso personal empleado en la actividad de producción y 10.855,04 es la sumatoria de todos los puntajes de impacto calculados en la cadena de suministro. Al sumar los porcentajes de los recursos por actividad se obtiene su porcentaje de impacto en la cadena de suministro de cada empresa

Impacto de los recursos en la cadena de suministro

Una vez realizado todos los cálculos para las empresas A; B, C, y la D, los resultados se presentan a continuación. En la empresa B el recurso de mayor impacto es el de sistemas tecnológicos con 23,70%, una muestra evidente de la relevancia que poseen los sistemas encargados de transmitir la información de la empresa. A éste le sigue el recurso de instalaciones con 21,12% y el de maquinarias con 18,86%. El resultado en las instalaciones se debe principalmente por la gran cantidad de granjas propias que emplea la empresa para el proceso de engorde de pollos; mientras que el valor encontrado en las maquinarias es debido al grado de automatización que presenta la planta de beneficio, empleando gran cantidad de maquinarias para este proceso. Esta afirmación se ve reforzada por el 15,95% de los equipos y el relativamente bajo 13,94% del personal.

De igual forma, en la empresa A, el recurso que más impacta es el sistema tecnológico con un 21,49%, por la razón ya expuesta. Le sigue el recurso de maquinarias con 16,16% dada la concentración de utilización de las mismas que se da en el eslabón de las incubadoras. Con un 16,16% las instalaciones por a la gran cantidad de edificios necesarios para ejecutar las actividades productivas de la cadena de suministro. Los porcentajes de impacto cercanos que poseen los recursos de personal (15,97%) y equipos (15,98%) son causa de su distribución a lo largo de la cadena de suministro de la empresa, lo que permite que su porcentaje de utilización no se concentre en ningún eslabón o actividad de forma significativa; es decir, estos dos son los recursos más empleados en la empresa, pero su grado de importancia está distribuido entre las diferentes actividades.

Bajo la misma tendencia de las empresas anteriores, en la empresa C el recurso de mayor impacto es el de sistemas tecnológicos con 19,84%, seguido de las maquinarias con 17,12%. Sin embargo, el tercer lugar en cuanto a recursos se refiere, lo ocupan los equipos con 16,83% dado que en esta empresa se sirven mucho de medios manuales y eléctricos (bandas transportadoras, elevadores de cangilones, entre otros) para el manejo de los materiales tanto en la fase de aprovisionamiento como en la de procesamiento. Es importante resaltar que los valores cercanos del impacto de las instalaciones con 16,36% y del personal con 16,30%, indica lo bien distribuido que se encuentran los últimos 3 recursos presentados en la empresa C.

En el caso de la empresa D, los sistemas tecnológicos siguen presentando el mayor impacto en la cadena de suministro con 18,48%. Sin embargo, esta es la única de las empresas en estudio en el que los materiales presentan un alto valor en relación al resto de recursos, con 17,31%. En las empresas anteriores este recurso es el que menos impactaba al ser el más dinámico; es decir, una empresa que genera productos perecederos el tiempo de duración de los materiales en los almacenes es corto. Sin embargo, en la fase de aprovisionamiento las aves duran una gran cantidad de meses consumiendo alimento, agua y medicinas. Al ser la empresa D la

que posee la fase de aprovisionamiento más larga en el estudio, el porcentaje de impacto de los materiales se eleva en comparación al del resto de empresas estudiadas.

Finalmente, en la Tabla 1 se presenta el resumen del impacto de los recursos en la cadena de suministro avícola mostrando que el recurso que mayor impacta en promedio es el sistema tecnológico (20,88%), indicativo evidente de la relevancia que tiene el empleo de sistemas que permitan conducir la información manejada por las empresas en referencia a: órdenes de pedido, estado de la producción, manejo de inventarios, compras de materiales, entre otros. A este recurso le sigue las instalaciones con un valor promedio de 17,44%, muestra de la gran cantidad de edificios y áreas necesarias para realizar los diferentes procesos que son necesarios para conducir el pollo hasta el consumidor.

Tabla 1. Impacto de los recursos en la cadena de suministro.

Empresa	Personal	Materiales	Maquinarias	Equipos	Instalaciones	Sistemas tecnológicos
1	13,94	6,43	18,86	15,95	21,12	23,7
2	15,98	14,18	16,23	15,98	16,14	21,49
3	16,3	13,55	17,12	16,83	16,36	19,84
4	16,59	17,31	16,02	15,45	16,15	18,48
%Promedio	15,70	12,87	17,06	16,05	17,44	20,88

En el mismo orden de ideas, al ser el impacto generado por las maquinarias de 17,06% y equipos de 16,05%, superior al del personal con 15,70%, revela lo automatizado o semi-automatizado que se encuentra la producción y el manejo de los materiales en la cadena de suministro en estudio.

Impacto de las actividades en la cadena de suministro

Una vez analizado el impacto de cada recurso en las empresas estudiadas, se procede al análisis de cada actividad en la cadena de suministro. En la empresa B la actividad de mayor impacto es la de producción con un 51,84%, debido principalmente al valor que generan en ella los recursos: maquinarias 18,86%, instalaciones 14,21% y personal 7,66%; el recurso maquinarias es exclusivo de la actividad de producción, mientras que la mayoría de las instalaciones son empleadas para los procesos productivos de las empresas. A esta actividad le sigue almacenamiento con 19,97%, dado al valor de los recursos: equipos 7,71% y materiales 5,05%; el hecho de que los materiales impacten más en la actividad de almacenamiento que en la de producción evidencia el hecho de que se está ante la presencia de una empresa que trabaja bajo un sistema de producción continuo.

De igual forma, en la cadena de suministro de la empresa A es la actividad de producción la de mayor impacto con 49,39%, debido a los recursos: maquinarias 16,23%, instalaciones 9,71% y personal 9,44%; evidencia de la gran cantidad de ellos que emplea y la importancia que tienen para la misma. A la actividad ya mencionada le sigue la de almacenamiento con un 19,42%, por la gran cantidad de materiales que almacena la empresa, con un 8,40% de impacto, debido principalmente a la estrategia de producción empleada.

En la empresa C se presenta la misma tendencia mostrada en las anteriores, siendo la actividad de producción las que más impacta con 51,49%, dado el impacto que en ella generan los recursos: maquinarias 17,12%, personal 10,44%, instalaciones 9,36% y en esta empresa se agrega el alto valor de los equipos en esta actividad con 8,40%. La actividad que le sigue es almacenamiento con 20,90%, distribuyendo este valor principalmente entre el resultado de los recursos: materiales 7,89%, equipos 5,17% e instalaciones 4,76%. La distribución del impacto del recurso sistemas tecnológicos entre las actividades de: procesamiento de pedido, gestión de inventario y servicio al cliente, hace que estas posean un valor de 6,92%, 5,89% y 5,57%, respectivamente.

Finalmente, en la empresa D se acentúa un poco más el impacto de la actividad de producción con 53,41%, una vez más debido al valor de los recursos: maquinarias 16,02%, instalaciones 11,48% y personal

10,77%. De igual forma, le sigue la actividad de almacenamiento con 21,04%, concentrado gran parte de este valor en el resultado que generan en ella los materiales 11,96%.

Sin embargo, en esta empresa la actividad que mayor impacta en tercer lugar es la de transporte con 7,46%; esto se debe a que la empresa posee la cadena de suministro más larga entre las empresas estudiadas y por ende necesita un mayor empleo de este recurso, requiriendo personal que en ella impacte en un 3,32%, mayor cantidad de camiones (equipos 1,57%) y sistemas que permitan gestionarla de buena manera 2,14%.

Para finalizar, en la Tabla 2 se presenta el resumen del impacto de las actividades de la cadena de suministro mostrando que en promedio la actividad que más impacta es la de producción con 51,53%, debido a que es en ella que se emplean todas las maquinarias de las empresas, la mayoría de los edificios y áreas disponibles, así como gran parte del personal. Sin embargo, es importante resaltar que el restante 48,47% de impacto se concentra en las actividades logísticas.

Tabla 2. Impacto de las actividades en la cadena de suministro

Empresa	Producción	Compras	Procesamiento del pedido	Gestión de inventario	Almacenamiento	Transporte	Servicio al cliente
1	51,84	2,01	9,12	8,48	19,97	3,43	5,15
2	49,39	2,65	6,86	12,22	19,42	5,62	3,84
3	51,49	4,28	6,92	5,89	20,9	5,57	4,95
4	53,41	2,29	5,86	5,28	21,04	7,46	4,66
%Promedio	51,53	2,81	7,19	7,97	20,33	5,52	4,65

Impacto de las fases de la cadena de suministro.

Luego de analizar el impacto de cada actividad en las empresas estudiadas, se procede al análisis del resultado de cada eslabón en las fases de la cadena de suministro. En la empresa B el eslabón de mayor valor en la cadena de suministro es la planta de beneficio con 23,31% y al ser éste el único eslabón de la fase de procesamiento el porcentaje correspondiente a ella es el mismo. Sin embargo, la fase de mayor impacto en la empresa es la de aprovisionamiento con 76,69% porque incluye la mayor parte de su cadena de suministro, siendo dentro de ésta el eslabón de la planta de alimentos balanceados la que mayor valor genera con 19,91% porque es en ella en la que la actividad de producción genera mayor resultado en toda la cadena de suministro de la empresa (13,70%); a dicho eslabón le sigue el de las granjas de engorde con 19,86% y las reproductoras con 16,14%.

Es importante señalar que la empresa B no posee eslabones que pertenezcan a la fase de distribución dado que ésta la realizan agentes externos a la organización.

En contraparte, en la empresa A el eslabón de mayor impacto es la incubadora con 18,45% debido, igualmente, a que posee el mayor porcentaje de la actividad de producción (14,64%); dicho porcentaje es tan elevado porque la mayoría de las maquinarias empleadas en la empresa pertenecen a las incubadoras. El siguiente eslabón con mayor impacto es el de las granjas de engorde con 17,44%; al poseer la fase de aprovisionamiento 5 eslabones y entre ellos los 2 de mayor valor, es la fase que posee el mayor porcentaje de impacto en la cadena de suministro con 63,73%. A ella le sigue la de procesamiento con 23,28%, la mayor parte de este valor pertenece al resultado de las plantas de beneficio con 16,08%. Finalmente, la fase de menor impacto es la de distribución con 12,99%, valor perteneciente al eslabón de los centros de distribución.

En cuanto a la empresa C, el eslabón de mayor impacto es el de las granjas de engorde con 28,08% por el alto porcentaje de impacto que en ella posee la actividad de producción (14,94%) dado las grandes cantidades de materiales (principalmente aves) que manejan; por lo mencionado y el alto impacto que presentan las incubadoras con 18,93% y la planta de alimentos con 17,60%, la fase de aprovisionamiento es la que más impacta con 71,99%. Las plantas de beneficio es el eslabón que más impacta, detrás de las granjas de engorde, con 20,01%; sin embargo, es el único que pertenece a la fase de procesamiento de la empresa C. Para finalizar, la fase de distribución de esta empresa solo impacta en un 8%.

En el mismo orden de ideas, en la empresa D el eslabón de mayor impacto es el de las plantas de beneficio con 19,66% por el impacto que en ella genera la actividad de producción 10,39% y almacenamiento 4,22%; siendo éste el único eslabón que integra la fase de procesamiento de la empresa. La fase que mayor impacto genera es la de aprovisionamiento, recordando que la empresa D posee la cadena de suministro más larga entre las empresas estudiadas debido a que integra en dicha fase los eslabones que permiten la cría de las abuelas, su reproducción e incubación de sus huevos. Dentro de esta fase los eslabones que más impactan son: granjas de engorde 18,58%, incubadoras de pollo de consumo 15,38% y la planta de alimentos 9,92%.

En la Tabla 3 se presenta el resumen del impacto de los eslabones y las fases de la cadena de suministro mostrando que en promedio el eslabón que más impacta en la cadena de suministro avícola es el de las granjas de engorde con 20,99%, seguido de las plantas de beneficio con 19,77% y las incubadoras de pollo de consumo con 16,54%. Nótese como el impacto se concentra en el centro de la cadena y tienden a disminuir a medida que se acercan a los eslabones de los extremos, característica común de los sistemas productivos que se refleja incluso a nivel de una cadena de suministro.

La fase de la cadena que posee un mayor porcentaje de impacto promedio es la de aprovisionamiento con 71,97%, debido a que es la más larga y a que en ella se encuentran 2 de los eslabones de mayor impacto de la cadena de suministro. A la fase de aprovisionamiento le sigue la de procesamiento con 22,82% de impacto, gran parte de este porcentaje lo aportan las plantas de beneficio con 19,77% en promedio. La fase de menor impacto es la de distribución con 6,46% porque las empresas en estudio sólo poseen integrado un eslabón de esta fase, el resto lo conforman los diferentes clientes.

Tabla 3. Impacto de las fases de la cadena de suministro

Eslabones	1	2	3	4	%Promedio por eslabón	%Promedio por fase
Planta de alimento	19,91	11,08	17,6	9,92	14,63	71,97
Granjas de levante de abuelas	0,00	0,00	0,00	3,72	0,93	
Granjas de reproducción de padres	0,00	0,00	0,00	4,45	1,11	
Incubadoras de padres	0,00	0,00	0,00	7,91	1,98	
Granjas de levante de padres	7,38	4,53	2,08	7,26	5,31	
Granjas de reproducción de pollos de consumo	16,14	12,23	5,30	8,26	10,48	
Incubadoras de pollos de consumo	13,40	18,45	18,93	15,38	16,54	
Granjas de engorde	19,86	17,44	28,08	18,58	20,99	21,57
Plantas de beneficio	23,31	16,08	20,01	19,66	19,77	
Despresados y conformados	0,00	7,20	0,00	0,00	1,80	
Centro de distribución	0,00	12,99	0,00	4,86	6,46	6,46

Conclusiones

Las empresas para realizar sus actividades hacen uso de diferentes recursos como: personal, materiales, maquinarias, equipos, instalaciones y sistemas tecnológicos. De ellos, el que mayor impacta en la cadena de suministro avícola es el sistema tecnológico con 20,88%, mostrando la relevancia del uso de sistemas que permitan gestionar la información manejada por las empresas en referencia. A este recurso le sigue las instalaciones con un impacto de 17,44%, indicando la gran cantidad de edificios y áreas necesarias para realizar las diferentes actividades; luego las maquinarias con un impacto de 17,06% y los equipos con 16,05%, superior al del personal con 15,70%, revelando lo automatizado que se encuentra la producción y el manejo de los materiales en las empresas avícolas estudiadas.

El porcentaje de impacto de las actividades de la cadena de suministro se encuentra distribuido de la siguiente manera: producción 51,53%, almacenamiento 20,33%, gestión de inventarios 7,97%, procesamiento del pedido 7,19%, transporte 5,52%, servicio al cliente 4,65% y compras 2,81%. La actividad en la que los recursos: personal, maquinarias, equipos e infraestructura impactan en mayor porcentaje es la de producción;

por ello esta actividad es la que mayor porcentaje de impacto posee en la cadena de suministro. Sin embargo, el resto de actividades acumulan el 48,47% del impacto, evidenciando que la actividad de producción por sí sola no puede mantener a las empresas competitivas en el mercado. Necesitan del resto de actividades para poder movilizar y controlar adecuadamente el flujo de material a lo largo de la cadena de suministro.

Los eslabones de la cadena de suministro que mayor impacto generan son: las granjas de engorde 20,99%, las plantas de beneficio 19,77% y las incubadoras de pollos de consumo 16,54%. Debido a ello la distribución del impacto de los recursos en las fases de la cadena de suministro es el siguiente: aprovisionamiento 71,97%, procesamiento 21,57% y distribución 6,46%, reflejando las características propias de este tipo de empresas que se encargan de la crianza de grandes cantidades de animales durante un tiempo prolongado para luego beneficiarlos en un proceso fluido que cuide las características de calidad del animal y finalmente distribuirlo lo más rápido posible considerando que manejan productos perecederos.

Al ser la fase de aprovisionamiento la que mayor porcentaje de impacto posee, las estrategias que se deseen aplicar para mejorar la gestión de la cadena de suministro avícola deben ir dirigidas principalmente a los procesos de negocios que se realizan en esa fase; de tal manera que los resultados que se consigan impacten en mayor grado a todos los miembros de la cadena de suministro.

Referencias Bibliográficas

- [1] Miquel S., Parra F., Lhemie, C., Miquel M. Distribución comercial. 7ª. ed. México: Pearson Educación, (2018).
- [2] Hurtado, Jacqueline. El Proyecto de Investigación: comprensión holística de la metodología de la investigación holística. 8a ed., Caracas: Quirón Ediciones, (2015).
- [3] Hernández R., Fernández C., Baptista P. Metodología de la Investigación. 6a ed., México D.F.: McGraw-Hill, (2014).
- [4] Chirinos A., Rodríguez G., Bonomie M. "Integración vertical de la cadena de valor del sector avícola en la empresas del estado Zulia". Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura. Vol. XIV, N°1, (2016), 175-193.
- [5] Christopher, Martin. Logística: aspectos estratégicos. 3ra ed., México: Limusa, (2018).
- [6] Pires, Silvia; Carretero, Luis. Gestión de la cadena de suministro. 2ª. ed., España: McGraw-Hill, (2017).
- [7] Hernández, Gustavo. Diccionario de economía. 2ª. ed., Colombia: Editorial UCC, (2016)
- [8] Casanovas, August; Cuatrecasas, Luis. Logística empresarial. 2ª. ed., Barcelona: Gestión 2000, (2012).
- [9] Bowersox D., Closs, D., Cooper B. Administración y logística en la cadena de suministro. 2a ed. México D.F.: McGraw-Hill, (2017).
- [10] Ballou, Ronald. Logística: administración de la cadena de suministro. 6ta ed., México: Pearson Educación, (2015).
- [11] Mauleón, Mikel. Logística y costos. Buenos Aire: Ediciones Díaz de Santos, (2016).
- [12] Carranza, Octavio. Logística: mejores prácticas en Latinoamérica. Bogotá: Editorial Thomson, (2016).
- [13] Chiavenato, Idalberto. Administración. Proceso administrativo. 10a ed., Colombia: McGraw Hill, (2018).
- [14] Cuervo, Joaquín; Osorio, Albeiro. Costeo basado en actividades ABC: gestión basada en actividades ABM. Colombia: ECOE ediciones, (2016).

[15] David, Fred. *Conceptos de Administración estratégica*. 11a ed. México: Pearson Prentice Hall, (2008).

[16] Casanova, Rubén; Barrera, Oscar. *Logística y comunicación en un taller de vehículos*. 2a ed., España: Editorial Paraninfo, (2011).

[17] Rodríguez, Joaquín. *Administración de pequeñas y medianas empresas*. 5ta ed., México: Cengage Learning Editores, (2009).

[18] Escalona, Iván. *Sistema de Costos en Ingeniería Industrial (UPIICSA – IPN)*, (2014). [Artículo en línea]. Disponible en: <http://www.sappiens.com>. [Consulta: 2018, Febrero 09]

[19] Rodríguez, Joaquín. *Introducción a la administración con enfoque de sistemas*. 4ª ed. México: Thomson Editores, (2003).

[20] Chopra, Sunil y Meindl, Peter. *Administración de la cadena de suministros*. 4ª ed. PEARSON, (2016).

Nota Especial

Ingeniero Industrial (La Universidad del Zulia, LUZ). M.Sc. en Gerencia de Empresas. Mención: Operaciones (La Universidad del Zulia, LUZ). Doctor en Ciencias Gerenciales (URBE). Profesor contratado (Universidad Rafael Urdaneta). Profesor asistente (La Universidad del Zulia, LUZ). Dirección postal: Av. Ziruma, calle 98, Ciudad Universitaria, Facultad de Ingeniería, Zulia, Venezuela. Teléfonos: +58-0261-4128770/4128781; e-mail: angeldavidgp2009@hotmail.com

Diseño de una planta de producción de biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas*

*Design of a biodiesel production plant from *Jatropha curcas* oil*

José Ángel Sarmiento Martínez

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

Email: smjoseangel@hotmail.com

Luis Eduardo Vega Urdaneta

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

Email: lvegacle@gmail.com

Charles Albert Gutiérrez Mendoza

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

Email: Charles.agm@gmail.com

Recibido: 14-06-2021

Aceptado: 13-09-2021

Resumen

Durante la última década, el método de producción de biodiésel mediante aceites vegetales ha sido estudiado y propuesto como alternativas para la sustitución de combustibles fósiles, un aspecto importante para desistir de la dependencia de los mismos. El objetivo principal de la investigación es diseñar una planta de producción de biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas*, con el propósito que las propiedades del combustible sean similares a los datos reportados según las normas internacionales. Se usó el programa Aspen plus V8.8 para la simulación del proceso de producción de biodiésel bajo condiciones estándar, previamente se hizo una investigación bibliográfica de las propiedades que afectan su proceso. La reacción se llevó a cabo en un proceso continuo de dos etapas, donde la relación molar metanol: triglicéridos utilizada fue 9:1, empleando catalizadores homogéneos. En general, el modelo simulado presenta valores muy cercanos al establecido por las especificaciones de la norma ASTM D6751.

