

Organizadores:

Leonardo França da Silva

Josiane Rosa Silva de Oliveira

Jéssica Mansur Siqueira Furtado Crusóé

# INGENIERÍAS *EN PERSPECTIVA*

ciencia, tecnología e innovación

  
Atena  
Editora  
Año 2024

Organizadores:

Leonardo França da Silva

Josiane Rosa Silva de Oliveira

Jéssica Mansur Siqueira Furtado Crusóé

# INGENIERÍAS *EN PERSPECTIVA*

ciencia, tecnología e innovación

Atena  
Editora  
Año 2024

**Editora jefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora ejecutiva**

Natalia Oliveira

**Asistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecario**

Janaina Ramos

**Proyecto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imágenes de portada**

iStock

**Edición de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Derechos de autor © Atena Editora

Derechos de autor del texto © 2024

Los autores

Derechos de autor de la edición ©

2024 Atena Editora

Derechos de esta edición concedidos a Atena Editora por los autores.

Publicación de acceso abierto por Atena Editora



Todo el contenido de este libro tiene una licencia de Creative Commons Attribution License. Reconocimiento-No Comercial-No Derivados 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

El contenido de los artículos y sus datos en su forma, corrección y confiabilidad son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no representan necesariamente la posición oficial de Atena Editora. Se permite descargar la obra y compartirla siempre que se den los créditos a los autores, pero sin posibilidad de alterarla de ninguna forma ni utilizarla con fines comerciales.

Todos los manuscritos fueron previamente sometidos a evaluación ciega por pares, miembros del Consejo Editorial de esta editorial, habiendo sido aprobados para su publicación con base en criterios de neutralidad e imparcialidad académica.

Atena Editora se compromete a garantizar la integridad editorial en todas las etapas del proceso de publicación, evitando plagios, datos o entonces, resultados fraudulentos y evitando que los intereses económicos comprometan los estándares éticos de la publicación. Las situaciones de sospecha de mala conducta científica se investigarán con el más alto nivel de rigor académico y ético.

**Consejo Editorial****Ciencias Exactas y de la Tierra e Ingeniería**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

# Ingenierías en perspectiva: ciencia, tecnología e innovación

**Diagramación:** Thamires Gayde  
**Corrección:** Maiara Ferreira  
**Indexación:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisión:** Los autores  
**Organizadores:** Leonardo França da Silva  
Josiane Rosa Silva de Oliveira  
Jéssica Mansur Siqueira Furtado Crusoé

<b>Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)</b>	
l46	<p>Ingenierías en perspectiva: ciencia, tecnología e innovación / Organizadores Leonardo França da Silva, Josiane Rosa Silva de Oliveira, Jéssica Mansur Siqueira Furtado Crusoé. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acceso: World Wide Web Inclui bibliografía ISBN 978-65-258-2550-2 DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.502242905">https://doi.org/10.22533/at.ed.502242905</a></p> <p>1. Ingeniería. I. Silva, Leonardo França da (Organizador). II. Oliveira, Josiane Rosa Silva de (Organizador). III. Crusoé, Jéssica Mansur Siqueira Furtado (Organizador). IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620</p>
<b>Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARACIÓN DE LOS AUTORES

Los autores de este trabajo: 1. Certifican que no tienen ningún interés comercial que constituya un conflicto de interés en relación con el artículo científico publicado; 2. Declaran haber participado activamente en la construcción de los respectivos manuscritos, preferentemente en: a) Concepción del estudio, y/o adquisición de datos, y/o análisis e interpretación de datos; b) Elaboración del artículo o revisión para que el material sea intelectualmente relevante; c) Aprobación final del manuscrito para envío; 3. Acreditan que los artículos científicos publicados están completamente libres de datos y/o resultados fraudulentos; 4. Confirmar la cita y la referencia que sean correctas de todos los datos e interpretaciones de datos de otras investigaciones; 5. Reconocen haber informado todas las fuentes de financiamiento recibidas para la realización de la investigación; 6. Autorizar la publicación de la obra, que incluye las fichas del catálogo, ISBN (Número de serie estándar internacional), D.O.I. (Identificador de Objeto Digital) y demás índices, diseño visual y creación de portada, maquetación interior, así como su lanzamiento y difusión según criterio de Atena Editora.

## DECLARACIÓN DEL EDITOR

Atena Editora declara, para todos los efectos legales, que: 1. Esta publicación constituye únicamente una cesión temporal del derecho de autor, derecho de publicación, y no constituye responsabilidad solidaria en la creación de manuscritos publicados, en los términos previstos en la Ley. sobre Derechos de autor (Ley 9610/98), en el artículo 184 del Código Penal y en el art. 927 del Código Civil; 2. Autoriza y estimula a los autores a suscribir contratos con los repositorios institucionales, con el objeto exclusivo de difundir la obra, siempre que cuente con el debido reconocimiento de autoría y edición y sin fines comerciales; 3. Todos los libros electrónicos son de acceso abierto, por lo que no los vende en su sitio web, sitios asociados, plataformas de comercio electrónico o cualquier otro medio virtual o físico, por lo tanto, está exento de transferencias de derechos de autor a los autores; 4. Todos los miembros del consejo editorial son doctores y vinculados a instituciones públicas de educación superior, según recomendación de la CAPES para la obtención del libro Qualis; 5. No transfiere, comercializa ni autoriza el uso de los nombres y correos electrónicos de los autores, así como cualquier otro dato de los mismos, para fines distintos al ámbito de difusión de esta obra.