Palabras Clave: Biodiésel, simulación, *Jatropha curcas*, aceite vegetal, triglicéridos

Abstract

*During the last decade, the biodiesel production method using vegetable oils was subject of multiples investigation, propose as an alternative for the substitution of fossil fuels. The objective of the study was to realize a design a biodiesel production plant from *Jatropha curcas* oil, with the sheer proposes of biodiesel properties stay within the range of the international establish normative. The tool used to simulate the production process of biodiesel under standard conditions, was Aspen plus software, in order to run the simulation, it was necessary the necessary an investigation of the properties who had a pivotal role during the process. The reaction reactor was under the specification of a molar relation was 9:1 methanol: triglycerides, with the presences of homogeneous catalysts. In conclusion the simulated process shows have great affinity with the specifications of the ASTM D6751 standard.*

Keywords: Biodiesel, simulation, *Jatropha curcas*, vegetable oil, triglycerides

Introducción

La producción y explotación de biocombustibles como una alternativa energética para la sustitución paulatina y el alargamiento del tiempo de vida de los combustibles fósiles tradicionales, es, hoy, un tema de primer orden en el desarrollo tecnológico, Rodríguez [1]. Así mismo, la creciente preocupación acerca del impacto ambiental, especialmente en cuanto a lo relacionado con las consideraciones relacionadas con el

asunto de salud y seguridad, han impulsado la búsqueda de nuevas fuentes de energía, así como de maneras alternativas de energizar los vehículos de motor, Dincer [2] De la misma forma, las emisiones al carbón producen tan elevadas emisiones que los combustibles alternativos son más atractivos para las empresas. Franco [3].

El biodiésel está definido por la ASTM como un combustible formado por ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de aceites vegetales o grasas animales (ASTM, [4]. El método más extendido para producirlo es la transesterificación, que consiste en hacer reaccionar los triglicéridos de las grasas y aceites naturales con un alcohol para producir ésteres. Chen *et al.* [5] En algunos casos es necesario de un proceso previo para llevar el aceite vegetal a las condiciones óptimas de la etapa de transesterificación, este proceso es llamado esterificación.

En los últimos años, muchos estudios han investigado el impacto económico y ambiental de los combustibles, especialmente del bioetanol, biogás y biocombustible. Para Om *et al* [6] el uso de aceites combustibles como combustible no es muy habitual, debido a que la industria alimenticia sería incapaz de aumentar el precio de estos aceites debido a la competencia en cuanto al uso comercial, por ello los autores Sonntag [7] e Pabón y Hernández [8] recomiendan emplear especies de aceites vegetales no comestibles por dos características muy importantes: sus bajos costos de producción y capacidad de producción a gran escala, además autores como García *et al.* [9], recomiendan su implementación porque el biodiésel puede reducir sus emisiones de CO₂ en base a estos. La especie seleccionada es la *Jatropha curcas*, nativa de América Central, reconocida por ser un excelente cultivo debido a que su adaptabilidad, potencial considerable y prosperidad en zonas áridas de baja fertilidad

La viabilidad técnica, económica y medioambiental de diferentes procesos de producción de biodiésel, ha sido evaluada por diferentes investigadores a través de la simulación de los procesos de producción a escala industrial. Asimismo, varios autores emplean esta herramienta para el empleo de diseños de una planta de producción de biodiésel, empleando un aceite de bajo peso económico como el de la *Jatropha curcas*, para satisfacer los parámetros de calidad dictados por la ASTM, en función de un proceso lo suficientemente económico para ser implementado en países con escasa materia prima, Sarmiento y Vega [10].

Este artículo científico deriva del Trabajo Especial de Grado, titulado diseño de una planta de producción de biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas*, presentado por los autores Sarmiento y Vega [10], dicha investigación consta de presentar mediante el proceso de simulación, la viabilidad del aceite proveniente de *Jatropha curcas* como materia prima para la producción de un biocombustible avalado por las normativas internacionales, para así obtener un producto de calidad suficiente para ser puesto en el mercado, se caracteriza por usar un proceso de dos etapas, transesterificación y esterificación, con la finalidad de que el producto sea económica y técnicamente factible.

De igual manera, como objetivos precedentes a la simulación, se encuentra el estudio de las propiedades fisicoquímicas de los componentes que intervienen durante el proceso de producción, esta información es necesaria para el conocimiento esencial del estudio en cuestión. La comparación de diferentes esquemas de producción mediante criterios técnicos y económicos para observar la fiabilidad del proceso diseñado, seleccionar y proponer el esquema que mejor se adapte a las condiciones de un biodiésel acorde a las normativas estandarizadas. Tomando en cuenta la metodología de la investigación, la ejecución del modelo simulado de producción hace factible profundizar aprendizaje en relación con las áreas de técnicas de simulación e ingeniería de las reacciones, así mismo, la simulación instaure una serie de parámetros que servirán como apoyo para futuras investigaciones que se interesen por la producción de combustible alternativo.

Métodos y Materiales

En esta investigación se empleó el aceite de *Jatropha curcas* y el biodiésel como unidades de análisis, ya que fue requerido observar el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas de los sujetos ante variables de operación, para obtener así la información necesaria para su aceptación en la producción de este combustible. Se hace uso de un simulador comercial Aspen Plus para detallar de manera más precisa las

propiedades del biodiésel como una fuente de combustible ambientalmente aceptable. Con el propósito de cumplir los objetivos planteados, se organizaron en fases los procedimientos a realizar de acuerdo a un orden sistemático, favoreciendo el curso de la investigación. A continuación, se describen las mismas:

Fase I. Determinación de las propiedades físicas y químicas que caracterizan los componentes de la producción de biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas*

Para dar inicio a un cálculo referente al modelo simulado, fue necesario conocer las propiedades de la mezcla que permitan en sí misma resaltar las diferentes características de los biocombustibles sintetizados. Aquellas propiedades que depende del proceso de producción, serán parámetros que permitirán optimizar cada etapa del mismo; para esto, se tomó como base el antecedente teórico y la bibliografía consultada. A través de una búsqueda exhaustiva de los diferentes tipos de biodiésel, se analizaron los casos y se consiguió un patrón, indicador que permitió observar las propiedades que serán tomadas en cuenta para la aplicación de la simulación.

Fase II. Comparación de esquemas de procesamiento para la obtención de biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas* mediante criterios técnicos y económicos.

Una vez finiquitado la determinación de los parámetros fisicoquímicos del biodiésel y del aceite, en función de dichas propiedades, se procedió a realizar una revisión de documentos como libros de procesos y artículos científicos para seleccionar, con base en ellos, un método de producción de biodiésel óptimo, esto debido a las múltiples conjugaciones que pueden presentar los equipos en función de las características del aceite.

Se estudió la posibilidad de la operación recopilando información de autores que evaluaron el potencial del aceite de *Jatropha curcas* como materia prima para la producción de biodiésel y las complicaciones que este trae, considerando factores tales como facilidad de obtención, cantidad de residuos de desecho durante la producción, cantidad de materia prima aparte necesaria para el proceso y sus características más relevantes.

Por otro lado, desde el punto de vista económico se evaluó la viabilidad de los esquemas en función del costo de la materia prima, preparación y transporte; el capital necesario para la manufacturación del esquema seleccionado para la producción de biodiésel, y por último otros costos tales como mano de obra, servicios públicos, mantenimiento y seguros.

Fase III. Selección de un esquema de producción para biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas* empleando programas comerciales de simulación.

Tras realizar la comparación de los diferentes esquemas de procesamiento y su posterior elección con base en las características y similitud con el caso de estudio, se procede a hacer uso de un programa de simulación comercial, Aspen Plus V8.8 ingresando la data y el esquema de diseño pertinente con el fin de visualizar y evaluar el comportamiento del proceso, para así, definir la viabilidad como posible propuesta que cumpla normativas internacionales.

Inicialmente, se introdujo en el simulador los componentes que forman parte del proceso de producción de biodiésel, y a su vez se seleccionó un modelo termodinámico acorde a la naturaleza de la mezcla de componentes presentes en el proceso. Tras la selección del esquema de producción para biodiésel, se identificó los equipos presentes y se especificaron las variables pertinentes para los cálculos que efectúa el simulador, partiendo de la presión y temperatura de operación de los equipos respectivos, así como las especificaciones de las propiedades de las corrientes de alimentación, haciendo consideración de todas las especificaciones para la producción eficiente de biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas*.

Tras detallar todo lo necesario en el simulador, se procedió a correr la simulación para obtener los datos (mediante el uso de tablas que proporciona la simulación) de las corrientes que llevan consigo el producto de biodiésel, para así poder comparar de forma apropiada la similitud de dicho producto con la data experimental

obtenida de autores previos, y así concluir de forma certera el potencial del aceite de *Jatropha curcas* como materia prima para la producción de biodiésel.

Fase IV. Propuesta de una planta para la producción de biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas* que cumpla con normativas internacionales.

En esta fase se procedió a utilizar el simulador para realizar un diseño de una planta de producción de biodiésel, en función de todos los datos recogidos en las diferentes fases anteriores. En el diagrama de flujo (flowsheet) se representó el sistema a analizar, incluyendo las corrientes identificadas, los modelos termodinámicos y los modelos de los equipos presentes, asimismo las características propias como las composiciones de corriente, temperatura, presión y demás especificaciones propias de los equipos. En este punto, los resultados arrojados fueron expuestos en tablas, facilitando su análisis y comparación con las normativas internacionales EN 14214 y ASTM D6751. [4].

Una vez, definido todas las fases de la investigación, es necesario plantear de manera concisa los resultados de las fases presentadas con anterioridad, es por ello que a continuación se presentara de manera ordenada todos los resultados acordes con las fases presentadas, en forma que sea expresado de manera entendible.

Determinación de las propiedades físicas y químicas que caracterizan los componentes de la producción de biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas*

Para dar inicio a un diseño de una planta de producción de biodiésel es necesario conocer las propiedades fisicoquímicas de las variables operacionales como lo son agua, alcohol, la mezcla del aceite de *Jatropha curcas* y el biodiésel obtenido, en este orden ideas se observó el comportamiento e influencia de las propiedades durante el proceso de transesterificación.

Aceite de *Jatropha curcas*

Se procedió a realizar una investigación exhaustiva a partir de la información proporcionada por diferentes autores para obtener los valores de parámetros como viscosidad, densidad, humedad, índice de yodo, porcentaje de ácidos grasos libres, en los principales ácidos grasos que constituyen el aceite de *Jatropha curcas*, siendo el ácido esteárico, palmítico, linoleico y oleico. A continuación, se presenta la Tabla 1, donde se definen las propiedades fisicoquímicas del aceite de *Jatropha*. Mediante la tabulación de algunas de estas propiedades según autores, se puede analizar los valores de operación de estas variables.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del aceite de *Jatropha curcas*

Parámetro	Valor
% de ácidos grasos libres como ácido oleico	2.23±0.02
Valor de saponificación	193.55±0.61
Porcentaje de contenido de aceite (kernel)	63.16±0.35
Densidad a 20°C (g/ml)	0.90317
Valor de peróxido	1.93±0.012
Valor de yodo	103.62±0.07
Viscosidad a temperatura ambiente	42.88
Estado físico a temperatura ambiente	Líquido

Nota: Akbar[22]

En la Tabla 1 se observó los parámetros fisicoquímicos del aceite de *Jatropha curcas* que causan gran impacto durante el proceso de sintetizar el biocombustible, estas propiedades son tan sensibles que son causantes de varios problemas durante la etapa de transesterificación, en primera instancia el valor de acidez que maneja el aceite, es un indicativo de los ácidos grasos libres. El aceite de *Jatropha curcas* maneja un bajo porcentaje de ellos, que, en conjunto con la presencia de elevados niveles de humedad, favorecerían la

precipitación de jabones en el reactor, reduciendo las etapas de purificación, rendimiento general del proceso, y consumo parcial del catalizador.

La primera de estas propiedades influyentes, la densidad del aceite de *Jatropha*, se encuentra en un valor que favorece los procesos de separación al encontrarse en menor valor que los del agua, pero uno de los inconvenientes que se presentan al trabajar con este aceite es que, al presentar una densidad elevada, ocurre problemas al implementar el biodiésel en motores ya sea por un retraso en la combustión o bajo rendimiento del mismo. La viscosidad es otra propiedad sensible que afectan de manera determinante el producto final, un bajo valor de esta propiedad tiene una influencia importante durante el proceso de combustión y atomización del combustible durante la inyección en el motor de diésel, ya que ocasiona la formación de depósitos en el motor Maucher [11].

Metanol

El proceso de síntesis de biodiésel mediante la transesterificación necesita de la presencia de un alcohol de bajo peso molecular, para que al momento de reaccionar con triglicéridos sintetice ésteres, normalmente el alcohol se usa en exceso para aumentar la eficiencia de la reacción, al desplazar el equilibrio de la reacción a los productos. Para que esta reacción sea completa, el autor García *et al.* [12]. Se recomienda el uso del metanol, ya que como se puede evidenciar en la investigación de Sarmiento y Vega [10], este alcohol no solo es el más económico y de bajo peso molecular, sino además cumple con la facilidad de recuperación, una virtud que es requerida para mantener este proceso económicamente viable.

Según lo establecido por Castillo [13] el metanol presenta tres ventajas con respecto a otros alcoholes para su implementación en procesos de transesterificación, primero al de ser el más corto de los alcoholes, genera una reacción rápida con los triglicéridos, segundo la presencia del grupo hidroxilo facilita la disolución de catalizadores alcalinos como el KOH y finalmente al no presentar azeotropo puede utilizarse en altos niveles de pureza, reduciendo así la formación de jabones en la corriente de biodiésel.

Agua

Se comenzó a realizar una investigación exhaustiva a partir de la información proporcionada por diferentes autores para obtener los valores de parámetros como pH, densidad, punto de fusión, punto de ebullición, calor latente del agua. Para más detalles se puede consultar la investigación efectuada por Sarmiento y Vega [10] para apreciar la recopilación de las propiedades. Los parámetros más relevantes del agua durante el proceso de esterificación-transesterificación evidenciamos el pH, puntos de fusión y ebullición, ya que el primero consta de un valor neutro, idóneo para no ejecutar un tratamiento previo para introducirse en el sistema de lavado, además presenta miscibilidad con el metanol lo cual brinda facilidad al remover los remanentes de contaminantes, los puntos de fusión y ebullición son valores suficientemente bajos para no perturbar a los componentes de biodiésel, como metil-ésteres durante el proceso de purificación. Romano y Sorichetti [14]

Biodiésel

El método más comúnmente empleado para la producción de biodiésel a partir de un aceite vegetal o grasa animal es la transesterificación. Sin embargo, algunas de las características físicas y químicas de un biodiésel están directamente ligadas al proceso de producción (glicerina total y libre, ésteres totales, metanol, agua, acidez, entre otras), mientras que otras están relacionadas con la materia prima de la cual se parte. Por último, se pueden distinguir algunas propiedades que dependen tanto de la calidad del proceso como del tipo de materia prima (estabilidad a la oxidación, acidez, viscosidad, entre otras). A continuación, se presentó la Tabla 2, donde se definen las propiedades fisicoquímicas del biodiésel, en esta, se resaltan las propiedades más relevantes durante la producción y uso de este.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del biodiésel.

Parámetro	Valor
Agua y sedimentos (%v/v)	1E-04
Rendimiento de la reacción min (%)	99.38
Punto de inflamación (°C)	189
Densidad a 20°C (kg/m ³)	897
Numero de ácido (mg KOH/mg)	0.25
Estabilidad de oxidación a 110°C (h), min	6.25
Glicerina total (%m/m), máx.	0.1657
Mono glicéridos (%m/m), máx.	0.53
Diglicéridos (%m/m), máx.	0.1710
Triglicéridos (%m/m), máx.	2E-03

Nota: Rodríguez *et al.* [1]

Si la cantidad de metanol presente en el biodiésel es significativa, no conseguirá alcanzar el mínimo del punto de inflamación, esto ocurre normalmente por una purificación insuficiente del biodiésel tras la reacción de transesterificación, el contenido de metanol va ligado de la determinación del punto flash, como se observó en la Tabla 2 el biodiésel tiene un punto de inflamación de 180 °C, esta propiedad en presencia de metanol puede verse reducida, otra propiedad que es sensible a la pureza del biodiésel es la cantidad de glicerina total, en caso de presencia de este puede ocasionar depósitos durante la combustión.

Comparación de esquemas de procesamiento para la obtención de biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas* mediante criterios técnicos y económicos

Se realizó un estudio de múltiples propuestas de producción de biodiésel, con la finalidad de alcanzar la mayor precisión al momento de realizar los análisis mediante los criterios técnicos y económicos (ya que parte de la información necesaria para hacer un análisis riguroso no es accesible).

Proceso de producción de biodiésel de una etapa usando catalizador homogéneo

El contenido de FFA o el valor de ácido disponible en la materia prima del aceite influye en la selección del tipo de catalizador (ácido o base) utilizado en el proceso, como el caso del aceite de *Jatropha* con tendencia a sintetizar jabones y glicerina. La acidez del aceite se ve afectada, principalmente, por el manejo inadecuado de este, causando un aumento en el contenido de agua, por lo tanto, la concentración de ácidos grasos libres variará y dependerá de la calidad de la materia prima Berchmans e Hirata [15]. Por lo que, se prefiere el catalizador de base para las materias primas con un contenido de FFA inferior al 1% Demirbas [16].

Sin embargo, cuando la materia prima contiene más del 1% de FFA, se recomienda el catalizador ácido debido a su baja susceptibilidad al FFA, ya que puede catalizar simultáneamente reacciones de esterificación y transesterificación del FFA, Abbaszaadeh *et al.* [17]. No obstante, los impedimentos del catalizador ácido para su aplicación en procesos de transesterificación de un solo un paso, tal y como lo definen Koh y Ghazi [18], son un tiempo de reacción lento y un largo periodo de espera para alcanzar un alto rendimiento de biodiésel. Los agentes más comunes durante la reacción de transesterificación son los hidróxidos (KOH y NaOH), el ácido sulfúrico y un alcohol de cadena corta como metanol o etanol.

El uso de catalizadores homogéneos también conlleva muchos inconvenientes, como el efecto peligroso de bases y la necesidad de una gran cantidad de agua para las etapas de purificación, si se espera cumplir con la calidad específica del producto que lo convierte en aguas residuales. Estas aguas residuales requieren un tratamiento adecuado que aumenta el costo general del proceso.

Proceso de producción de biodiésel de dos etapas usando catalizadores homogéneos

Este proceso por lo regular es la opción más recomendable por autores como Tyagi [19] en presencia de materia prima con una concentración mayor al 1% de FFA, ya que consta de dos etapas catalizadas, primero

una esterificación de los FFA catalizada por un ácido, y otra etapa de transesterificación catalizada por una base, con el objetivo de obtener mayor rendimiento de ésteres en un tiempo de reacción corto.

El tipo de alimentación, la selección del alcohol, la relación molar alcohol: aceite, la adición del catalizador, el tiempo de reacción y la temperatura son las variables importantes que afectan la acidez en la primera etapa y el rendimiento de biodiésel en la segunda. El aceite desodorizado crudo de *Jatropha* contiene 15% de contenido de FFA, lo cual no cae en el límite aceptable para la transesterificación catalizada por bases. Por lo tanto, un proceso de dos pasos se utiliza para este aceite. Tyagi, [19].

Berchmans y Hirata [15] determinaron que se obtiene un mayor rendimiento (90.1%) en el proceso de producción de biodiésel de dos etapas usando catalizadores homogéneos que al usar el método de producción de biodiésel de una etapa catalizado por una base (55%). Igualmente, Deng *et al.* [20] reportaron que el uso de aceite de *Jatropha* con un contenido de 10.45% de FFA reduce el rendimiento de ésteres en 47.2% en el proceso de producción de biodiésel de una etapa catalizado por una base, sin embargo, se alcanzó un rendimiento de ésteres de 96.4% en el proceso de dos etapas.

Finalmente, las diferencias son claras, durante las fases de producción de biodiésel de una sola etapa podemos definir este proceso con la distinción de emplear un catalizador básico, mientras que el de dos etapas hace uso de uno ácido, el primer proceso hace uso de la neutralización después de realizada el proceso de producción, y, el segundo lo realiza previo a las etapas de transesterificación, ya que esta reacción es catalizada por una base, de no ser así puede haber precipitaciones que disminuyan el efecto del catalizador en la reacción.

Proceso de producción de biodiésel de una etapa por catalizador heterogéneo

Los procesos de producción de biodiésel que utilizan catalizadores heterogéneos son una alternativa amigable con el ambiente, ya que permiten una separación y purificación más sencilla del producto, generando una reducción en la generación de desechos. Por otro lado, tienen la cualidad de ser reusables y regenerables, haciendo la producción de biodiésel más económica. Estos catalizadores pueden ser preparados por lavado, secado o calcinación bajo altas condiciones de temperatura, Tyagi, [19]. Sin embargo, al usar catalizadores heterogéneos, las condiciones de la reacción siguen teniendo gran influencia en el rendimiento de ésteres, ya que, por lo regular, este proceso requiere una relación metanol: aceite mayor y temperatura con un tiempo de reacción mucho mayor para obtener rendimiento de ésteres comparables a la de una reacción con catalizador homogéneo, Tyagi [19].

Proceso de producción de biodiésel a condiciones supercríticas

El proceso de transesterificación supercrítico es considerablemente bueno en la obtención de ésteres usando alcoholes sin la intervención de ningún catalizador. Para que sea efectivo, en este método, la temperatura y presión de operación está arriba del punto crítico del alcohol a emplear. En este punto, la constante dieléctrica se reduce y crea una sola fase en lugar de dos fases de alcohol-aceite, como se reporta en los procesos de transesterificación convencionales. Como se encuentra en una sola fase, la reacción se ve favorecida, ya que no existe la limitación del fenómeno de transferencia de masa en estas condiciones, Tyagi, [19]. Las principales ventajas se encuentran: menor tiempo de reacción, no formación de jabón, no generación de residuos y fácil recuperación de la glicerina debido a la ausencia de catalizador. Las desventajas más relevantes son: altos costos de operación, necesidad de una gran cantidad de alcohol y la posible degradación de los ésteres producidos debidos a las condiciones de operación tan altas. Joon Ching *et al.* [21].

Comparación

Sobre la base de los métodos de producción aportados por los autores, se determinó que el esquema de producción óptimo para la producción de biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas* es el proceso de producción de biodiésel de dos etapas usando catalizadores homogéneos, principalmente por la facilidad

de operación de este y por las recomendaciones aportadas por estudios mencionados con anterioridad. Aun cuando los costos son mayores que el proceso de una etapa, los rendimientos alcanzados son mayores, ya que dada las propiedades del aceite de *Jatropha*, el uso exclusivo de un catalizador básico conlleva a problemas de operación debido a la formación de jabón.

Al comparar el proceso de producción de biodiésel de dos etapas utilizando catalizadores homogéneos con el proceso de producción de biodiésel de una etapa usando catalizador heterogéneo es fácil argumentar que el segundo es más económico, sin embargo, este proceso requiere una mayor proporción inicial de metanol:aceite (el costo de las materias primas es la contribución más importante al costo unitario de producción), carga del catalizador y temperatura de reacción con un tiempo de reacción mucho más largo para obtener rendimientos de éster comparables a una reacción catalizada homogéneamente. Por lo tanto, no es una opción viable basándonos en criterios técnicos/económicos. El proceso de producción de biodiésel a condiciones críticas no es económicamente viable a pesar de los rendimientos de ésteres alcanzados, por lo que, es una opción fácilmente descartable basándonos en criterios económicos.

Fase III. Selección de un esquema de producción para biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas* empleando programas comerciales de simulación.

Tras la comparación de los diferentes esquemas de producción de biodiésel, se seleccionó el esquema de producción de biodiésel de dos etapas con uso de catalizadores homogéneos, esto con base en todas las características del aceite a trabajar y a lo económicamente factible que es en comparación a los procesos de producción de biodiésel a condiciones supercríticas. Para la simulación, se utilizó el programa Aspen Plus V8.8.

Especificación de componentes y propiedades

Inicialmente, se especificó los componentes que formarían parte del proceso de producción de biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas*. La determinación de los componentes del aceite de *Jatropha* se logró a partir de investigaciones previas, Akbar *et al.* [22], sin embargo, se presentan muchas limitantes a lo que especificación de triglicéridos respecta. Se visualizó los componentes especificados en la interfaz de la simulación en la investigación realizada por Sarmiento y Vega [10].

Si bien se tiene la composición de triglicéridos del aceite es imposible detallar cada componente en el simulador, por la diferente geometría y variación de ácidos grasos que presentan los triglicéridos del aceite. Por lo tanto, a partir de la concentración de ácidos grasos, se especificó los triglicéridos de los ácidos grasos que se encuentran en mayor proporción, sin considerar las moléculas de diglicéridos/monoglicéridos. Se seleccionó el triglicérido del ácido oleico (trioleína), el triglicérido del ácido palmítico (tripalmitina), el triglicérido del ácido linoleico (triniloleína) y el triglicérido del ácido esteárico (triestearina), que son los ácidos grasos que se hallan en mayor proporción, y como componente que representa la concentración de ácidos grasos libres según Akbar *et al.* [22], se tomó el ácido oleico.

Se especificaron otros componentes tales como la glicerina, los metilésteres de los ácidos grasos respectivos (metil palmitato, metil estearato, metil oleato y metil linoleato), el agua (que es producto de la reacción de esterificación, y se usa para al lavado del biodiésel), el (catalizador), el (catalizador), y demás componentes que forman parte de la neutralización de catalizadores. El modelo matemático seleccionado fue el NRTL (No Random Two Liquids), basándose en las recomendaciones de autores, debido a la presencia de componentes altamente polares, con el fin de predecir los coeficientes de actividad de los componentes en una fase líquida, Zhang [23].

Algunos coeficientes de los parámetros de interacción no disponibles, como los de metanol/metil-oleato, glicerol/metil-oleato y ácido sulfúrico con cualquier otro componente, se estimaron utilizando el UNIQUAC. Por otro lado, para la simulación del proceso de decantación se seleccionó el método Peng-Robinson, debido a su particular precisión para cálculos de densidad líquida, Peng y Robinson, [24].

Simulación

Al comenzar la simulación, se tomó como base de cálculo de alimentación de aceite 100 kmol/h, luego se detalló la composición de los componentes en relación con la investigación de Akbar *et al.* [22]. Las condiciones de las reacciones que ocurren en el proceso son basadas en los resultados obtenidos en los estudios de Patil y Deng [25].

Para la reacción de esterificación se seleccionó una relación molar metanol: aceite 6:1, con una concentración de catalizador H_2SO_4 al 0.5% en peso a 45 °C, por otro lado, para la reacción de transesterificación se seleccionó una relación molar metanol: aceite 9:1, con una concentración de catalizador KOH del 2% en peso a 60°C. Los reactores escogidos fueron basándonos en su rendimiento a falta de los datos de cinéticas de las reacciones. En la Figura 1 se observó el diseño de la planta de producción de biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas*, la mayor parte del proceso se da a presión atmosférica, debido a la mínima influencia que tiene la presión en el desarrollo de la reacción de transesterificación, Prabowoputra *et al.* [26].

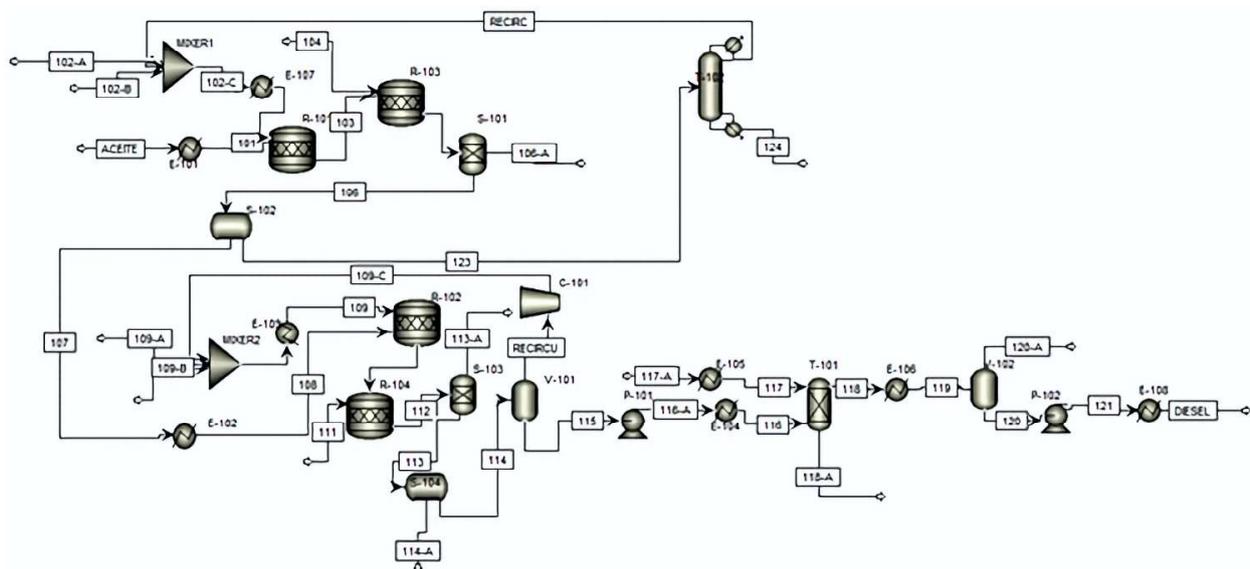


Figura 1. Diseño de la planta de producción de Biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas*.

Sarmiento y Vega[10]

Como se observó en la Figura 1, inicialmente el aceite debe pasar por un pretratamiento debido a la concentración de ácidos grasos libres que presenta, por lo tanto, la corriente pasa por un precalentamiento a 45 °C para llevar al aceite a la temperatura necesaria para la reacción de esterificación. Esta última se llevó a cabo en el reactor R-101 a las condiciones mencionadas previamente.

Justo después de la reacción, se encuentra el R-103, que es el reactor donde se neutraliza el catalizador ácido usado, utilizando NaOH a las mismas condiciones de la reacción previa. Luego, se precipita la sal formada en la reacción previa mediante un proceso de sedimentación, en un separador por gravedad horizontal (S-101). Seguido de esto ocurre un proceso de decantación, en un decantador (S-102), donde se separan la fase polar (compuesta mayormente por metanol y agua) de la fase no polar (compuesta mayormente por aceite tratado).

Siguiendo la misma línea del proceso se llega a un precalentamiento a 60 °C (E-102), para llevar a cabo la reacción de transesterificación en el reactor R-102. Posterior a esta etapa, al igual que ocurre después de la etapa de esterificación, se presenta un reactor de neutralización de catalizador (R-104), para así posteriormente separar de la mezcla la sal precipitada en el separador por gravedad horizontal (S-103). Posterior a esta etapa, ocurre una separación de fases haciendo uso de un decantador (S-104), que no es más que un separador

horizontal por gravedad que tiene como objetivo separar dos fases, una polar (compuesta mayormente por glicerina y metanol) y otra no polar (compuesta mayormente por los metilésteres y un porcentaje de metanol). Dicha corriente de glicerina y metanol puede separarse con el fin de obtener glicerina y metanol (no se hace esta consideración en el proceso).

A partir de este punto se llega a las fases de purificación del biodiésel para que este alcance los parámetros especificados en la norma. Inicialmente, se realiza una separación flash en el separador V-101 con el fin de separar el biodiésel del metanol remanente (y recircularlo al reactor R-102 de transesterificación), de dicho separador se obtiene biodiésel con baja concentración de metanol a una temperatura bastante alta, por lo que se enfrió en un intercambiador de calor (a 25 °C) antes de ser llevada a la columna de lavado (T-101) (que se simuló como una columna de extracción líquido-líquido), en esta se eliminan todas las impurezas asociadas al proceso, tales como catalizadores, metanol remanente de la reacción y emulsiones de jabón. Finalmente, tras obtener el biodiésel lavado, se llevó a un separador flash con el fin de purificar el biodiésel y separar los componentes volátiles como el agua y el metanol del producto final. La corriente de producto final es la corriente Diésel.

Paralelamente a la producción del biodiésel ocurre un proceso de recuperación de metanol con la finalidad de aumentar la eficiencia del proceso, esta recuperación de metanol ocurre posterior a las reacciones de esterificación y transesterificación, en la columna de destilación T-102 y en el separador flash V-102. Es importante determinar las especificaciones de operación óptimas con el fin de garantizar la mayor recuperación de metanol posible, para que parte de este pueda ser usado nuevamente en los reactores. Se sugiere tiempos de retención de 1 a 3 minutos en los separadores S-101, S-102, S-103 y S-104 basados en las recomendaciones de Requena y Rodríguez [27], que sugieren ese rango de tiempos de retención para fluidos con un rango 25-40 °API para separadores horizontales con principio de separación por gravedad.

Las especificaciones de operación óptima se determinaron mediante el análisis de sensibilidad de los equipos más relevantes como las columnas T-102 y T-101 y los separadores tipo Flash V-101 y V-102, las columnas fueron utilizadas para recuperación de metanol y purificación del biodiésel respectivamente, mientras que los separadores se emplean para asegurar que dichos procesos tengan la mayor efectividad posible. El comportamiento de dichas gráficas se puede observar en la investigación realizada por Sarmiento y Vega [10].

Fase IV. Proponer una planta para producir biodiésel a partir del aceite de *Jatropha curcas* que cumpla normativas internacionales.

Una vez determinada la simulación, se procede a recoger los datos de la corriente de biodiésel, es importante destacar que la corriente de biodiésel simulada será caracterizada de acuerdo a lo estipulado por las normas EN14214 y la ASTM D6751 [4], con la finalidad de validar la calidad del biodiésel debido a su gran variedad de componentes significativos. Los valores de tabla ASTM D6751[4] y EN14214 se presentan en detalle en la investigación elaborada por los autores Sarmiento y Vega [10]

En las normativas que regulan los parámetros fisicoquímicos del biodiésel se puede concluir que cualquier biocombustible deberá respetar las normativas para su posterior aplicación en el mercado, de las propiedades más considerables se encuentran el contenido del metanol presente en las corrientes, ya que estos son los componentes que le dan sus características al biodiésel, la cantidad de glicerina libre presente en la corriente, se expresa en la cantidad de glicerol disuelto en la misma, junto a las viscosidades cinemática y densidad, todas las propiedades mencionadas detallan la eficacia del proceso de purificación. A continuación, se procede a exhibir la Tabla 3 donde se evidenció las propiedades fisicoquímicas de la corriente de biodiésel producida determinadas por el simulador, para luego, hacer la comparativa con respecto a las normativas internacionales ASTM D6751[4] y EN 14214.

Tabla 3. Especificaciones de propiedades fisicoquímicas del biodiésel B100 según la ASTM

Propiedades	Unidades	Resultados	Estándar	Cumple con la normativa
Densidad a 20 °C	Kg/m ³	845.64	860-900	No
Glicerina libre	%masa	3.33E-9	0.02	Si
Glicerina total	%masa	4,60E+00	0.24	Si
Número de cetanos	Cetanos	55.88	47	Si
Punto de inflamación	°C	135.00	130	Si
Rendimiento	L biodiesel/ L aceite	98.3	95	Si
Contenido de metanol	%masa	128.22E-9	0.2	Si
Contenido de éster		98.98	96.5	Si

Nota: Sarmiento y Vega [10]

En la Tabla 3 se presentó los resultados de las propiedades más influyentes presentadas en las normas ASTM D6751 [4] y EN 14214 en la corriente resultante de biodiésel, es importante aclarar que, aunque no están todas las propiedades presentes en la corriente por la limitación del simulador, a primeras instancias se puede observar un valor de 55.88 referentes al número de cetanos, el autor Knothe [28] nos define esta propiedad como un parámetro importante para observar la calidad de ignición de un combustible al momento de inyectarlo a la cámara de combustión de un motor de diésel, un valor de 55.88 superiores al mínimo establecido por la normativa, se traduce en una mejor calidad de ignición y menos tiempo de retardo de la ignición y viceversa.

Otras de las propiedades que tiene una desviación importante es la densidad del producto, un parámetro significativo, debido a que los sistemas de inyección utilizan un sistema de medición volumétrico, por ende, un valor elevado se traduce en un incremento de la masa de combustible suministrada al motor. Al observar el valor de 845.64 kg/m³ podemos determinar que se presenta un valor por debajo de las normativas internacionales, estas desviaciones pueden deberse a que los valores reportados en la literatura fueron obtenidos para reacciones con rendimientos alrededor del 90% por lo que el porcentaje de triglicéridos no convertidos era menor y en consecuencia su densidad también. Sin embargo, el autor Franco *et al.* [3] indica que aun cuando el porcentaje de conversión fuese menor, la densidad calculada debería encontrarse por debajo de la densidad del agua (1000 kg /m³).

Las propiedades de glicerina libre y glicerina total, están relacionadas con la cantidad de triglicéridos no reaccionados y la eficacia del proceso de purificación de biodiésel respectivamente. El contenido de glicerina total es la suma del glicerol libre y el enlazado, el cual corresponde a los mono-, di- y triglicéridos presentes en el combustible expresado como glicerina, mientras que la glicerina libre se refiere solamente a la cantidad de glicerol presente en el producto final. En la Tabla 3 se evidenció que las propiedades presentan valores inferiores de lo máximo permitido, indicando así una efectividad de las etapas de purificación de biodiésel.

El punto de inflamación del biodiésel obtenido fue de 135 °C, valor que cumple lo establecido en normas ASTM D6751 [4] de mínimo 130 °C y por la norma EN 14214 de 120 °C. El objetivo de este parámetro es observar la efectividad del proceso de purificado para el biodiésel producido, otras propiedades que definen el proceso de purificado de biodiésel tal y como lo define Moser [29] el contenido de ésteres y metanol, el primero presenta un valor de 98.98 % ratifica condiciones de operación adecuadas y no la presencia de contaminantes, el contenido de metanol bajo nos brinda una confirmación en que los procesos de evaporación y lavados con agua fueron realizados con éxito.

Para finalizar se determinó el rendimiento del proceso de producción de biodiésel, el flujo de combustible producido a partir del aceite de *Jatropha*, el cual fue de 98.3%, como se observó en la Tabla 3, varios autores como Martínez [30] y Ali y Rind [31] indican que el aceite de *Jatropha curcas* presenta un rendimiento superior al 90% este valor no solo muestra una elevada efectividad durante el proceso de purificación, sino que representa una gran oportunidad para ser empleado en la industria automotriz.

Conclusiones

Se lograron identificar cada uno de los parámetros fisicoquímicos de las variables operacionales, y su impacto en el diseño de una planta de producción de biodiésel, como lo son agua, el metanol, el biodiésel producido y el aceite de *Jatropha curcas* que se emplearán como materia prima para la síntesis de biocombustibles; esto permitió que se establecieran los datos de composición de las corrientes, la relación molar en los reactores, las temperaturas y presiones requeridos por el simulador de procesos, Aspen plus para el desarrollo de la simulación.

Se determinó que el proceso de producción de biodiésel de dos etapas haciendo uso de catalizadores homogéneos es la opción más técnica y económicamente factible para la producción de biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas*. Esto es debido a la gran influencia que tiene la formación de jabones en el rendimiento de la transesterificación, al reaccionar ácidos grasos libres con las bases (haciendo muy difícil alcanzar rendimientos aceptables sin un tratamiento), y a lo poco económicamente factible que son los procesos de producción alternativos a condiciones supercríticas.

La simulación del proceso fue alcanzada con éxito mediante el uso del programa de simulación ASPEN V8.8 utilizando el modelo NRTL para la mayor parte del proceso y PR para la decantación. El proceso consta de las etapas de tratamiento, transesterificación y purificación de biodiésel, con la finalidad de alcanzar la calidad de producto necesaria. Los parámetros de operación de los equipos se determinaron con base en los análisis de sensibilidad de los mismos y recomendaciones de autores. Por otro lado, la especificación de componentes y el uso de data experimental externa al programa de simulación se realizó basándonos en información proporcionada por autores.

Los resultados experimentales demuestran que el aceite vegetal de *Jatropha curcas*, puede ser empleado para la obtención de biodiésel, mediante un proceso de transesterificación con KOH. El producto obtenido fue caracterizado, mediante la determinación de: Densidad, número de cetanos, contenido de metanol, de ésteres y cantidad de glicerina libre y total. Las propiedades de glicerina libre, glicerina total, número de cetanos, contenido de metanol, éster y punto de inflamación cumplen con las especificaciones de la Norma ASTM D-6751-08 [4] para biodiésel y son comparables a las obtenidas para un diésel comercial. Además, que el biodiésel brinda un alto rendimiento a partir del aceite alimentado. Las propiedades de densidad no cumplieron lo mínimo según la norma, lo cual se puede atribuir a reacción incompleta de los triglicéridos durante la transesterificación.

Referencias Bibliográficas

- [1] Rodríguez, P., Hernández, A., Melo, E., Zumalacárregui, L., Pérez, O., Pérez, L., Piloto-Rodríguez, R. Caracterización del biodiesel obtenido del aceite de *Jatropha curcas* L. *Afinidad*, Vol.75, N°581, (2018), 45-51.
- [2] Dincer, K. Lower emissions from biodiesel combustion. *Energy source, part A: Recovery, Utilization and Environmental effects*. Vol 30, N° 12, (2008), 963-968. <https://doi.org/10.1080/15567030601082753>
- [3] Franco, M. Simulación del proceso de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales en condiciones supercríticas – Comunidad. (Tesis de maestría, Universidad politécnica de Cataluña) Barcelona-España, (2013).
- [4] American Society for Testing and Materials: ASTM D6751-09. Standard specification for biodiesel fuel blend stock (B100) for middle distillate fuels, (2010).
- [5] Chen, C. L., Huang, C., Tran, D. T., & Chang, J. S. Biodiesel synthesis via heterogeneous catalysis using modified strontium oxides as the catalysts. *Bioresource technology*: Vol. 113, (2012), 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.142>
- [6] Om, N., Gomes, D., de Mesquita, J., & Ceva, O. Transesterification of *Jatropha curcas* oil glycerides: Theoretical and experimental studies of biodiésel reaction. *Fuel*, Vol.87, N°10–11, (2008). 2286–2295. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.12.006>.

[7] Sonntag, N.O.V. Composition and Characteristics of Individual Fats and Oils. In: Swern, D., Ed., Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Vol. 1, John Wiley & Sons, New York, (1979), 289-477.

[8] Pabón, L., y Hernández, P. Importancia química de *Jatropha curcas* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales. (2011). [online] Medigraphic.com. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubplamed/cpm-2012/cpm122h.pdf>.

[9] García, M, Gandón, J, y Maqueira, Y. Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. *Tecnología Química*, Vol. 33, N° 2, (2013), 134-138. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543779005>

[10] Sarmiento, J y Vega, L. Diseño de una planta de biodiesel a partir de aceite de *Jatropha curcas* – comunidad. (Tesis para grado, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo, Venezuela, (2021).