La producción de artículos académicos en las áreas de ingeniería, tecnología y desarrollo representa la columna vertebral del progreso científico contemporáneo. Estos vehículos de comunicación científica juegan un papel crucial en la difusión del conocimiento, permitiendo la validación y mejora de ideas y descubrimientos. A través de metodologías rigurosas y bases teóricas sólidas, estos artículos brindan credibilidad y confiabilidad a los avances científicos alcanzados.

En el contexto de la ingeniería, los artículos académicos resumen la esencia de la innovación y el desarrollo tecnológico. Representan el principal medio de difusión de nuevos métodos, materiales y proyectos, facilitando la replicación y aplicación práctica de las soluciones propuestas. Además, contribuyen a la construcción de un cuerpo de conocimientos cohesionado y en constante evolución, fundamental para el progreso de la disciplina.

En cuanto a la tecnología, la producción de artículos académicos sirve como validación de sus aplicaciones y demostración de su efectividad. A través de experimentación controlada y análisis detallado, estos artículos proporcionan un marco crítico para evaluar y mejorar las tecnologías emergentes. Este proceso juega un papel crucial en la selección y adaptación de las soluciones tecnológicas más adecuadas a necesidades específicas.

En el contexto del desarrollo, los artículos académicos consolidan las estrategias y políticas que impulsan el progreso socioeconómico. Al documentar los resultados de las intervenciones y políticas, estos artículos proporcionan una base empírica esencial para guiar las decisiones y acciones futuras. Así, catalizan la optimización de los recursos invertidos, promoviendo un desarrollo sostenible y equitativo.

En definitiva, la elaboración de artículos académicos en estas áreas trasciende el mero ejercicio académico, convirtiéndose en un imperativo para el avance de la sociedad contemporánea. Estos registros científicos constituyen los pilares que sustentan la evolución de la ciencia aplicada, proporcionando un legado de conocimiento sólido y progreso sostenido para las generaciones futuras, como se evidencia en este trabajo.

Los autores buscan ofrecer contenidos relevantes para brindar asistencia técnica, científica y constructiva al lector, demostrando que la sostenibilidad es una herramienta esencial, convirtiéndose en un aliado del crecimiento. Desde esta perspectiva, Atena Editora trabaja incansablemente para estimular e incentivar cada vez más investigadores de Brasil y de otros países a publicar sus trabajos con calidad y excelencia garantizadas, ya sea en forma de libros, capítulos de libros o artículos científicos.

**¡Buena lectura!**

Leonardo França da Silva

Josiane Rosa Silva de Oliveira

Jéssica Mansur Siqueira Furtado Crusóé

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
ANÁLISIS TÉCNICO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE, MÉXICO PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DEL CÓDIGO DE RED 2.0	
Lezama Zárraga Francisco Román	
Rodríguez Aguilar Marian	
Shih Meng Yen	
Chan González Jorge de Jesús	
May Tzuc Oscar	
Salazar Uitz Ricardo Rubén	
Noh Pat Felipe	
Gutiérrez González Julio	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022429051">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022429051</a>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>14</b>
DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA IMPLANTAR SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN EN LABORATORIOS	
Analjorie Lugo Armas	
Yazenia Frontado	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022429052">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022429052</a>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>38</b>
INFLUENCIA EN EL RANURADO INTERNO DE UN TUBO RECEPTOR SOBRE LA GENERACIÓN DIRECTA DE VAPOR, DEFORMACIÓN Y ESFUERZOS TÉRMICOS	
V.M. Maytorena	
S. Moreno	
R.L. Duran	
J.F. Hinojosa	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022429053">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022429053</a>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>54</b>
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA CURVADORA DE TUBO REDONDO METÁLICO DE ½ IN A 1 IN	
José Heriberto Simental Vázquez	
Alfonso Sierra Chacón	
Rocío Alejandra Reyes Carlos	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5022429054">https://doi.org/10.22533/at.ed.5022429054</a>	
<b>SOBRE LOS AUTORES.....</b>	<b>97</b>
<b>ÍNDICE REMISIVO .....</b>	<b>98</b>

# CAPÍTULO 1

## ANÁLISIS TÉCNICO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE, MÉXICO PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DEL CÓDIGO DE RED 2.0

*Data de aceite: 02/05/2024*

### **Lezama Zárraga Francisco Román**

Universidad Autónoma De Campeche,  
Col. Ex-Hacienda Kala, San Francisco de  
Campeche, Cam., México

### **Rodríguez Aguilar Marian**

Universidad Autónoma De Campeche,  
Col. Ex-Hacienda Kala, San Francisco de  
Campeche, Cam., México

### **Shih Meng Yen**

Universidad Autónoma De Campeche,  
Col. Ex-Hacienda Kala, San Francisco de  
Campeche, Cam., México