[11] Maucher, B.F., Romano, S.D. Estudio de la viscosidad del biodiesel: resultados experimentales y predicciones, (2011).

[12] García-Muentes, S. A., Sánchez del Campo-Lafita, A. E., Labrada-Vázquez, B., Lafargue-Pérez, F., & Díaz-Velázquez, M. Cinética de la reacción de transesterificación para la producción de biodiesel a partir del aceite de *Jatropha curcas* L., en la provincia de Manabí, Ecuador. *Tecnología Química*, Vol.38, N°2, 281-297.

[13] Castillo, K. Caracterización Teórica de parámetros de biodiésel y estudio de algunas de sus emisiones. Madrid, España, (2018). http://oa.upm.es/53357/1/TFG_KEVIN_CASTILLO_FERNANDEZ.pdf

[14] Romano, S. & Sorichetti P. Dielectric Spectroscopy in biodiésel Production and Characterization. Londres, Editorial Springer , (2010), 103 p.

[15] Berchmans, H. J., & Hirata, S. Biodiesel production from crude *Jatropha Curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Technology*, Vol. 99, N°6, (2008), 1716–1721. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.051>.

[16] Demirbas, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Convers. Manage.* Vol. 50, N°1, (2010), 14–34.

[17] Abbaszaadeh, A., B. Ghobadian, M. R. Omidkhah, and G. Najafi. Current biodiesel production technologies: A comparative review. *Energy Convers. Manage.* Vol. 63, (2012), 138–148.

[18] Koh, M. Y., & Mohd. Ghazi, T. I. A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, N° 5, (2011), 2240–2251. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.013>.

[19] Tyagi, R. Biodiesel production: technologies, challenges, and future prospects. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers. (2019).

[20] Deng, X., Fang, Z., & Liu, Y. Ultrasonic transesterification of *Jatropha curcas* L. oil to biodiesel by a two-step process. *Energy Conversion and Management*, Vol. 51, N° 12, (2010), 2802–2807. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.06.017>.

[21] Joon Ching, J., Damayani, K., Ta Yeong, W., & Taufiq-Yap, Y. H. Biodiesel production from *Jatropha* oil by catalytic and non-catalytic approaches: An overview. *Bioresource Technology*, Vol., N° 102, N°2, (2011), 452–460. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.09.093>

[22] Akbar, E., Yaakob, Z., Kamarudin, S., Ismail, M. y Salimon, J. Characteristic and composition of *Jatropha curcas* oil Seed from Malaysia and its potential as biodiésel feedstock. *European Journal of Scientific Research*. Vol. 2, (2009), 75-89.

[23] Zhang, Y. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Bioresource Technology*. Vol.89, N°1, (2003), 1–16. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(03\)00040-3](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(03)00040-3).

[24] Peng, D.-Y., & Robinson, D. B. A New Two-Constant Equation of State. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, Vol.15, N°1, (1976), 59–64. <https://doi.org/10.1021/i160057a011>.

[25] Patil, P. D., & Deng, S. Optimization of biodiesel production from edible and non-edible vegetable oils. *Fuel*. Vol. 88, N°7, (2009), 1302–1306. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.01.016>.

[26] Prabowoputra, D., Sartomo, A., Y Suyitno. The effect of pressure and temperature on biodiesel production using castor oil. *The 5th International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering 2019 (ICIMECE 2019)*, (2020). <https://doi.org/10.1063/5.0000>.

[27] Requena, J., y Rodríguez, M. *Diseño y Evaluación de separadores bifásicos y trifásicos* (Tesis de pregrado, Universidad Central de Venezuela). Caracas Venezuela, (2006).

[28] Knothe, G. Calidad del combustible biodiésel y la norma ASTM. *Palmas*. Vol.31, N°2, (2010), 163. https://www.google.comahUKEwjonamO6LXsAhUy2FkKHWwrB9IQFjAAegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fpublicaciones.fedepalma.org%2Findex.php%2Fpalmas%2Farticle%2Fview%2F1563&usq=AOvVaw3EGIMp_iPVynSxaEqFkvdE.

[29] Moser, B. Biodiesel production, properties, and feedstocks. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. Vol.45, N° 3 (2009), 229-266.

[30] Martínez, H. J. El Piñón Mexicano: una Alternativa Bioenergética para México. *Revista Digital Universitaria* Vol., 8, N°12, (2007), 1-10. http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art88/dic_art88.pdf

[31] Ali, M., & Rind, S. Rendimiento del motor y análisis de emisiones utilizando biodiésel de neem y Jatropha. *La Granja Revista de Ciencias de la Vida*. Universidad Politécnica Salesiana. Vol.32, N°2, (2020), 19-29. <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.02>

Nota Especial

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: *Diseño de una planta de producción de biodiésel a partir de aceite de Jatropha curcas*, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela

Diseño del Proceso de Producción de Etanolaminas mediante Destilación Reactiva para la Industria Venezolana

Process Design for the Production of Ethanolamines via Reactive Distillation for the Venezuelan Industry

José Alejandro Barboza Fuenmayor

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela
Email: josea.barboza2000@gmail.com

Miguel Alfredo Pérez Quintero

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela
Email: perezmiguelalfredo@gmail.com

Charles Albert Gutiérrez Mendoza

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela
Email: charles.agm@gmail.com

Recibido: 07-06-2021

Aceptado: 06-06-2021

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar el proceso de producción de etanolaminas mediante destilación reactiva empleando productos comerciales de la industria venezolana. En este sentido, se escogieron la corriente de óxido de etileno proveniente de la empresa Productora de Alcoholes Hidratados, C.A. y la corriente de amoníaco proveniente de Fertilizantes Nitrogenados de Venezuela, C.A. como materias primas para el proceso. A continuación, se determinó que el catalizador más adecuado para el desarrollo de las reacciones es el agua, adoptando las expresiones cinéticas propuestas por Park *et al.* [14]. Posteriormente, se efectuó la simulación del esquema utilizando el programa Aspen Plus v8.8. Finalmente, el estudio técnico arrojó una selectividad hacia la monoetanolamina del 69.5%, con una pureza en los productos del 99.99%, asimismo se determinó que la planta posee una capacidad de 10600 TMA y que la misma debería ubicarse en PRALCA. El estudio económico arrojó que la propuesta es factible.

Palabras clave: Etanolaminas, destilación reactiva, selectividad, simulación.

Abstract

The objective of this research was to design the production process of Ethanolamines by Reactive Distillation using Commercial Products of the Venezuelan Industry. In this sense, the Ethylene Oxide stream coming from the company Productora de Alcoholes Hidratados, C.A. and the Ammonia stream coming from Fertilizantes Nitrogenados de Venezuela, C.A. were chosen as raw materials for the process. Subsequently, it was determined that the most adequate Catalyst for the development of the Reactions is Water, adopting the Kinetic Expressions proposed by Park et al. (1995). After that, a simulation was carried out using the program Aspen Plus v8.8. Finally, the Technical Study yielded a Selectivity towards Monoethanolamine of 69.5%, with a Purity in the products of 99.99%, it was also determined that the plant has a Capacity of 10600 MTY and that it should be located at PRALCA. The economic study showed that the proposal is feasible.

Key words: Ethanolamines, reactive distillation, selectivity, simulation.

Introducción

Las etanolaminas son una clase de compuestos orgánicos que incluyen dos grupos funcionales (amino e hidroxilo). Por lo que comparten las propiedades de las aminas y de los alcoholes. Debido a la diversidad de aplicaciones industriales que tienen estos compuestos, su producción se ha convertido en un proceso de

interés para la industria química. En este sentido, Frauenkron *et al.* [1]. Comentan que la producción industrial moderna de estos compuestos se inició en el año 1970, a partir de la comercialización del óxido de etileno. En la actualidad, las etanolaminas son producidas al hacer reaccionar dicho óxido con un exceso de amoníaco, utilizando agua como catalizador. Así, se produce una mezcla de monoetanolamina (MEA), dietanolamina (DEA) y trietanolamina (TEA) mediante tres reacciones competitivas paralelas y consecutivas.

Generalmente, la producción de las etanolaminas se desarrolla bajo un esquema que consta de dos etapas. Una de estas consiste en una fase de reacción, usualmente llevada a cabo en reactores tubulares en serie; y otra etapa de separación de reactivos y productos, mediante procesos de destilación consecutivos, Zahedi *et al.* [2]. No obstante, los autores comentan que los procesos convencionales de producción de etanolaminas suelen presentar dificultades para alcanzar altos grados de selectividad, además de ser altamente costosos debido al elevado consumo térmico.

La destilación reactiva se define como una operación que combina la reacción química y la separación multicomponente en una sola unidad. En este sentido, Sakuth *et al.* [3], agregan que la destilación reactiva permite incrementar la selectividad de las reacciones catalíticas debido a la constante eliminación de los reactivos en la zona de reacción, lo cual resulta altamente beneficioso para incrementar la selectividad hacia la Monoetanolamina sin incluir altos gastos energéticos.

Ahora bien, el diseño de un esquema de destilación reactiva debe hacerse tomando en cuenta la viabilidad económica que ofrece el proceso, frente a otros esquemas existentes. Para ello, es necesario tomar en cuenta los parámetros estequiométricos y el equilibrio de las fases y reacciones. Al respecto, Hoyme [4], determinó que la factibilidad económica de los esquemas de DR viene dada por el tipo de reacción, la cantidad de productos procesados y la selectividad deseada. Además, el autor determinó la importancia que posee la heurística en las características de la columna.

En relación con lo antes expuesto, los esfuerzos en superar las barreras que presenta el proceso convencional para la producción de etanolaminas han posicionado la destilación reactiva como una alternativa viable. Bajo esta óptica, Garg *et al.* [5] desarrollaron una patente que permitió controlar la selectividad de estos procesos mediante un esquema de destilación reactiva catalizada por agua. Por otro lado, Weizhong *et al.* [6] se basaron en la misma investigación para elaborar el diseño de una Planta de Etanolaminas mediante destilación reactiva, obteniendo una selectividad para la monoetanolamina del 70.3%, un valor superior a lo que se obtiene regularmente en los procesos convencionales. Finalmente, el estudio energético reveló que, dado que los costos de enfriamiento se reducen en un 88.0%, el total de los costos operativos disminuye un 37.6%; de lo que se concluyó que la adopción de un esquema de destilación reactiva resulta más beneficiosa que el proceso convencional para la obtención de etanolaminas.

Ahora bien, la presente investigación tuvo como enfoque el estudio de una propuesta de producción de etanolaminas mediante destilación reactiva utilizando productos comerciales de la industria venezolana. Considerando que en el territorio no se cuentan con instalaciones para la producción de etanolaminas, por lo que básicamente se depende de las importaciones. Por otro lado, se sabe que dentro del país existen complejos productivos donde son fabricadas las materias primas precursoras de estos productos.

Dentro de la investigación fue necesario estudiar la pureza de las corrientes comerciales que alimentan el proceso, así como los posibles efectos asociados a los contaminantes presentes. Asimismo, se realizó un estudio de la catálisis de las reacciones de síntesis de las etanolaminas, el cual consistió en seleccionar el catalizador más adecuado y la cinética química más ajustada al mismo. Por último, se evaluó la factibilidad del proceso mediante un estudio técnico y económico con la finalidad de completar la propuesta.

El presente artículo deriva del Trabajo Especial de Grado titulado “Producción de Etanolaminas mediante Destilación Reactiva empleando Productos Comerciales de la Industria Venezolana” presentado por Barboza y Pérez [7], se ejecutó con el interés de diseñar una planta de producción de etanolaminas a partir de óxido de etileno y amoníaco de producción local, considerando diversos aspectos técnicos y económicos.

Materiales y Métodos

La investigación presentada fue de tipo descriptivo, ya que se estudió el comportamiento del proceso de acoplamiento de destilación reactiva en la producción de etanolaminas para la industria venezolana. En este sentido, los objetivos del estudio se encontraron orientados hacia la descripción de las características y conductas del proceso productivo desde el punto de vista técnico y económico. Con respecto al diseño de la investigación, este resultó tipo experimental, pues en la misma se utilizó la herramienta de simulación para estudiar el comportamiento del proceso productivo de etanolaminas mediante destilación reactiva. Para ello, se manipularon un conjunto de variables operativas controlables (pureza y flujos de alimentación, condición térmica, número de etapas, relación NH_3/EO , cantidad de Catalizador empleado) a fin de ver su efecto en los resultados del proceso productivo.

Para esta investigación se definió como unidad de análisis las materias primas comerciales utilizadas para la síntesis de las Etanolaminas, las cuales son el óxido de etileno y el amoníaco. En este sentido, se verificó la influencia de parámetros como los grados de pureza de las múltiples alimentaciones (materias primas) y el efecto que esto puede tener en el rendimiento global del proceso. Asimismo, a partir de lo antes mencionado, fueron estudiadas diversas configuraciones internas de la columna de destilación reactiva, las condiciones operativas, las relaciones de alimentación y reflujo, el tipo de catalizador y la cinética más adecuada a dichas condiciones. Así, con la finalidad de cumplir los objetivos planteados, se establecieron cuatro fases, las cuales son explicadas a continuación:

Fase I: Descripción de los límites de pureza y calidad de las corrientes de las materias primas del proceso de Destilación Reactiva para la producción de Etanolaminas

Con la finalidad de desarrollar la propuesta de una planta de producción de etanolaminas mediante destilación reactiva, fue de suma importancia conocer los requerimientos de pureza de cada una de las materias primas que alimentan el proceso, es decir, el amoníaco y el óxido de etileno. En este sentido, es importante mencionar que el principal objetivo de la investigación establece que las materias primas utilizadas son de naturaleza comercial, por lo cual su porcentaje de pureza no necesariamente es del 100%. Por tal motivo, fue necesario calcular el porcentaje de pureza de cada una de las corrientes consideradas, con la finalidad de determinar las corrientes más adecuadas para el proceso, con base en una revisión acerca de los efectos adversos que pudiera tener la presencia de ciertos contaminantes, en el rendimiento del proceso.

Fase II: Selección de las cinéticas válidas para las reacciones que ocurren en el proceso utilizando Catalizadores del mercado internacional

Como en todo proceso que involucre reacciones químicas a nivel industrial, fue importante seleccionar el tipo de catalizador que mejor se ajustara a las condiciones de reacción. En este sentido, para seleccionar el catalizador se debió realizar un balance técnico y económico de los beneficios y desventajas que tienen cada uno de los catalizadores propuestos.

Debido a lo antes mencionado, se realizó una lectura exhaustiva con la finalidad de seleccionar el catalizador más adecuado para la producción de Etanolaminas mediante destilación reactiva. Así mismo, una vez seleccionado el catalizador, se tuvo la necesidad de encontrar la cinética química que mejor se ajustara al proceso reactivo en presencia del catalizador seleccionado. De forma simultánea, en la literatura consultada se relaciona la aparición de reacciones laterales secundarias con la selección de catalizador. Por lo que, fue posible constatar aquellas Reacciones no deseadas que pudieran intervenir en el proceso

Fase III: Comparación de los esquemas de las diversas secciones del proceso de Destilación Reactiva para la producción de Etanolaminas

Una vez finalizada la selección del catalizador y el estudio de la cinética de las reacciones para la producción de Etanolaminas mediante destilación reactiva, se procedió a realizar una revisión de documentos, libros y artículos que permitieran la construcción de diversos esquemas operativos. De esta forma, se

estudiaron las distintas posibilidades de operación en cuanto a las condiciones de alimentación, operación y las características de los equipos involucrados en el proceso.

Primeramente, fue necesario especificar la data de las corrientes que alimentan los procesos involucrados. En este sentido, se establecieron los flujos requeridos para cada una de las materias primas comerciales que alimentan al proceso, así como la condición térmica a la que ingresan las mismas. Al respecto, fue importante establecer una adecuada relación de alimentación, dado que la misma es sumamente influyente en la distribución final de los productos. Asimismo, dicha relación se obtiene a partir de la expresión propuesta por Weizhong *et al.* [6], tal como se muestra a continuación:

$$NH_3 / EO = \frac{\dot{n}_{NH_3}}{\dot{n}_{EO}} \quad (1)$$

Se procedió a caracterizar los equipos que conforman el esquema. Para ello, fue necesario especificar el tipo de configuración interna de las columnas, así como el tipo de rehervidor y condensador que corresponde a cada una de las columnas utilizadas a lo largo del proceso. Del mismo modo, se especificaron las condiciones de operación de cada equipo, tales como las relaciones de reflujo de las columnas; así como, las presiones y temperaturas operativas. Es importante mencionar que, para la selección de dichas condiciones, fue de suma importancia considerar diversos aspectos como el rendimiento, la selectividad y la economía del proceso.

Posterior a la selección del esquema, se procedió introducir y simular el mismo con ayuda del simulador comercial Aspen Plus V8.8, con la finalidad de obtener el rendimiento del proceso y la distribución de los productos finales. Para ello, fue necesario introducir en dicho simulador todos los componentes que forman parte del proceso productivo, así como la selección del modelo termodinámico más adecuado para el sistema. Finalmente, una vez obtenidos los resultados de la simulación, se procedió a realizar un conjunto de análisis de sensibilidad, a partir de los cuales se logró describir el comportamiento del proceso al modificar o manipular un conjunto de variables.

Fase IV: Propuesta de un esquema que sea viable técnica y económicamente para la producción de Etanolaminas mediante Destilación Reactiva

Una vez, seleccionado el esquema y obtenidos los resultados arrojados por la simulación, se procedió a completar la propuesta para la planta de producción de etanolaminas mediante destilación reactiva, a partir de la determinación de la factibilidad técnica y económica para dicha planta. Es importante mencionar que, para acompañar el estudio de factibilidad, se realizó una simulación del proceso productivo convencional con efectos comparativos.

El estudio técnico estuvo enfocado en los balances de materia y energía obtenidos a partir de la simulación del esquema de destilación reactiva. Del mismo modo, a partir del balance de masa para el proceso, se procedió a calcular la selectividad (Ver Ec.2) obtenida para cada uno de los productos, recordando que el incremento de dicho parámetro es una de las principales razones para implementar el esquema de destilación reactiva.

$$S = \frac{\text{moles de productos deseados}}{\text{moles de OE reaccionados}} \cdot (F.E.) \quad (2)$$

Asimismo, se llevó a cabo un estudio de los requerimientos energéticos, el cual consistió en evaluar el balance de energía en el esquema de producción en términos de temperatura, calores transferidos por los equipos de calor y el uso de refrigerantes; todo esto con base en la metodología explicada por Weizhong *et al.* [6]. Por otro lado, se evaluaron las consideraciones pertinentes en cuanto a la localización más idónea para la instalación de la Planta Productora de Etanolaminas.

Para finalizar el estudio técnico, se obtuvo la capacidad de producción de la planta de producción de etanolaminas. La misma se calculó a partir de un estudio del mercado para las etanolaminas y los resultados extraídos de la simulación. Para ello, fue necesario tomar en consideración factores como el mercado capturable

y el porcentaje de capacidad productiva, todo esto conforme a las teorías planteadas por Rodríguez [8], quien expresa la capacidad de producción a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{tamaño} = \frac{\text{mercado capturable}}{\text{porcentaje de capacidad productiva}} \quad (3)$$

Por otro lado, el estudio económico fue llevado a cabo mediante el cálculo de los costos iniciales de inversión para la instalación de la planta, los ingresos y egresos que se generan a partir de la misma, su Valor Presente Neto (Ver Ec.4) y la Tasa Interna de Retorno; todo esto con ayuda de la construcción de hojas de cálculo en el programa Microsoft Excel. Por último, se realizó la comparación de los resultados obtenidos y se determinó si el proyecto es rentable económicamente.

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+K)^t} \quad (4)$$

Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados derivados de la ejecución de las fases plasmadas en el apartado sobre materiales y métodos. Dichos resultados fueron clasificados a partir de las mismas fases descritas con anterioridad. Asimismo, los datos, obtenidos a lo largo de la investigación, fueron plasmados mediante tablas y figuras con la finalidad de ilustrar con mayor facilidad y facilitar su posterior discusión, de este modo se obtuvieron los siguientes resultados:

Fase I: Descripción de los límites de pureza y calidad de las corrientes de las materias primas del proceso de Destilación Reactiva para la producción de Etanolaminas

Como ha sido previamente mencionado, en la presente investigación se emplearon corrientes comerciales para las dos principales materias primas del proceso de producción de etanolaminas. En este sentido, es importante mencionar que las corrientes de óxido de etileno estudiadas provienen de la Planta de Glicoles de la Empresa Productora de Alcoholes Hidratados, C.A. (PRALCA) y la mezcla de Esterilización comercializada por Praxair, Inc. Asimismo, las corrientes de amoníaco provienen del Complejo Ana María Campos (CAMC) ubicado en El Tablazo y de la empresa Fertilizantes Nitrogenados de Venezuela (Fertinitro), en el Complejo José; estando ambas empresas a cargo de la estatal Pequiven. Por último, en las Tablas 1 y 2 se mostró los datos de producción reportados por las empresas antes mencionadas, y, las condiciones a las que se obtienen cada una de estas corrientes.

Tabla 1. Condiciones de planta para la Corriente de Óxido de Etileno

PRALCA			
Composiciones Molares		Condiciones	
Componente	Porcentaje (%)	Temperatura	Presión
Agua	90	145°C	28 bar
Óxido de Etileno	10		
Praxair, Inc.			
Composiciones Másicas		Condiciones	
Componente	Porcentaje (%)	Temperatura	Presión
CO ₂	70	S/I	50 bar
Óxido de Etileno	30		

Barboza, Pérez y Gutierrez [7]

Como se observó, en la Tabla 1, la corriente de óxido de etileno de PRALCA se encuentra compuesta por 90% de agua y solamente 10% del óxido. Esto se debe a que dicha corriente es un producto intermedio en la producción de etilenglicol, el cual se produce en la misma planta haciendo reaccionar el óxido de etileno en presencia de un exceso de agua, lo que explica las proporciones evidenciadas por los datos de la corriente.

Por su parte, la corriente proveniente de Praxair, Inc. está compuesta por 70% de dióxido de carbono y únicamente 30% de óxido de etileno, ambos en peso. Esto se debe a que dicha corriente es un producto netamente comercial de la empresa, el cual es vendido en cilindros o tambores a presiones cercanas a los 50 *bares*; los cuales se utilizan como fuente de esterilización y desinfección mediante un proceso de alquilación disruptiva.

Tabla 2. Condiciones de planta para la Corriente de Amoníaco

CAMC			
Composiciones Molares		Condiciones	
Componente	Porcentaje (%)	Temperatura	Presión
Amoníaco	99.12	5°C	13.8 bar
Hidrógeno	0.54		
Agua	0.19		
Nitrógeno	0.12		
Metano	0.03		
Fertinitro			
Composiciones Másicas		Condiciones	
Componente	Porcentaje (%)	Temperatura	Presión
Amoníaco	99.60	S/I	S/I
Agua	0.40		

Barboza, Pérez y Gutierrez [7]

A partir de la Tabla 2 se evidenció que la corriente de amoníaco proveniente del Complejo Ana María Campos posee una fracción molar elevada del 99.12%, a diferencia de la corriente antes estudiada. Por otro lado, posee trazas de compuestos residuales típicos del proceso de obtención de amoníaco a partir del gas natural. En este sentido, se observó la presencia de nitrógeno (N₂), hidrógeno (H₂), metano (CH₄) y agua (H₂O); todos con porcentajes menores a la unidad. Por su parte, Fertinitro proporciona una corriente de amoníaco más pura con únicamente 0.40% de agua y el resto de amoníaco.

Una vez obtenidos los datos para la composición de las corrientes de alimentación, se procedió a determinar el porcentaje de pureza de cada uno de ellos, tomando como referencia el componente que simboliza la materia prima para la producción de etanolaminas (Óxido de Etileno y Amoníaco). En este sentido, una vez obtenidos los resultados para el porcentaje de pureza de cada una de las corrientes de materia prima (Tabla 3), se procedió a realizar una descripción de los resultados.

Tabla 3. Porcentajes de Pureza para las Corrientes de Alimentación

Materia Prima	Origen	Porcentaje de Pureza
Óxido de Etileno	PRALCA	21.37%
	Praxair, Inc.	30.0%
Amoníaco	CAMC	99.51%
	Fertinitro	99.60%

Barboza, Pérez y Gutierrez [7]

En este sentido, en la Tabla 3, se evidenció una vez más, el exceso de agua en la corriente de óxido de etileno proveniente de PRALCA, pues se obtuvo una pureza de apenas 21.37% lo que representa una proporción relativamente baja para alimentar el proceso de producción de etanolaminas. Por su parte, la corriente de óxido de etileno proveniente de Praxair, Inc. posee una pureza del 30%. Con respecto, a el amoníaco la corriente suministrada por Pequiven (CAMC) presentó una pureza de 99.51%, lo que significa que casi la totalidad de la corriente está compuesta de Amoníaco, como era de esperarse. Situación similar a la obtenida para la corriente proveniente de fertinitro, la cual es 99.60% pura en amoníaco.

Ahora bien, con base en lo antes descrito, se procedió a contrastar los resultados obtenidos, con la información expresada en la literatura acerca de la pureza óptima que deben tener las corrientes que alimentan al proceso de producción de Etanolaminas, así como también la influencia que podrían tener los contaminantes en el rendimiento del proceso.

Uno de los principales compuestos presentes en las corrientes de alimentación es el agua. Pues, a pesar de que el proceso de producción de etanolaminas utiliza agua como catalizador, el exceso de la misma conlleva efectos negativos al proceso. De esta forma, Zahedi *et al.* [2] comentan la importancia del contenido de agua alimentada al proceso catalítico como un parámetro para este proceso productivo. Cuanto mayor es la cantidad de agua que ingresa al proceso, menor es la temperatura y la presión a la que deben operar los equipos, pues actúa como elemento refrigerante dentro del reactor. No obstante, una cantidad excesivamente grande favorece la reacción secundaria de formación de etilenglicol, el cual en muchos casos es percibido como un compuesto que aminora la calidad de los productos finales.

De esta forma, se comprobó que, si bien el agua es un compuesto vital para la producción de etanolaminas, el exceso de la misma trae efectos negativos al proceso. En concordancia con lo antes mencionado, se tuvo la necesidad de someter la corriente de materia prima proveniente de PRALCA a un proceso de destilación, con la finalidad de pre-tratar el óxido de etileno, despojándola así del exceso de agua presente en la misma y los riesgos que esto podría conllevar.

Con respecto al dióxido de carbono, se sabe que el mismo interactúa con el óxido de etileno y las etanolaminas. Con respecto al óxido de etileno, se tiene que la presencia de CO_2 inhibe en gran medida la reactividad del mismo, lo que presenta un problema en la conversión de óxido de etileno a etanolaminas, por ende, afectando el rendimiento general del proceso. Por otro lado, las etanolaminas se utilizan para absorber gases ácidos contenidos en el gas natural. Por esta misma razón, la presencia de CO_2 provocaría que las aminas reaccionen para “endulzar” la corriente, provocando que se obtengan etanolaminas contaminadas e inhibidas reactivamente. Por tal motivo, la corriente proveniente de Praxair, Inc. se descartó como posible materia prima para el proceso de producción de etanolaminas.

Por otra parte, entre los contaminantes de la corriente de amoníaco provenientes de CAMC, se encuentra el hidrógeno. Este compuesto es causante de un fenómeno conocido como “Ataque por Hidrógeno a alta temperatura” o HTHA, además, puede conducir a una pérdida en las propiedades mecánicas debido a la descarburación de las superficies dentro de las columnas, reactores y otros recipientes, causados por el burbujeo de metano. No obstante, en la presente investigación, las bajas concentraciones presentes de hidrógeno son poco influyentes, por lo que el riesgo de HTHA es mínimo.

En este sentido, el metano es otro contaminante presente en la corriente de amoníaco. Es importante tener especial cuidado con este compuesto, dado que como menciona Levy [9], la existencia de metano en presencia de grandes cantidades de energía liberada por reacciones altamente exotérmicas puede producir la combustión del mismo bajo las condiciones apropiadas. Sin embargo, dado que la composición del mismo en la corriente era de un 0.03%, las condiciones para la existencia del riesgo de combustión no estuvieron dadas.

Tomando en consideración lo antes descrito, se pudo comprobar que la corriente de amoníaco suministrada por la empresa Fertinitro es la más adecuada para ser utilizada como materia prima para el proceso de producción de etanolaminas, pues la misma posee un alto grado de pureza y presenta el menor riesgo para el proceso.

Fase II: Selección de las cinéticas válidas para las reacciones que ocurren en el proceso utilizando Catalizadores del mercado internacional

Al momento de estudiar la cinética de las reacciones de formación de las etanolaminas, fue de suma importancia definir dos parámetros utilizados por los autores para describir y relacionar la cinética de las reacciones de síntesis en presencia de los distintos catalizadores. Dichos parámetros, se encuentran expresados en la literatura consultada y se presentan a continuación en las Ecuaciones 5 y 6.

$$\alpha = \frac{k_2}{k_1} \tag{5}$$

$$\beta = \frac{k_3}{k_1} \tag{6}$$

Actividad I. Revisión de la literatura relacionada con los Catalizadores

A continuación, se explican los resultados obtenidos para la selección del catalizador más adecuado para el proceso de producción de etanolaminas, así como la cinética asociada y el posible desarrollo de reacciones laterales durante el proceso catalítico. En este sentido, se consideraron tres tipos de catalizadores ampliamente utilizados en la industria a nivel internacional, estos son el agua, los catalizadores homogéneos de sales ácidas y los catalizadores en estado sólido.

- Catálisis con Agua

De acuerdo con Weizhong *et al.* [6], el agua representa el catalizador más utilizado en el proceso de producción de Etanolaminas, principalmente debido a su fácil acceso, gran estabilidad y fácil remoción de las mezclas finales de los productos. Por su parte, Fässler *et al.* [10] agregan que el volumen de agua empleado como catalizador es determinante para la economía del proceso, dado que un exceso de agua en el sistema conlleva a mayores gastos energéticos durante la separación de la misma. Por otro lado, Hammer *et al.* [11] comentan que el agua es utilizada como catalizador en los procesos de síntesis de etanolaminas, siendo el responsable de acelerar el proceso reactivo y por ende de disminuir el tiempo de residencia de los reactivos.

Una de las principales desventajas de la utilización de agua como catalizador, es la formación de etilenglicol, tal como comenta Cocuzza [12]. En este sentido, continua señalando que el etilenglicol es el responsable de contaminar las composiciones finales de monoetanolamina (MEA), principalmente debido a la difícil separación de estos dos compuestos. Además, reporta los valores de entre 2 a 5% en peso de etilenglicol en las corrientes de monoetanolamina purificada.

Con respecto a la cinética de las reacciones, los autores presentan diversas ecuaciones sujetas a un conjunto de condiciones de reacción. No obstante, a pesar de que se consultaron un gran número de fuentes, todas las ecuaciones observadas fueron recopiladas por Tsuneki *et al.* [13], tal como se observó en la Tabla 4, presentada a continuación:

Tabla 4. Lista de constantes de velocidad de reacción en medio acuoso

Teorías de	α	β	C_w (mol/L)
Potter y McLaughlin	6	4	18-30
Miki <i>et al.</i>	7.2-0.042C _w	16-0.22C _w	07-40
Ahn <i>et al.</i>	21.1-0.043C _w	16.4-0.25C _w	
Park <i>et al.</i>	8.51-0.051C _w	14.81-0.196C _w	
Tsuneki <i>et al.</i>	9.35-0.153C _w	8.51-0.135C _w	06-24

Nota: Tsuneki *et al.*[13]

En la Tabla 4, se apreció distintos modelos cinéticos utilizados por varios autores al desarrollar cálculos, experimentos o simulaciones sobre las reacciones de las etanolaminas, más específicamente para las reacciones 2 y 3; es decir, las Reacciones de Formación de la Dietanolamina (DEA) y la Trietanolamina (TEA).

También, es importante mencionar las expresiones propuestas por las investigaciones citadas poseen rangos de aplicación, por lo que la selección de la cinética más apropiada se llevó a cabo tomando en consideración dichas limitaciones. Por otro lado, Park *et al.* [14], desarrollaron mediante diversos experimentos, una expresión que permite calcular la constante cinética para la reacción 1, la misma se presenta a continuación:

$$k_1 = 7845e^{\left(\frac{-11500}{RT}\right)} \quad (7)$$

- Catalizadores Homogéneos de Sales Ácidas Débiles

Durante sus investigaciones acerca de la producción de etanolaminas, los autores descubrieron que las mismas pueden producirse a partir de amoníaco y óxido de etileno, en presencia de una sal de un ácido débil, como lo son el carbonato, el nitrato, el cloruro, el sulfato, el carboxilato y algunas sales de amonio. El estudio de estos catalizadores determinó, para todos los casos, que la cantidad a emplear del catalizador es excesivamente grande, por lo que resulta poco económico si se compara con los costos asociados al uso de agua como catalizador. Adicional a esto, se observó que la recuperación de los catalizadores se da de forma parcial, por lo que la pureza de las aminas finales puede verse comprometida. Debido a lo antes mencionado, estos catalizadores no se recomiendan a nivel industrial.

- Catalizadores Sólidos

Durante la década de 1950, Weibull [15] describió la reacción del óxido de etileno y el amoníaco en un sistema de reacción anhidro empleados, como catalizadores heterogéneos, resinas de intercambio catiónico saturadas con hidrógeno o amonio no cuaternario; y resinas aniónicas saturadas con ácidos orgánicos. No obstante, a lo largo de los ensayos se descubrió que estas resinas presentan inestabilidad a altas temperaturas y son propensas a descomponerse. Por otro lado, Johnson [16] ha propuesto compuestos ácidos inorgánicos como sílice-alúminas ácidas, zeolitas, tamices moleculares, arcillas ácidas u otros óxidos metálicos ácidos. No obstante, si bien los catalizadores mantuvieron su estabilidad al someterse a las altas temperaturas de reacción, estos fueron descartados a fines de la presente investigación, pues presentan una baja conversión de óxido de etileno y generan entre 10% y 60% en peso de productos indeseados.

Actividad II. Selección del Catalizador y la Cinética

Tomando en consideración lo expuesto, se seleccionó el agua como catalizador para el proceso de producción de etanolaminas de la presente investigación, en conjunto con la cinética presentada por Park *et al.* [14]. A pesar de que el agua presenta algunas desventajas, como lo son la formación de etilenglicol o posibles incrementos en los gastos energéticos, las ventajas que este proporciona son mayores a las observadas al utilizar los otros catalizadores. Una de las ventajas de utilizar agua como catalizador es que, se obtiene una alta selectividad hacia la MEA, sin comprometer la conversión del óxido de etileno, ni la pureza de los productos. Además, este catalizador es de fácil acceso y sus costos de adquisición no son elevados.

Fase III: Comparación de los esquemas de las diversas secciones del proceso de Destilación Reactiva para la producción de Etanolaminas

Previo a la presentación de una propuesta para el esquema de producción de etanolaminas mediante destilación reactiva, fue necesario estudiar y evaluar distintos modelos productivos basados en datos provistos por la literatura. De esta forma, se buscó seleccionar aquel proceso que permitiera obtener una óptima conversión de las materias primas, garantizando una alta selectividad y calidad de los productos finales.

Actividad I. Especificaciones de las Corrientes de Alimentación

Con la finalidad de determinar las especificaciones de las tres principales corrientes de alimentación, fue necesario consultar diversos autores que han desarrollado investigaciones acerca de plantas de producción de Etanolaminas. Asimismo, las investigaciones consultadas en la presente etapa fueron las desarrolladas por Zahedi *et al.* [2], Garg *et al.* [5] y Weizhong *et al.* [6]. De este modo, para ampliar la información recopilada a partir de cada una de estas investigaciones, se recomienda consultar el Trabajo Espacial de Grado desarrollado por Barboza y Pérez [7].

En este sentido, luego de la incursión en la literatura, se seleccionó el esquema presentado por Weizhong *et al.* [6], esto se debe a que determinaron que el valor óptimo para la relación molar de alimentación en un esquema de destilación reactiva es de 1.3. En este sentido, se alimentaron 326.5 kg/h de amoníaco fresco al 99,3 % en peso, a 45 °C y 30 bar de presión. Sin embargo, por efectos se reciclo la alimentación total de amoníaco a la columna, fue de 505 kg/h. Por otro lado, se ingresaban 1000 kg/h de óxido de etileno licuado a 19 bar y 50 °C, mientras que el agua fresca ingresaba a razón de 0.1 kg/h, con un total reciclado de 130 kg/h, a las condiciones antes descritas para el EO. También, constató que dicho esquema se encuentra optimizado para producir una mezcla de etanolaminas con una alta pureza de MEA, tal como se desea en la presente investigación.

Actividad II. Caracterización de las Columnas del Esquema Productivo

Luego de finalizar, la especificación de las corrientes que alimentan el proceso de producción de etanolaminas, se procedió a caracterizar las columnas que conforman el esquema. Del mismo modo, fue necesario especificar las condiciones de operación de dichos equipos, con la finalidad de completar la simulación del proceso productivo. Al momento de seleccionar dichas condiciones, fue de suma importancia considerar diversos aspectos como el rendimiento, la selectividad y la economía del proceso. En este sentido, el esquema estuvo compuesto por seis columnas de destilación (Figura 1), las cuales se simularon a partir de bloques de tipo RADFRAC, a través de los cuales fue posible detallar todos los procesos de destilación y destilación reactiva presentes en el esquema de la presente investigación.

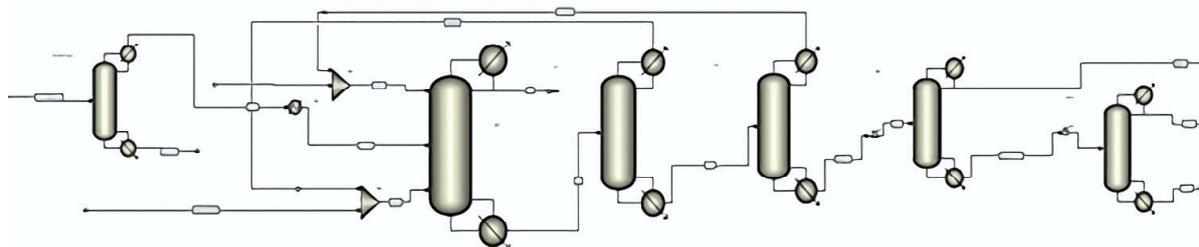


Figura 1. Esquema de Producción de Etanolaminas mediante Destilación Reactiva.

Barboza, Pérez y Gutierrez [7]

Tal como se observó en la Figura 1, el esquema consta de seis columnas, donde cada una posee una finalidad diferente, fue importante describir las características de las mismas, en cuanto al relleno de que estas poseen y el tipo de condensador y rehervidor más adecuado. Asimismo, se estableció la relación de reflujo óptima para los procesos, la presión de operación y el perfil de temperatura correspondiente a la misma. En este sentido, los autores comentan que la selección de estos elementos es de suma importancia para el rendimiento económico y energético de las columnas.

Una vez finalizada la incursión en la literatura, fue posible describir cada una de las Columnas de destilación que conforman el esquema de producción de etanolaminas mediante destilación reactiva. En este sentido, en la Tabla 5, se recopilaron los datos obtenidos para la caracterización de las columnas. La misma se hizo a fin de agrupar la información de forma que se facilitara su posterior introducción en la interfaz del simulador.

Tabla 5. Caracterización de las Columnas dentro del Esquema

Columna	ID Columna	Relleno Interno		Rehervidor		Condensador		Relación Reflujo	Presión operativa
		Platos	Empaques	Total	Parcial	Total	Parcial		
Deshidratador de OE	DH-EO	ü			✓		✓	4	1 bar
Columna de DR	DR	✓			✓	✓		Total	17 bar
Recuperador de NH ₃	C-I	✓			✓	✓		0.13	3 bar
Recuperador de Agua	C-II	✓			✓	ü		1.3	1 bar
Purificador de MEA	P-I		✓	✓		✓		1	0.03 bar
Purificador de DEA y TEA	P-II		✓	✓		✓		1	0.004 bar

Barboza, Pérez y Gutierrez [7]

En la Tabla 5, se observó diferentes configuraciones para cada una de las columnas que conforman el esquema productivo. En este sentido, la diversidad en las configuraciones se debe principalmente a que las condiciones de operación de las columnas se debieron seleccionar, de acuerdo a las características de las operaciones que se desarrollan en cada una de ellas, el tipo de compuesto que manejan y el grado de separación que se deseaba obtener.

Actividad III. Simulación del Proceso

Luego de la selección del esquema para la producción de las etanolaminas, mediante destilación reactiva, se utilizó el programa Aspen Plus v8.8 para desarrollar la simulación del mismo. En este sentido, el primer paso consistió en especificar los componentes que formarían parte del proceso de producción de etanolaminas. Así, se especificaron componentes tales como el óxido de etileno y el amoníaco, los cuales representan las materias primas del proceso; el agua utilizada como catalizador en fase líquida y las etanolaminas (Monoetanolamina, Dietanolamina y Trietanolamina), las cuales representan los principales productos del proceso de destilación reactiva.

Una vez introducidos los componentes en la interfaz del simulador, se procedió a seleccionar el Modelo Termodinámico que más que se ajustara a la naturaleza de dichos componentes. En este sentido, el sistema es un Sistema Polar No Ideal, con grandes diferencias en los tamaños moleculares de los componentes y altas presiones en las Columnas. Tomando en consideración lo antes mencionado, se utilizó el modelo UNIQUAC/Redlich-Kwong (UNIQUAC-RK). Asimismo, las propiedades fisicoquímicas necesarias para la simulación se tomaron como valores por defecto suministrados por Aspen Plus.

Luego de introducir los datos en el simulador, se procedió a correr la simulación del esquema propuesto. De este modo, se analizó el rendimiento global del proceso, a partir de un conjunto de tablas suministradas por el simulador, las cuales contienen los resultados para cada equipo y corriente resultante. Posteriormente, se procedió a realizar un conjunto de análisis de sensibilidad, los cuales permitieron describir el comportamiento del proceso al modificar o manipular un conjunto de variables.

- Análisis de Sensibilidad I: Plato de Alimentación del Óxido de Etileno a la Columna Reactiva

La ubicación del Plato de Alimentación determina la carga calorífica de los condensadores y rehervidores en las columnas de destilación, además puede variar las concentraciones afectando negativamente la selectividad. En este sentido, el análisis de sensibilidad consistió en variar la ubicación de la etapa de alimentación del óxido de etileno desde la Etapa 2, hasta la Etapa 15.

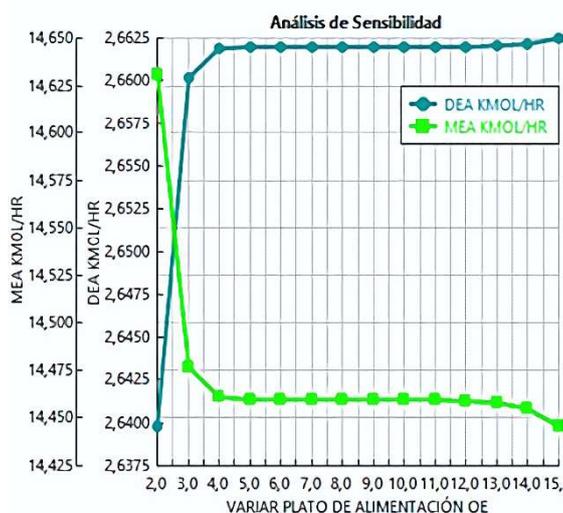


Figura 2. Análisis de Sensibilidad para el Plato de Alimentación del Óxido de Etileno.

Barboza, Pérez y Gutierrez [7]

La Figura 2, se mostró los flujos de MEA y DEA que se producen al variar el Plato de Alimentación del óxido de etileno. En este sentido, al descender el plato, la producción de MEA experimenta una pequeña disminución, mientras que la producción de DEA se incrementa. Debido a esto, se infiere que la selectividad hacia la MEA disminuye a medida que la alimentación descende. De modo que la selección inicial fue acertada de acuerdo con la teoría proporcionada por Weizhong *et al.* [6].

- Análisis de Sensibilidad II: Relación de Ebullición (Boilup Ratio) en la Columna Reactiva

La relación de ebullición representa el producto de fondo que es reingresado a la columna reactiva. En este sentido, se realizó un análisis de sensibilidad para determinar el valor óptimo dicha relación al variar su valor de 5.5. a 7; con la finalidad de ver su efecto en la temperatura del rehervidor y la generación de Monoetanolamina, tal como puede apreciarse en la Figura 3, a continuación:

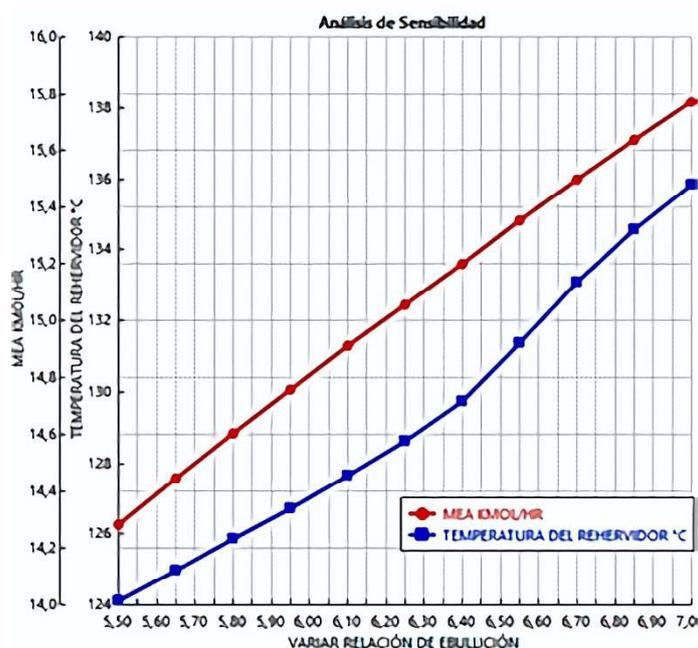


Figura 3. Análisis de Sensibilidad para la Relación de Ebullición.

Barboza, Pérez y Gutierrez [7]

Se evidenció en la Figura 3, la producción de monoetanolamina (rojo) se incrementa con el aumento de la relación de ebullición, principalmente debido al incremento de la concentración de amoníaco en la sección

reactiva. Por otro lado, a medida que aumenta el valor de dicha relación, se comprobó que la temperatura del rehervidor (azul) se incrementa hasta alrededor de 136 °C, por lo que no existen riesgos de decoloración de las etanolaminas al no sobrepasar los 180 °C. Por lo antes mencionado, el análisis de sensibilidad funcionó para determinar la relación óptima de ebullición para el esquema propuesto. En este sentido, se seleccionó un valor de 7.

- Análisis de Sensibilidad III: Presión Operativa de la Columna Reactiva

La presión operativa en una columna reactiva tiene un efecto significativo en la cinética de las reacciones que se desarrollan en la misma. En este sentido, se realizó un análisis de sensibilidad que permitió observar cómo varía la producción de monoetanolamina al variar la presión operativa entre 17 y 19 bar. A continuación, en la Figura 4 se observó los resultados obtenidos al simular el análisis de sensibilidad.

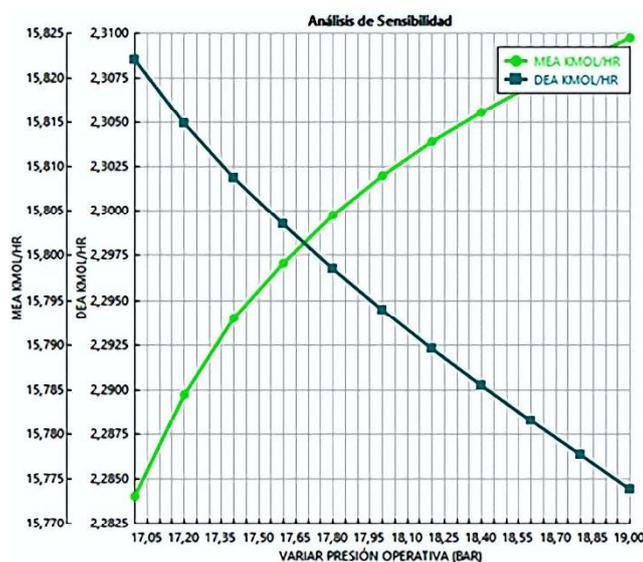


Figura 4. Análisis de Sensibilidad para la Presión Operativa

Barboza, Pérez y Gutierrez [7]

A partir de la Figura 4, se observó que, al aumentar la presión, se incrementa la cantidad de monoetanolamina producida, mientras que la cantidad de dietanolamina disminuye. Esto se debe principalmente a que se incrementan las velocidades de reacción de forma tal que baja la concentración del óxido de etileno en la zona reactiva. Por ende, se evidenció que el aumento de la presión es directamente proporcional al incremento de la selectividad hacia la MEA. No obstante, el incremento de la selectividad no es significativo en el rango considerado, por lo que se pudo confirmar que una presión de 17 bar es adecuada. Además, se sabe la temperatura del rehervidor aumenta a medida que se incrementa la presión, por lo que no es recomendable incrementar la presión de operación si se desean evitar problemas de coloración en las etanolaminas resultantes.

Fase IV: Comparación de los esquemas de las diversas secciones del proceso de Destilación Reactiva para la producción de Etanolaminas

Una vez seleccionado el esquema y obtenidos los resultados a partir de la simulación, se procedió a completar la propuesta para la planta de producción de etanolaminas mediante destilación reactiva, a partir de la determinación de la factibilidad técnica y económica para dicha planta. Es importante mencionar que para acompañar el estudio de factibilidad se realizó una simulación del proceso productivo convencional, de acuerdo con el esquema presentado por Weizhong *et al.* [6]. En este sentido, fue posible establecer comparaciones entre los resultados obtenidos para ambos casos, de forma tal que se pudieran validar los beneficios técnicos y económicos que ofrece el esquema de destilación reactiva.

Actividad I. Estudio Técnico

Tomando en consideración lo antes mencionado, el estudio técnico estuvo basado en los balances de materia y la selectividad, generados a partir de la simulación del esquema de destilación reactiva, seleccionado. Asimismo, de acuerdo con un estudio de mercado, se logró determinar la capacidad ideal para una planta de producción de etanolaminas y la localización ideal para la instalación de la misma.

- Balance de Materia y Selectividad

El balance de masa del proceso dio como resultado tres corrientes de productos. En este sentido, se obtuvo un porcentaje de pureza del 99.99% para las tres etanolaminas, MEA, DEA y TEA. Asimismo, el cálculo de la selectividad arrojó como resultado una selectividad para la trietanolamina de 10.2%, de 20.3% para la dietanolamina y, finalmente, 69.5% para la monoetanolamina. De esta forma, se evidenció que la destilación reactiva permite el incremento hacia la selectividad de dicho componente, pues el proceso convencional arrojó una selectividad de 54.1%.

Por otro lado, se concluyó que existen pequeñas desviaciones entre el presente esquema y el propuesto por Weizhong *et al.* [6] para el proceso de destilación reactiva. Las mismas pueden deberse a que los autores emplearon materias primas totalmente puras, a diferencia del presente esquema, en el cual fueron seleccionadas materias primas comerciales de la industria venezolana, las cuales contienen pequeñas impurezas. Por otro lado, los autores emplearon el lenguaje de programación FORTRAN para introducir una ruta cinética que permitiera la utilización de ecuaciones complejas en el Bloque RADFRAC dentro del simulador, cosa que no fue posible en la presente investigación.

- Capacidad de Producción

Para determinar la capacidad de producción de la planta de producción de etanolaminas fue necesario considerar las relaciones existentes entre la demanda y la oferta de las mismas, la disponibilidad de las materias primas, la tecnología a emplear y el porcentaje de capacidad de la misma. En este sentido, a partir del estudio de mercado acerca de las etanolaminas en Latinoamérica, se consideró destinar 1000 TMA al consumo venezolano, para Bolivia y Colombia de 40 y 900 TMA, respectivamente. Asimismo, se cubrió el 10% de la demanda de etanolaminas de Argentina (540 TMA) y el 4% de la demanda brasileña, es decir, 4900 TMA. Todo lo antes mencionado, arrojó como resultado una capacidad de 7380 toneladas métricas anuales de etanolaminas, inicialmente. Con aumentos programados del 10% anuales hasta alcanzar un total de 10600 toneladas métricas anuales.

- Localización

Para determinar la localización de la planta de producción de etanolaminas fue necesario hacer un análisis comparativo de los posibles puntos de localización, considerando que la construcción de dicha planta es un proyecto totalmente nuevo. En este sentido, de acuerdo con Rodríguez [8], para seleccionar el lugar más adecuado se deben de tomar en cuenta ciertos criterios, los cuales pueden profundizarse visitando Trabajo Especial de Grado de Barboza y Pérez [7].

En este sentido, se evaluaron dos propuestas, una de ellas consistió en ubicar dicha planta en las cercanías de las instalaciones productivas de la empresa Productora de Alcoholes Hidratados, C.A. (PRALCA). La otra opción considerada, consistió en localizar la planta en las cercanías del Complejo José Antonio Anzoátegui, en el cual se ubica Fertinitro. Tomando en cuenta esto, se seleccionó PRALCA como la ubicación ideal para la instalación de la planta de etanolaminas. Dicha propuesta requiere del transporte de amoníaco proveniente de Fertinitro, cuyo transporte resulta más seguro, económico y menos restrictivo en contraposición con la complejidad de transportar grandes cantidades de óxido de etileno inflamable.

Actividad II. Estudio Económico

El Estudio Económico del proceso se realizó a partir de los costos proporcionados por el programa Aspen Capital Cost Estimator (ACCE) del simulador Aspen Plus v8.8, acoplado a la construcción de hojas

de cálculo mediante Microsoft Excel. Así, se extrajeron diversos costos asociados a la planta con la finalidad de obtener el Costo de Inversión. De igual forma, se realizaron los cálculos correspondientes a los costos de producción, los ingresos y flujo neto de efectivo, el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR); cuyos resultados se discuten a continuación.

- Costo de Inversión y Costo de Producción (CTP)

Para obtener el costo total de inversión fue necesario considerar los costos de adquisición de cada uno de los equipos que componen el esquema de destilación reactiva, así como también el costo asociado a la instalación de los mismos (pintura, materiales de construcción, infraestructuras, aislamiento, electricidad, tuberías, entre otros). Por otro lado, fue necesario tomar en cuenta gastos de instrumentación, contratos, contingencia y otros gastos relacionados. Tomando en cuenta todos los parámetros antes mencionados, se obtuvo un costo total de inversión de 14833869.96 USD, de lo que resultó un 20.1% menos de gastos en contraposición a los 17810643.91 USD del proceso convencional.

Por su parte, el costo total de producción se realizó a partir de la sumatoria de diversos parámetros como lo son la materia prima, mano de obra, suministros, servicios, mantenimiento, laboratorio, investigación y desarrollo, mercadeo y gastos administrativos. En este sentido, se obtuvo un CTP de de 13703416.30 USD por período, lo que implica que el esquema de destilación reactiva supone un ahorro del 12.6% en gastos de producción (15426687.32 USD).

- Ingresos y Flujo Neto de Efectivo

El cálculo de los ingresos depende del costo de venta de las etanolaminas, la capacidad de producción de la planta y la eficiencia de la misma. Adicionalmente, el cálculo del flujo neto de efectivo se realizó a partir de la diferencia entre el CTP y los ingresos.

Para la determinación de los ingresos se utilizó un valor promedio para el costo de venta de las etanolaminas de 3500 USD/TM. De igual forma, la capacidad de la planta y el costo total de producción fueron previamente calculados, obteniéndose valores de 10600 TMA y 13703416.3 USD por período. De esta forma, se observó un ingreso estabilizado en un valor de 37100000 USD y el flujo neto de efectivo en 23396583.7 USD por período; a partir del año 4.

- Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno

Para el cálculo del VPN, se estableció un lapso de tiempo de 5 años, puesto que representa un período aceptable para estudiar el comportamiento monetario y el rendimiento de la inversión realizada. En este sentido, se seleccionó una tasa de interés del 30% a partir del valor recomendado por análisis de inversión propuesto por el simulador Aspen Plus. La principal razón para la adopción de este valor es la dificultad de calcular una tasa de interés razonable bajo la situación irregular que vive Venezuela, actualmente, en cuanto al entorno monetario.

De este modo, se obtuvo un valor presente neto de 27509404.24 USD, cuyo valor es mayor que cero. En este sentido y de acuerdo con lo expresado por Morales [17], dado que el VPN resultó ser mayor que cero, el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios. Por otro lado, una vez igualada la ecuación del VPN a 0 se obtuvo un valor de 100% para la Tasa Interna de Retorno. De igual forma, Arias [18] expresa que, dado que la tasa interna de retorno resultó mayor a la tasa de interés “k” de 30% elegida para el proyecto, el mismo es rentable y debe ser aceptado.

Conclusiones

- Se determinó que la corriente comercial de óxido de etileno proveniente de la empresa Productora de Alcoholes Hidratados, C.A. (PRALCA) y la corriente comercial de amoníaco proveniente de fertilizantes Nitrogenados de Venezuela (Fertinitro) son las más adecuadas para ser utilizadas como materias primas para el proceso.

- Se lograron determinar los límites de pureza de las corrientes comerciales de la industria venezolana, utilizadas como materia prima para el esquema de producción de etanolaminas. Asimismo, se describieron los posibles efectos que pudieran tener los diversos contaminantes en el rendimiento del proceso.
- Se calcularon los porcentajes de pureza para cada una de las corrientes seleccionadas. En este sentido, se obtuvo una Pureza de 99.51% para la corriente de amoníaco y de 21.37% para la corriente de óxido de etileno.
- Se seleccionó agua como catalizador debido a que presenta diversas ventajas frente a los otros catalizadores, como lo son su fácil acceso, baja contaminación de los productos finales y alta selectividad hacia la monoetanolamina. No fue necesario considerar reacciones secundarias, dado que, a las condiciones de concentración de los reactivos, la aparición de reacciones no deseadas es despreciable.
- La simulación del proceso arrojó como resultado una corriente de monoetanolamina con un 99.99% de pureza, dietanolamina con 99.99% de pureza y trietanolamina al 99.99%. Además, se obtuvo una selectividad para la MEA 69.5%.
- Se logró determinar que la capacidad total productiva de la planta de producción de etanolaminas es de 10600 toneladas métricas anuales, con períodos anuales de 8000 horas productivas.
- La localización ideal para la planta de producción de etanolaminas es en las cercanías de la empresa Productora de Alcoholes, C.A. (PRALCA).
- El estudio económico reveló que el costo de inversión para la propuesta es de 14833869.96 USD. Asimismo, los costos totales de producción son de 15426687.32 USD por período. Por su parte, los ingresos anuales estimados para una producción de 10600 TMA, son de 37100000 USD. Del mismo modo, se obtuvo un flujo neto de efectivo correspondiente de 23396583.7 USD por período.
- El cálculo del valor presente neto para el proyecto en un período de 5 años arrojó un valor de 27509404.24 USD, a lo que corresponde una tasa interna de retorno de 100%. Por lo que el proyecto se consideró como factible.

Referencias Bibliográficas

- [1] Frauenkron, M. Melder, J. Ruider, G. Rossbacher, R & Höke, H. [Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry: Ethanolamines and Propanolamines](#). 7a. Ed. Berlin, Alemania: Wiley,(2012).
- [2] Zahedi, G. Amraei, S. & Biglari, M. Simulation and Optimization of Ethanol Amine Production Plant. Korean Journal of Chemical Engineering, Vol. 26, No. 6, (2009), 1504-1511. DOI: 10.1007/s11814-009-0254-z.
- [3] Sakuth, M. Reusch, D. & Janowsky, R. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry: Reactive Distillation 7a. Ed. Berlin, Alemania: Wiley, (2012). DOI: 10.1002/14356007.
- [4] Hoyme, C. A Parametric Reactive Distillation Study: Economic Feasibility and Design Heuristics. (Trabajo Especial de Grado presentado para optar al título de Doctor en Filosofía con Especialización en Ingeniería Química, Universidad de Tennessee). Knoxville, Estados Unidos. (2006).
- [5] Garg, D. Shah, S. Okasinski, M. & Drayton, A. Process for Producing Alkanolamines. Pensilvania, Estados Unidos: Air Products and Chemicals, Inc. Patente: US 6,846,959 B2, (2005).
- [6] Weizhong, A. Liu, D. Zixin, L. Ran, A. & Haiyan, B. Simulation and Energy Consumption evaluation of Reactive Distillation Process for Ethanolamine Production. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.10730>.
- [7] Barboza, J. Pérez, M. y Gutiérrez Ch. Producción de Etanolaminas mediante Destilación Reactiva empleando Productos Comerciales de la Industria Venezolana. (Trabajo Especial de Grado en Ingeniería Química, [Universidad Rafael Urdaneta](#)). [Maracaibo, Venezuela](#). (2021).

[8] Rodríguez, A. Factibilidad Técnico Económica para la Instalación de una Planta Productora de Etanolaminas en La Costa Oriental del Lago de Maracaibo. (Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Químico, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo, Venezuela, (2014).

[9] Levy, A. Note on the Interaction of Methane and Water Vapor in the HydrogenOxygen Reaction. The Journal of Chemical Physics. Vol. 21, N° 12, (1953). <http://dx.doi.org/10.1063/1.1698799>.

[10] Fässler, P. Cost-efficient production of ethanolamines. Sulzer Chemtech, (2008). https://www.sulzer.com/-/media/files/products/process-technology/processes-and-applications/2008_3_12_faessler_e.ashx?la=en.

[11] Hammer, H. & Reutemann, W. Production of Ethanolamines. Ludwigshafen, Alemania: BASF Aktiengesellschaft. Patente: 5,545,757. (1996).

[12] Cocuzza, G. Process for the separation of Monoethanolamine, Diethanolamine, and Triethanolamine from Crude Ethanolamine Mixtures. Milan, Italia: Societa Italiana Resine S.I.R. S.P.A. Patente: 3,849,262. (1974).

[13] Tsuneki, H. & Moriya, A. Analysis and modeling of adiabatic reactor for monoethanolamine selective production, Chemical Engineering Journal, Vol.149, No. 1-3, (2009), 363-369. <https://www.journal.csj.jp/doi/pdf/10.1246/bcsj.80.1075>.

[14] Park, K. Park, T. & Lee, B. A Study on the Reaction Kinetics for Ethanolamines Synthesis. Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers, Vol. 23, No.6, (1985), 409-415. <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO198510102459910.page>.

[15] Weibull, G. Continuous Process for preparing Monoalkanolamines from Ammonia and Alkylene Oxides. Ornskoldsvik, Suecia: Mo och Aktiebolag. Patente: SE: 3,697,598. (1968).

[16] Johnson, F. Selective production of Monoalkanolamines from Alkylene Oxides and Ammonia over Acidic Inorganic Catalysts. Austin, Estados Unidos: Texaco Inc. Patente: 4,438,281. (1984).

[17] Morales, V. Economía: Valor Actual Neto (VAN). Economipedia, (2014). <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>.

[18] Arias, A. Economía: Tasa interna de retorno (TIR). Economipedia. (2014). <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>.

Notas Especiales

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Producción de Etanolaminas mediante Destilación Reactiva empleando Productos Comerciales de la Industria Venezolana, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.

Modelado del Tiempo de Reacción para Catalizadores Homogéneos en la Producción de Etanol

Modelling of the reaction time for homogeneous catalysts in the ethanol production

Aldo Chacín

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.
Email: aldodanicu@gmail.com

Jean Morles

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.
Email: jeanmorles21@gmail.com

Arelis Arrieta

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.
Email: ingarelisarrieta@gmail.com

Recibido: 07-06-2021

Aceptado: 06-06-2021

Resumen

El estudio tuvo como propósito determinar el tiempo de reacción para catalizadores homogéneos en la producción de etanol a partir de yaretanol mediante el modelado en un programa Microsoft Office Excel©. La investigación se realizó enmarcada en un enfoque descriptivo, considerado como un estudio no experimental, que presenta un diseño cuantitativo y cualitativo. La recolección de la información se obtuvo en cuatro (4) fases ejecutadas por los investigadores. Se aplicó la técnica de observación documental y como instrumento la recopilación de informaciones obtenidas de materiales bibliográficos y tecnológicos: mediante el diseño del programa en la hoja de cálculo Microsoft Office Excel© para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizaron y que están directamente vinculados con las reacciones homogéneas que cumplan con las condiciones del programa, de no cumplir con las condiciones se deben ajustar los parámetros para poder utilizar exitosamente el programa.

Palabras clave: Yaretanol, catalizadores, simulación, etanol.

Abstract

The purpose of the study was to determine the reaction time for homogeneous catalysts in the production of ethanol from yaretanol by means of the model in Microsoft Office Excel© program. The research was carried out within a descriptive approach, considered as a nonexperimental study, which presents a quantitative and qualitative design. The information collection was obtained in four (4) phases carried out by the researchers. The documentary observation technique was applied and the collection of information obtained from bibliographic and technological materials was applied as an instrument: through the design of the program in the Microsoft Office Excel© spreadsheet to calculate the reaction time of the homogeneous catalysts that are directly related to the homogeneous reactions that meet the conditions of the program, if the conditions are not met, the parameters must be adjusted to be able to use the program successfully.

Keywords: Yarethanol, catalytic converters, simulation, ethanol.

Introducción

Este artículo trata sobre el modelado del tiempo de reacción para catalizadores homogéneos en la producción de etanol, para lo cual fue necesario analizar y estudiar sistemas complejos que le permitieran reunir información pertinente sobre el comportamiento del sistema, porque se ejecuta un modelo computarizado y de acuerdo a los criterios de Winston [1, Pág.567] y limita el funcionamiento de un procedimiento del mundo real

cuando evoluciona en el tiempo, para estimar las medidas de desempeño del sistema modelado.

Referente a la intensificación de las catástrofes, que en la actualidad se atribuyen principalmente al calentamiento global, el cual estaría potenciado por la acumulación de gases invernaderos (Dióxido de Carbono, Metano, Óxido Nitroso y compuestos Halógenos), en la atmósfera y en donde la combustión de los derivados del crudo contribuye ampliamente a intensificar la problemática: siendo el petróleo, la principal fuente de energía a nivel industrial, que le aporta la pertinencia de este estudio, cuando se enfatiza en las preocupaciones ambientales de todas las naciones como factor de vida y aspecto clave dentro de los aspectos económicos de cada nación.

Desde esta perspectiva, en esta investigación se planteó la generación de alternativas energéticas distintas a las ya convencionales, obtenidas principalmente de la explotación del petróleo, que ha conllevado al uso de materias primas naturales, dando lugar a los llamados biocombustibles, dentro de los cuales destaca el bioetanol, que tiene las mismas características y composición química que el etanol, ya que se trata del mismo compuesto, sin embargo, la diferencia radica en su proceso de producción, como en este caso particular objeto de estudio.

A tal efecto, el bioetanol ha de ser obtenido desde biomásas azucaradas, amiláceas y celulósicas; no pudiendo obtenerse del petróleo; en consecuencia, Izquierdo Ma. C, et al [2,Pág.89] se refieren que los licores que se proceden de la fermentación del azúcar de alguna planta se pueden denominar como bioetanol, realizando para ello pretratamientos viables en cuanto al proceso, sin dejar de lado la factibilidad económica, la facilidad para la obtención de materias primas y tomando en cuenta el uso de microorganismos, hongos y/o bacterias modificadas, combinadas, entre otras, para la potencialización de estas en la fermentación de azúcares y posterior obtención de Bioetanol.

Siendo este, un alcohol altamente conocido en la industria de los alimentos, también puede utilizarse como biocombustible cuando su pureza es cercana al 100% o también puede mezclarse con gasolina en cantidades variables para reducir el consumo de los productos derivados del petróleo. Actualmente, los países de mayor producción y mejores alternativas en desarrollo de programas significativos para la fabricación de bioetanol como combustible son: Estados Unidos (a partir de maíz), Brasil y Colombia (ambos a partir de caña de azúcar).

En tal sentido, Brasil es considerado como el segundo productor de bioetanol del mundo, con 33,2% de participación en el mercado, detrás de Estados Unidos, responsable de 54,7% de la producción mundial, según datos de 2009; Colombia, en tanto, figura en el décimo lugar de países productores, con 0,4%, que hacen referencia de la pertinencia del uso del bioetanol como posible combustible en el futuro en el mundo. Comisión Económica para América Latina y el Caribe [3].

En este orden de ideas, el mundo se ha percatado de la necesidad de cambiar los patrones de producción y consumo de combustibles fósiles, sin sacrificar la producción de alimentos, ya que el petróleo, además de ser no renovable, su mal manejo ocasiona graves problemas a la naturaleza.; pero también es necesario luchar contra el hambre en el mundo: tarea para la ciencia y la tecnología; para pensar cómo superar estos problemas y, más bien, aumentar la producción de alimentos y fuentes de trabajo, objeto de este estudio al investigar el yaretanol o petróleo verde, un compuesto químico proveniente de un desecho líquido proveniente de la yuca amarga.

Sin embargo, debido al largo proceso que lleva a la obtención final del bioetanol a partir del yaretanol se aplicaron distintos catalizadores homogéneos y heterogéneos para determinar cuál de ellos resulta ser más eficiente y reduce el tiempo de producción, por lo que resulta significativo aclarar que este tipo de análisis sí se realiza de manera experimental es muy extenso debido a los largos períodos de prueba; por estas razones se desarrolla en esta oportunidad investigativa mediante un programa amigable basado en macroinstrucciones con el paquete de Microsoft Office Excel©, según los criterios de Mills W [4, Pág.456]. Ya que, este ahorra tiempo y disminuye el error, es de fácil acceso y uso, sin ningún costo agregado para la utilización del mismo.

Para dar respuesta al propósito del estudio al determinar el tiempo de reacción para catalizadores homogéneos en la producción de etanol a partir de yaretanol, es necesario aplicar un sistema modelado a través del programa Microsoft Office Excel: para establecer las cinéticas de reacción de los catalizadores homogéneos que se requieren para identificar los procedimientos requeridos en el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizaron.

En consecuencia, la labor científica de este estudio gira en torno a la producción de etanol, que ofrece diversas ventajas sobre los derivados del petróleo, como son los menores precios de las importaciones, y a nivel económico la disminución en el costo del combustible, mayor seguridad energética de los países, así como socialmente la reducción de la contaminación, puesto que se ha comprobado que en términos de generación de gases invernaderos, el etanol reduce la producción de estos gases invernaderos los cuales se generan con la gasolina.

Así mismo, su relevancia examinada, determina que el uso de etanol para ser mezclado con la gasolina no ha tenido ningún efecto negativo en los motores de los automóviles, siendo un oxigenante de la gasolina, que mejora su octanaje de manera considerable y a su vez también reemplaza aditivos nocivos para la salud humana: y el propósito de este estudio es comprobarlo a través de la validación del programa propuesto para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizaron.

Materiales y Métodos

Esta investigación se desarrolló considerando algunas bibliografías claves, procedente de publicaciones de revistas, artículos, información sobre el programa Microsoft Office Excel con una versión electrónica, teorías, así como trabajos de grado, constituyéndose en un compendio de información, sobre criterios, diseño y operación de equipos (computadora), en conjunto con resultados de estudios previos, permitiendo facilidad para desarrollar un modelo de simulación del tiempo de reacción para catalizadores homogéneos en la producción de Etanol.

Para la elaboración de este artículo se manejó el programa Microsoft Office Excel desde una versión electrónica que ejecuta en una hoja de papel tabulada, que consiste en numerosas filas y columnas, la intersección de una fila y una columna se denomina celda, que representa la unidad básica de la hoja de cálculo donde se introduce en una celda, los tipos de datos que puedes escribirse que son: alfanuméricos, fecha, hora, fórmulas, entre otros aspectos de interés para un usuario determinado; otra gran ventaja que tiene Microsoft Office Excel, como la habilidad de poder ser utilizado por el usuario y crear sus propias fórmulas usando la programación de Visual Basic para Aplicaciones, con en este caso particular objeto de estudio.

Dicha herramienta tecnológica fue de gran significación para la simulación del tiempo de reacción requerido para catalizadores homogéneos en la producción de etanol, de una manera óptima y eficiente, sumado a esto también se empleó una interfaz gráfica, facilitando tanto el ingreso de datos como la interpretación de los resultados; para elaborar gráficas comparando el proceso a diferentes condiciones de operación. Para cumplir los objetivos previamente mencionados se llevaron a cabo estas cuatro (4), experiencias:

Establecimiento de las cinéticas de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizaron

En esta fase para el establecimiento de los distintos tipos de cinética requeridos para la reacción adecuada, se basaron en los fundamentos, parámetros y conceptos básicos; para lo cual la información fue obtenida mediante la búsqueda bibliográfica, se comparó entre sí, y se procedió a seleccionar los autores que sus teorías otorgaban una información más completa acerca de cinética de reacciones químicas; debido a que en esta investigación de acuerdo a su objeto de estudio se requirieron aspectos del comportamiento de las reacciones de los catalizadores y la variación de su velocidad, para lo cual se planteó la cinética de reacciones homogéneas, que para desarrollarlas se necesitó de la revisión de las siguientes consideraciones para la realización del programa Microsoft Office Excel cuyos materiales requeridos fueron las siguientes:

1. La condición obligatoria que el diseño debió cumplir para su implementación del modelo de simulaciones: es la hoja de cálculo Excel® mediante la plataforma Microsoft Office, fue de fácil manejo, y accesible con el usuario investigador, y acorde a los requerimientos que la cinética de reacción implica.

2. Se evidenció que el programa de cálculo Excel solo sirve para reacciones homogéneas que cumplen con las condiciones del programa. De lo contrario se debe ajustar los parámetros para utilizar exitosamente esta herramienta tecnológica en la ingeniería química.

3. Las unidades utilizadas fueron las del sistema internacional, para obtener los datos en otras unidades que se debieron realizar en la conversión antes de entrar al programa de cálculo Excel®, para evitar resultados errados.

4. Fue necesario conocer por parte del usuario investigador los datos de la reacción pedidos por la hoja de cálculo para la correcta ejecución del programa.

Identificación de los procedimientos para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos que se emplearon

En esta fase se debió producir la identificación de los procedimientos para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizaron; para lo cual se elaboró un procedimiento de tratamiento de la información paso a paso para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos creando una secuencia lógica de cálculo que facilitó el entendimiento de los mismos, esto se basó en la bibliografía evaluada en la fase 1, que se organizó de manera ordenada y secuencial en cada paso del estudio; en tal sentido, para lograr este objetivo se elaboró un procedimiento paso a paso creando una secuencia lógica de cálculo Excel que facilitó el entendimiento de los mismos; a pesar de ser no muy extenso, suele ser algo complicado debido a la facilidad con la cual puede ser alterada una reacción química, tal como sucedió en la ley de velocidad en función de la concentración de las sustancias que toman parte en la reacción y que normalmente tiene la forma. Se provocó mediante la siguiente ecuación detallada a continuación:

$$v = k [\text{REACTIVO}]^x$$

Ecuación. Ley de velocidad en función de la concentración de las sustancias en reacción

Donde:

v = Velocidad de reacción.

[Reactivo] = concentración del reactivo.

x = Orden de reacción.

De allí, que para la determinación de la velocidad de reacción fue necesario conocer el orden de la reacción que se está evaluando, aquí se muestra las diferentes formas se puede tomar la ley de velocidad. Izquierdo [5]. Tomando como referencia la Tabla 1 de la Ley de velocidad integrada referida a continuación:

Tabla 1. Ley de velocidad integrada

Ley de velocidad	Forma integrada
$v = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]^0 = k$	$[A] = [A]_0 - kt$
$v = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]$	$\ln \frac{[A]}{[A]_0} = -kt$
$v = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]^2$	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$
$v = \frac{-d[A][B]}{dt} = k[A][B]$	$\frac{1}{[A]_0 - [B]_0} \ln \frac{[B]_0 [A]}{[A]_0 [B]} = kt$
$v = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]^n$	$\frac{1}{[A]^{(n-1)}} = \frac{1}{([A]_0^{(n-1)})} + (n-1)kt$

Dónde:

$[A] = [B]$ Concentración de reactivo en un tiempo.

$[A]_0 = [B]_0$ Concentración inicial del reactivo.

$t_{1/2}$ Tiempo de vida media.

De igual manera, al aplicar la ecuación Arrhenius se demostró que los datos de la constante k (T) para muchas reacciones podían ajustarse por medio de la ecuación, la cual es muy importante, ya que esta determina la constante de velocidad y energía de activación de las reacciones, según esta ecuación presentada a continuación:

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}}$$

Ecuación. Arrhenius

Dónde:

K = Constante de velocidad.

T = Temperatura absoluta.

R = Constante universal de los gases.

E_a = Energía de activación de Arrhenius.

A = Factor pre-exponencial o el factor A de Arrhenius.

Nota: A y E_a son constantes características de la reacción. Las unidades de A son las mismas que las de k. Las unidades de la E_a son generalmente k cal/mol o k J/mol.

Desde este contexto, la ecuación de Arrhenius en forma logarítmica, se obtiene de la ecuación de una recta teniendo como pendiente $(-E_a/R)$, la cual es usada para obtener gráficamente la energía de activación, a través de esta ecuación que se sintetiza a continuación:

$$\ln k = \left(-\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) + \ln A$$

Ecuación. Ecuación de Arrhenius en forma logarítmica

Dónde:

K = Constante de velocidad.

T = temperatura absoluta.

R = Constante universal de los gases.

E_a = Energía de activación de Arrhenius.

A = Factor pre-exponencial o el factor A de Arrhenius.

La constante de Arrhenius permitió concluir que también es útil también para determinar el valor de la constante de velocidad de una misma reacción a otra temperatura; la cual se sustituye en la ecuación de Arrhenius los valores de K_1 ; T_1 y K_2 ; T_2 , para dos casos hipotéticos, especificada en la ecuación siguiente:

$$\ln\left(\frac{k_1}{k_2}\right) = \left(\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

Ecuación. Valor de la constante de velocidad en una misma reacción a otra temperatura

Dónde:

K_1 = Constante de velocidad a la temperatura 1 (T_1).

K_2 = Constante de velocidad a la temperatura 2 (T_2).

T_1 = temperatura absoluta (T_1).

T_2 = temperatura absoluta (T_2).

R = Constante universal de los gases.

E_a = Energía de activación de Arrhenius.

La velocidad de reacción se define entonces como la variación de moles de A en el tiempo, con la siguiente ecuación:

$$r_A = -\frac{1}{V} \left(\frac{dN_A}{dt} \right)_{reacción} = \frac{(\text{moles de } A \text{ que desaparecen por reacción})}{(\text{unidad de volumen})(\text{unidad de volumen})}$$

Ecuación. Variación de los moles en el tiempo

En consecuencia, en los sistemas homogéneos la velocidad de reacción depende de la composición de las sustancias en la fase considerada de esta forma se ve expresada en función de quien está actuando la velocidad de reacción, tal como detalla en la siguiente ecuación.

$$r_A = f(\text{temperatura, composición})$$

Ecuación. Composición de sustancias

En este orden de ideas, las condiciones isotérmicas son la expresión para la velocidad de reacción que esté constituida por dos factores: uno dependiente exclusivamente de la concentración y otro dependiente exclusivamente de la temperatura, en la siguiente ecuación:

$$r_A = k \times f'(\text{composición})$$

Ecuación. Condiciones isotérmicas para la velocidad de reacción

Donde:

k = Se denomina constante cinética de la reacción.

r_A = Expresión de la ecuación cinética.

La Expresión de Arrhenius de dependencia con la temperatura que se puede traducir tal como se detalla en la ecuación siguiente:

$$k = k_0 e^{-E_a/RT}$$

Ecuación de Arrhenius de dependencia con la temperatura

Dónde:

k_0 = Independiente de la temperatura,

E_a = Energía de activación de la reacción

R = Constante universal de los gases.

Donde la ecuación de equilibrio para la reacción indica que muchas estas reacciones reversibles pueden considerarse como una combinación de dos reacciones elementales, una en sentido directo y otra en sentido inverso, tal como se distingue en la siguiente ecuación:

$$K_{eq} = \frac{k_1}{k_2} = \left[\frac{C_R C_S}{C_A C_B} \right]_{equilibrio}$$

Ecuación. De equilibrio para la reacción

Donde:

K_{eq} = Constante de equilibrio para esta reacción reversible compuesta por dos reacciones elementales.

K_1 = Constante de velocidad de la reacción directa.

K_2 = Constante de velocidad de la reacción inversa.

Y, donde la variable termodinámica es la constante de equilibrio que está relacionada también con variables termodinámicas, según la siguiente ecuación:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

Ecuación. Variable termodinámica

Donde:

ΔG = Variación de energía libre en la reacción.

R = Constante universal de los gases.

T = Temperatura absoluta.

Diseño del programa en la hoja de cálculo Microsoft Office Excel por medio de la temperatura para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizarán

Una vez identificados los criterios y fórmulas a utilizar, se procedió a estructurar el modelo de simulación en hoja de cálculo Microsoft Office Excel, mediante el empleo del simulacro en la función programador; para la realización de dicho modelo, fue necesario la revisión documental, también tuvo mucha importancia y vitalidad en el proceso investigativo conocer la herramienta principal para la elaboración de la misma, es decir, el programa Microsoft Office Excel, el cual es una herramienta accesible, ya que no necesita de instaladores secundarios, códigos de acceso, o compra de patentes, solo un ordenador que tenga instalado el paquete Microsoft Office Excel.

Es decir, el uso de estas hojas de cálculo para formular programas que permitan realizar cálculos rigurosos de manera automática mediante macros y el lenguaje VBA (Visual Basic for Applications), tal como el que fue el empleado en esta investigación, y ya familiarizados con la hoja de cálculo, se procedió a darle forma según los datos necesarios para el cálculo y los que fueron calculados de forma automática por el modelo de simulación, introduciendo las ecuaciones reflejadas según metodología de cálculo para obtener los resultados de dicha simulación.

Validación del programa propuesto para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizaron

En esta fase se verificaron los resultados arrojados por el modelo propuesto, con el objeto de validar los resultados obtenidos, se tomaron ejercicios de la bibliografía y se resolvieron mediante el modelo de simulación, comparándose con los valores dados por la literatura seleccionada y calculando el porcentaje de desviación; es decir, implementar en este estudio significa entonces que el modelo aplicado en esta investigación fue numéricamente tratable en el programa Microsoft Office Excel, y se pudieron producir los resultados esperados en tiempos adecuados a la finalidad perseguida por la simulación.

Resultados y Discusión

Establecer las cinéticas de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizaron

En esta primera fase del presente de la investigación se estudiaron y analizaron los requerimientos teóricos sobre cómo establecer los distintos tipos de cinética de reacción adecuadamente para el cálculo del tiempo de reacción de los catalizadores, cabe destacar que solo se planteó la cinética de reacciones homogéneas, ya que de esa manera fue delimitado dicho trabajo especial de grado, para más adelante desarrollar la hoja de cálculo; como resultado de estas consideraciones para la realización de este programa fueron las siguientes:

- Las condiciones obligatorias que el diseño debe cumplir (la hoja de cálculo), según los requerimientos que la cinética de reacción así lo implique.
- La utilización de una hoja de cálculo Excel de la plataforma Microsoft Office, es debido a que este programa es de fácil manejo, accesible todas las personas y amigable con el usuario.
- El programa de cálculo solo servirá para reacciones homogéneas que cumplan con las condiciones del programa, de no cumplir con las condiciones se deben ajustar los parámetros para poder utilizar exitosamente el programa.
- Las unidades utilizadas son las del sistema internacional, de poseer los datos en otras unidades se debe realizar la conversión antes de entrar al programa, esto para evitar resultados errados.
- Se deben conocer los datos de la reacción pedidos por la hoja de cálculo para la correcta ejecución del programa.

Identificación los procedimientos para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizaron

En esta fase se elaboró un procedimiento paso a paso creando una secuencia lógica de cálculo que facilitó el entendimiento de los mismos; a pesar de ser no muy extenso, suele ser algo complicado debido a la facilidad con la cual puede ser alterada una reacción química; de allí, que para la determinación de la velocidad de reacción fue necesario conocer el orden de la reacción que se está evaluando, aquí se muestra las diferentes formas se puede tomar la Ley de Velocidad, mediante formas integradas de las leyes de velocidad dependiendo del orden de la reacción de la Ley de Velocidad integrada, además al aplicar la Ecuación de Arrhenius se demostró que los datos de la constante $k(T)$ para muchas reacciones podían ajustarse por medio de la ecuación, la cual es muy importante, ya que esta determina la constante de velocidad y energía de activación de las

reacciones. A continuación, se muestra la tabla utilizada para la determinación de la velocidad de reacción, en la cual fue necesario conocer el orden de la reacción que se evalúa, aquí se muestra las diferentes formas que puede tomar la Ley de Velocidad.

En cuanto a la disertación y aplicación de la ecuación de Arrhenius demostró que los datos de la constante $k(T)$, para muchas reacciones podían ajustarse por medio de la ecuación, la cual es muy importante ya que esta determina la constante de velocidad y energía de activación de las reacciones; de igual forma para las reacciones con diferencia de temperatura, la constante de Arrhenius es útil también para determinar el valor de la constante de velocidad de una misma reacción a otra temperatura, la cual se sustituye en la ecuación de Arrhenius los valores de $K_1; T_1$ y $K_2; T_2$; para dos casos hipotéticos; de allí que la velocidad de reacción se define entonces como la variación de moles de A en el tiempo.

Referente al sistema homogéneo la velocidad de reacción depende de la composición de las sustancias en la fase considerada de esta forma se ve expresada en función de quien está actuando la velocidad de reacción, y cuyas condiciones isotérmicas de velocidad de reacción; son expresión para la velocidad de reacción que esté constituida por dos factores: uno dependiente exclusivamente de la concentración y otro dependiente exclusivamente de la temperatura; en cuanto al equilibrio de reacción muchas de estas reacciones reversibles pueden considerarse como una combinación de dos reacciones elementales, una en sentido directo y otra en sentido inverso, y donde la constante de equilibrio está relacionada también con variables termodinámicas

Diseño del programa en la hoja de cálculo Microsoft Office Excel© por medio de la temperatura para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizaran.

En esta etapa se diseñó el programa propuesto el cual cuenta con una serie de pasos para su correcta utilidad

Desarrollo de la hoja de cálculo

Para la estructuración adecuada de la hoja de cálculo, se requirió establecer previamente los datos necesarios para la realización de la simulación y los resultados que se obtendrán la simulación cuenta únicamente con una hoja, ya que en ella misma nos da los resultados de la simulación.

Datos

Inicialmente, se colocaron los datos a ser ingresados por el usuario o mejor conocidos como requerimientos de manera organizada en el modelo de simulación, identificados por el recuadro amarillo, ya que estos valores son los necesarios para el funcionamiento del procedimiento de cálculo, cada una de las fórmulas implicadas en el procedimiento fue ingresada una a una, de forma organizada y secuencial, porque entre ellas existen valores que son requeridos por otras fórmulas.

Resultados

Las características a ser calculadas con el modelo de simulación y que son resultados obtenidos por este, están identificadas en el recuadro de color amarillo.

Los datos que serán obtenidos son:

- Inversa de temperatura ($1/T$)
- Logaritmo Natural de K ($\ln K$)
- Grafico comportamiento de Arrhenius
- Energía de activación
- Coeficiente de Arrhenius
- Valores de la constante cinética a diferentes Temperaturas

- Energía de activación con “A” constante a determinada temperatura.
- Diferencia entre las energías de activación “Con – Sin catalizador”

Una vez ingresadas todos los valores necesarios para la determinación de tiempo de reacción, se verificó el funcionamiento adecuado del modelo de simulación elaborado, lo cual consistió en ingresar datos en la hoja de cálculo para obtener resultados.

De esta manera queda estructurada la simulación propuesta que por medio de cálculos rápidos y sencillos nos permitirá ahorrar tiempo y dinero en experimentos.

Validación el programa propuesto para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos que se utilizaron.

En vez terminada la simulación se procedió a realizar la validación del mismo, ya que este nos permite ver la veracidad de nuestros valores, esto se realizó con una serie de ejemplos propuestos.

Ejemplo 1: Se muestra a continuación una serie de tablas (T vs. K). Las cuales nos indican los parámetros que utilizaremos para la simulación para así poder validar la simulación, determinar mediante la simulación planteada en este estudio cuál de los siguientes catalizadores genera la menor energía de activación para la producción de etanol (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Datos T vs K de Etanol

T (K)	K
333,15	5,07E-05
343,15	3,35E-04
353,15	8,13E-03
363,15	1,19E-01

1. Hidróxido de Sodio (NaOH)

Tabla 2. Datos T vs K de NaOH

T (K)	K
333,15	8,32E-04
343,15	4,11E-04
353,15	6,31E-03
363,15	4,76E-03

2. Hidróxido de Potasio (KOH)

Tabla 3. Datos T vs K de KOH

T (K)	K
333.15	4.60E-03
343.15	3.59E-03
353.15	2.49E-02
363.15	2.70E-02

3. Ácido sulfúrico (H₂SO₄)

Tabla 4. Datos T vs K de H₂SO₄

T (K)	K
333.15	4.59E-03
343.15	7.44E-03
353.15	3.56E-02
363.15	5.37E-02

4. Ácido Clorhídrico (HCl)

Tabla 5. Datos T vs K de HCl

T (K)	K
333,15	5,59E-03
343,15	7,44E-03
353,15	2,56E-02
363,15	3,37E-02

5. Ácido Fosfórico (H₂PO₄).

Tabla 6. Datos T vs K de H₂PO₄

T (K)	K
333,15	8,25E-03
343,15	5,33E-03
353,15	5,99E-02
363,15	3,67E-02

Tabla 7. Resultados obtenidos de la simulación.

Compuesto	Ecuación de línea recta	Energía de activación (J/mol)	Factor A de Arrhenius	Energía de Activación a 358.15 K	Diferencia Kcon/Ksin Catalizador
Etanol	y=10816x+26.963	21491.39	5.12722E+11	89924.224	-
Hidróxido de Sodio	y=-9596.8x+21.268	19068.84	1724149979	79787.795	30.089
Hidróxido de Potasio	y=-8733.2x+20.531	17352.86	825087500.6	72607.825	335.43
Ácido sulfúrico	y=-9377.5x+22.787	18633.09	7875322711	77964.535	55.50
Ácido Clorhídrico	y=-8005.8x+18.733	15907.52	136659091.6	66560.221	2556.22
Ácido Fosfórico	y=-8336.3x+19.931	16564.22	452817621.1	69307.998	1016.01

Ejemplo 2: En el hidrólisis alcalino de metilo se encontró que la constante de velocidad variaba con la temperatura según de muestra en los siguientes datos:

Tabla 8. Resultados obtenidos de la simulación

T (K)	K(mol/L).S ⁻¹
293	0.135
298	0.186
303	0.259
308	0.358

Calcular: La ecuación de la línea recta, la energía de activación y el factor pre-exponencial de Arrhenius.

Tabla 9. Resultados obtenidos de la simulación

	Ecuación de línea recta	Energía de activación (J/mol)	Factor A de Arrhenius
Ejercicio planteado	y=-5877.1x+18.049	11754.01	68958012.82
Simulación	y=-5877.1x+18.049	11677.79	68957435.82

Con estos ejemplos propuestos se observó el funcionamiento del simulador arrojando que es adecuado y que sus resultados cumplen la veracidad y las variaciones. Además, permite considerarse pequeñas desviaciones o mal manejo de la información por parte del operador.

Conclusiones

En esta investigación se encontró con respecto al establecimiento de las cinéticas de reacción del tipo de catalizador homogéneo utilizado: existen diversos tipos de procesos por los cuales pueden llevarse a cabo el equilibrio de las reacciones, a través de un procedimiento de modelado para lograr con la simulación, la información fue suministrada paso a paso para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos creando una secuencia lógica de cálculo facilitando así el entendimiento de los mismos.

Se identificaron los procedimientos para el cálculo de tiempo de reacción de los catalizadores homogéneos empleados; el modelado de procesos químicos como una práctica de simulación, para este se empleó la ecuación de Arrhenius que actúa como el objeto real modelado en cuanto a la imitación de ciertas características, pero su uso evita experimentos reales que pueden ser costosos y lentos; usados en el diseño del proceso, que en este estudio se aplica en función al objeto de estudio: representado por el tiempo de reacción para catalizadores homogéneos en la producción de Etanol, donde se enfocó únicamente en el procedimiento y parámetros de cálculo exclusivo de tales catalizadores, en el transcurso de toda la investigación. A tal efecto, la simulación llevada a cabo concede el fácil procesamiento de las variables de proceso al operador de la versión tecnológica de Excel. Esto se debe a la facilidad con la cual son afectadas las variables de una reacción química, el procedimiento de cálculo propuesto no es infalible, y depende en primer lugar de la veracidad de los datos suministrados y en segundo lugar del criterio del investigador como diseñador de sus aportes científicos.

Referencias Bibliográfica

- [1]. Winston Wayne L. Investigación de Operaciones. Grupo Editorial Iberoamérica. México, (1994).
- [2]. Izquierdo, Ma. C., Peral, F., De la Plaza, Ma. A., Troitiño, Ma. D. Evolución histórica de los principios de la química Editorial UNEC. Madrid, (2013).
- [3] Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Estudio Regional sobre Economía de los Biocombustibles 2010: Temas clave para América Latina y el Caribe. Comunicado de Prensa. Naciones Unidas, (2009).
- [4] Mills, William R. Microsoft Office Excel 2007. Una guía para principiantes. Editorial LIBERTY Drive-. Estados Unidos, (2010).
- [5] Izquierdo, J. Cinética de las Reacciones Químicas. Ediciones UNIVERS. Barcelona España, (2004).

Nota Especial

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Modelado del tiempo de reacción para catalizadores homogéneos en la producción de Etanol, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela

Normas para la presentación de trabajos científicos

1. La **Revista Tecnocientífica URU** es una publicación arbitrada y de divulgación adscrita a la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista de difusión científica, contentiva de artículos de investigación originales e inéditos en las áreas de Ingeniería Química, Civil, Eléctrica, Computación, Telecomunicaciones, Industrial, Producción Animal, Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con estas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación que se presenta a continuación:
2. **Envío de trabajos.** Los autores deben enviar el trabajo, a la Revista, con una CARTA DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHO DE AUTOR firmado por (los) autor(es), al siguiente correo electrónico: tecnocientifica@uru.edu o en su defecto, consignar la carta en la Dirección del Fondo Editorial, ubicada en el Edificio de Biblioteca, oficina B2-02. En caso de que, el trabajo sea derivado de Trabajo Especial de Grado de la Universidad Rafael Urdaneta y con recomendación a publicación, la Escuela correspondiente gestionará el envío del mismo.
3. **Tipos de trabajos.** Se aceptarán para la publicación trabajos científicos originales e inéditos. No se aceptan PrePrint o material enviado a otro órgano de divulgación científica. Los trabajos se recibirán con una extensión de un máximo de quince (15) páginas y en documento editable, escrito en MICROSOFT OFFICE WORD. Se consideran trabajos científicos los siguientes:
 - 3.1 Artículos de investigación son trabajos que plantean un resultado derivado de la aplicación y experimentación de un proceso investigativo en las áreas de conocimiento de la revista.
 - 3.2 Artículos de actualización son trabajos que resumen el “Estado del Arte” de las áreas de conocimiento de la revista.
 - 3.2 Artículos de reflexión son trabajos que tratan un tema específico de las áreas de conocimiento de la revista, desde una perspectiva analítica, interpretativa y crítica del autor, recurriendo principalmente a las fuentes originales.
 - 3.3 Artículos de revisión es un estudio pormenorizado, selectivo y crítico donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas, sobre una temática especializada de las áreas de conocimiento de la revista.
 - 3.4 Artículos de discusión son trabajos que presentan un debate de afirmaciones realizadas en artículos publicados en la revista.
 - 3.5 Artículos de invitados especiales son trabajos científicos sobre una temática de interés de la revista, donde un autor especializado ofrece su punto de vista, por tanto, requiere de una invitación para publicar.
 - 3.6 Notas técnicas son trabajos que reflejan las mejoras de un proceso en ingeniería, resultados de investigaciones derivadas del ejercicio profesional en la ingeniería y ciencias afines, con un máximo de ocho (8) páginas.
4. **La portada del trabajo.** Los trabajos deben presentar en la portada los siguientes datos:
 - 4.1 Título del trabajo científico en español e inglés en letras mayúsculas y minúsculas.
 - 4.2 Nombre(s) del autor(s), hasta un máximo de seis (6) autores. Cada autor debe declarar su respectiva adscripción institucional, ciudad, país, correo electrónico y ORCID.

4.3 Resumen del trabajo en español e inglés (abstract) con un máximo de doscientas (200) palabras.

4.4 Palabras clave en español e inglés (key words) con un máximo de cinco (05) palabras.

5. Normas de estilo.

5.1 La redacción de los trabajos es en el idioma español o inglés.

5.2 El orden a seguir para los trabajos científicos es: Portada, resumen (en español e inglés), introducción, fundamentos teóricos (en caso que aplique), parte experimental, resultados, discusión de resultados, conclusiones, agradecimiento (en caso que aplique) y referencias bibliográficas.

5.3 Los trabajos científicos debe escribirse con el tipo de letra Times New Roman, tamaño 12 pts. El título debe estar en tamaño 16 pts con negritas y las Figuras, Tablas y textos subordinados en tamaño 10 pts.

5.5 El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.

5.6 El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.

5.4 El interlineado se debe realizar a doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.

5.7 Las fotografías, mapas, diagramas, flujogramas y gráficos e imágenes deben denominarse como Figura numeradas con números arábigos, incluir un título y leyenda (si aplica). Y, además, deben redactarse dentro del texto correspondiente. En caso que, la Figura no pertenezca al autor o autores se debe incluir la fuente de la misma.

5.8 Los cuadros y tablas deben denominarse como Tabla, numeradas con números arábigos, incluir un título y leyenda (si aplica). Y, además, deben redactarse dentro del texto correspondiente.

5.9 Las fotografías, mapas, diagramas, flujogramas y gráficos e imágenes incluidas en el trabajo científico se anexarán al envío por separado con excelente calidad con resolución de 240-300 ppp y en formato JPG.

5.10 Las fotografías, mapas, diagramas, flujogramas y gráficos e imágenes de todo tipo y forma deben estar a color o en su defecto a blanco y negro, bien contrastadas y brillantes, de un ancho máximo de 12,5 cm.

5.11 Todos los símbolos matemáticos deben estar escritos en forma clara y legible, con los subíndices y superíndices ubicados correctamente en la matriz o ecuación.

5.12 Deben enumerarse todas las ecuaciones matemáticas en forma consecutiva con números arábigos entre paréntesis y ubicados en el margen derecho.

Ejemplo:

$$\alpha = \frac{k_2}{k_1} \quad (5)$$

5.13 Las citas dentro del documento se escriben con el apellido de sus autores, seguido con un número entre corchetes que corresponde a la referencia bibliográfica y, en caso, que aplique, se debe agregar el número de página de la cita. Para el caso, de tres o mas autores, se agrega al primer autor y, luego, se escribe la expresión *et al.* en cursiva.

Ejemplo: Para citas no textuales: García [1]. Para citas textuales: Moreno [3, Pág. 19-24] o para ambos tipo de citas se ubica el número de la referencia sin colocar autor [1], o [3, Pág. 19-24]. Para tres o mas autores en la cita: Nishimoto *et al.* [2].

5.14 Las referencias bibliográficas deben registrarse con un número entre corchetes, autor(es) personal(es) o corporativo(s). Si tiene varios autores, se registran todos y cada uno separándolos con una coma. Los autores se escriben con apellido e inicial del nombre con mayúsculas y minúsculas. Se deben registrar en la sección de referencias bibliográficas según su orden de aparición en el desarrollo del trabajo.

Ejemplo:

[1]. Izquierdo, J.

[2]. De la Plaza, Ma. A., Troitiño, Ma. D.

[3] Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

5.15 Las referencias bibliográficas de libros debe registrarse con un número entre corchetes, autor(es), título de la publicación entre comillas, edición, país, editorial, año de publicación entre paréntesis. Se debe registrar el URL o DOI en caso de material electrónico o digital.

Para capítulos de libros debe registrarse un número entre corchetes, autor(es) del capítulo, título del capítulo entre comillas, título del libro, edición, país, editorial, año de publicación entre paréntesis. Se debe registrar el URL o DOI en caso de material electrónico o digital.

Ejemplo:

[1] Hurtado, J. “Metodología de la investigación Holística”. 4ta edición. Caracas, Fundación Sypal, (2010).

[2] Noureddine, A. “FTIR Microspectroscopy : Selected Emerging Applications”. New York, Springer, (2021). DOI: [10.1007/978-3-030-84426-4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-84426-4) doi

[3] Jumbo G. W., Í. “La tecnoética al cuidado del ambiente en la Revolución Industrial 4.0.” Filosofía, tecnociencia e industria 4.0: una mirada desde el medioambiente. Quito: Editorial Abya-Yala, (2021). <https://books.scielo.org/id/fdkvy/pdf/jumbo-9789978106778-04.pdf>

5.16 Las referencias bibliográficas de artículos de revistas o separatas debe contener un número entre corchetes, autor(es), título de la publicación entre comillas, título de la revista, volumen (Vol.), número (No.), año de publicación entre paréntesis, número de páginas de inicio y final de la publicación y DOI o URL en caso de material electrónico o digital.

Ejemplo:

[1] Marín, J., García, C., Alaña, J., Martínez, K., & Faría, J. “Modelo de Nernst-Planck aplicado a la cinética de Intercambio Iónico del sistema PO₄-3-Cl⁻ en leche”. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, Vol. 30, No. 3, 236-243. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702007000300005&lng=es&tlng=es.

5.17 Las referencias bibliográficas de normativas debe contener organismo, centro o institución responsable de la norma, título, edición (si aplica), datos de aprobación, ciudad, país, editorial, año de publicación. URL en caso de material electrónico o digital.

Ejemplo:

[1] Comision Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1753-2006: Proyecto y construcción de obras de concreto estructural. Comité Técnico de Normalización CT-03: Obras civiles, Subcomité Técnico SC-1: Edificaciones en su reunión No. 04-06 de fecha 30-08-2006. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2006).

5.18 Las referencias bibliográficas de estándares o patentes debe contener autor, título de la patente entre comillas, número, ciudad, país, mes, día, año de emisión de la patente. URL, en caso de material electrónico o digital.

Ejemplo:

[1] Weibull, G. Continuous Process for preparing Monoalkanolamines from Ammonia and Alkylene Oxides. Ornskoldsvik, Suecia: Mo och Aktiebolag. Patente: SE: 3,697,598. (1968).

5.19 Las referencias bibliográficas de catálogos deberá contener nombre del producto, empresa, ciudad, país, URL del producto.

Ejemplo:

[1] Motor trifásico NEMA Siemens 1LE2225-1AB21-4AA3-Z D05, GSL Industrias, Nuevo León, México. <https://industriasgsl.com/collections/motores/products/motor-trifasico-nema-siemens-1le2225-1ab21-4aa3-z-d05>

5.20 Las referencias bibliográficas sobre informes técnicos debe contener autor (es) o entidad responsable, título del informe, nombre de la empresa, sede la empresa, tipo de informe, número de informe, año de publicación.

Ejemplo:

[1] Villalobos, K. “Informe Técnico de mantenimiento de caldero”, Compañía Gaseosas Nature, Maracaibo, Venezuela. (1997).

5.20 Las referencias bibliográficas de aplicaciones debe contener nombre de la empresa, nombre del producto (versión), descripción del producto entre corchetes y medio de difusión, fecha de creación, URL.

Ejemplo:

[1] Sage AI. ChatGPT - Chat GPT AI CHAT (Beta) [Aplicación móvil]. Google Play. (2022). https://play.google.com/store/apps/details?id=ai.chat.gpt.app&hl=es_VE&gl=US

5.21 Todas las referencias bibliográficas utilizadas y disponibles en la Internet (libros, artículos de revistas, monografías, tesis, entre otros) se añade el DOI o URL de la publicación al final de la referencia.

5.22 En los trabajos deben emplearse el Sistema Internacional de Unidades para cuantificar cualquier magnitud medible de interés en la investigación: metro (m), kilogramos (Kg), Segundo (s), entre otras. Se recomienda consultar National Institute of Standards & Technology. Guide for the Use of the International System of Units (SI) en <https://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp811.pdf>

6. Arbitraje

6.1 El trabajo científico, es recibido por el Editor(a) principal, el cual será enviado al Comité Editorial para su revisión y asignación de tres árbitros.

6.2 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.

6.3 Los trabajos científicos 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.

6.4 En caso de recibir observaciones por parte de los árbitros, estas serán enviadas al autor para su corrección. Después de realizar las correcciones, el autor devolverá la versión corregida al correo electrónico indicado para el envío. El trabajo científico será nuevamente arbitrado.

6.5 Una vez que el trabajo científico haya recibido la aprobación por parte de los árbitros y el Comité editorial, se llevarán a cabo correcciones de pruebas, para lo cual se enviará a los autores para su revisión final.

6.6 Cuando el trabajo científico es aceptado para la publicación, los autores serán informados acerca del número y año de publicación de su trabajo. Si 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.

6.7 Cada autor del artículo publicado recibirá una (1) separatas digital en sus respectivos correo electrónicos junto a la constancia de publicación en la revista.

7. Consideraciones finales

7.1 Los conceptos u opiniones emitidos en los artículos, serán de exclusiva responsabilidad de los autores.

7.2 Los autores conservarán sus derechos morales y se hará una difusión de los artículos bajo una licencia Creative Commons.

7.3 El Comité Editorial se reserva el derecho de los arreglos de estilo que considere conveniente.

7.4 Bajo ninguna circunstancia, la revista devolverá los originales de los artículos enviados a la revista.

7.5 En cuestiones de ética científica se exhorta a los autores a evitar el plagio, de lo contrario, en caso que exista similitudes comprobadas el artículo en cuestión será censurado.

7.6 Lo no previsto en las presentes normas será resuelto por el Comité Editorial.