### **Chan González Jorge de Jesús**

Universidad Autónoma De Campeche,  
Col. Ex-Hacienda Kala, San Francisco de  
Campeche, Cam., México

### **May Tzuc Oscar**

Universidad Autónoma De Campeche,  
Col. Ex-Hacienda Kala, San Francisco de  
Campeche, Cam., México

### **Salazar Uitz Ricardo Rubén**

Universidad Autónoma De Campeche,  
Col. Ex-Hacienda Kala, San Francisco de  
Campeche, Cam., México

### **Noh Pat Felipe**

Universidad Autónoma De Campeche,  
Col. Ex-Hacienda Kala, San Francisco de  
Campeche, Cam., México

### **Gutiérrez González Julio**

Universidad Autónoma De Campeche,  
Col. Ex-Hacienda Kala, San Francisco de  
Campeche, Cam., México

**RESUMEN:** El Código de Red en México actualizado en la RESOLUCIÓN Núm. RES/550/2021 de la Comisión Reguladora de Energía, con fecha 31 de diciembre de 2021, tiene como objetivo que un Centro de Carga posea un sistema eléctrico seguro, confiable y eficiente para que pueda estar conectado al Sistema Eléctrico Nacional. Es por ello, que, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, México, por ser un centro de carga en media tensión, se verifica que las instalaciones eléctricas se encuentren en condiciones de cumplimiento de los requerimientos del Código de Red a través de los resultados obtenidos del análisis técnico. El edificio B se tomó como base para nuestro estudio, con la información relevante de las variables eléctricas de interés se proporcionan las

conclusiones y propuestas de mejora basados en los resultados de cumplimiento o no cumplimiento. Las disposiciones de código de red que no sean cumplidas se incluirán en un plan de trabajo de acuerdo con el formato de la Comisión Reguladora de Energía para su oportuno cumplimiento. Se pretende que esta metodología sea una guía para que pueda ser aplicada en Instituciones de Educación Superior.

**PALABRAS-CLAVES** Análisis técnico, código de red, centro de carga, sistema eléctrico.

## INTRODUCCIÓN

En este artículo se presenta un análisis técnico, a través del diagnóstico energético, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche (UACAM), México, como requisito del cumplimiento a los requerimientos del Código de Red con el fin de mantener nuestras instalaciones eléctricas confiables y seguras para las personas que las utilizan y para los equipos conectados. Y, además, certificar la conexión de nuestro centro de carga al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

De acuerdo con la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), en su Art. 112, nos dice: “Todas las instalaciones eléctricas destinadas al uso de la energía eléctrica deberán cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas aplicables. La Secretaría de Energía (SENER) podrá efectuar las inspecciones para verificar el cumplimiento” (Cámara de Diputados, 2014). Dichas inspecciones las realizará a través de algún organismo de control autorizado.

Para cumplir con esta normativa se aplica el manual regulatorio de requerimientos técnicos para la conexión de centros de carga del código de red cuyo objetivo es salvaguardar la seguridad de las personas y sus bienes (CENACE, 2018).

Para Centros de Carga que ya se encuentran interconectados al SEN en Media Tensión (13.8, 23 o 34.5 kV), como es el caso de la Facultad de Ingeniería, tendrán la visita de la Unidad de Inspección Eléctrica (UIE), avalada por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para verificar el cumplimiento de los parámetros del Código de Red. Si se detecta algún incumplimiento, dicho Centro de Carga será acreedor a una fuerte multa y si reincide en la anomalía será desconectado del SEN, de acuerdo con el Art. 165 de la LIE (DOF, 2021).

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Centro de Carga está interconectado al SEN desde hace 13 años, es una Institución de Educación Superior con una demanda contratada de 85 kW y se aborda la preocupación de que la Facultad de Ingeniería no cumpla con alguna de las disposiciones del código de red cuando una UIE llegue a verificar nuestras instalaciones eléctricas. Si encuentra alguna anomalía, la UIE deberá aplicar un plan de trabajo que describa las acciones que serán implementadas para que la UACAM corrija las anomalías encontradas y si no se aplican con dichas acciones seremos acreedores a una fuerte multa.

Así, el diagnóstico energético se implementa para verificar que se cumplan todos los requerimientos del código de red y en caso de algún incumplimiento realizar las acciones de mejoras para corregir la problemática presente y así evitar sanciones económicas para nuestro centro de carga. La información recabada y analizada es fundamental para el cumplimiento de las disposiciones del Código de Red.

## METODOLOGÍA

Para este análisis técnico, se empleó una metodología que consta de los siguientes pasos:

1. Preparación de herramientas, equipo de medición y del personal que realizará las mediciones y el levantamiento en campo.
2. Levantamiento físico en las instalaciones en baja tensión y en la subestación con ayuda de los planos eléctricos y diagrama unifilar, identificando cada uno de los conductores, canalizaciones, protecciones, tableros de distribución, circuitos derivados y equipos.
3. Instalar el equipo analizador de redes para almacenar los parámetros eléctricos de interés para nuestro estudio.
4. Analizar la información obtenida del levantamiento y de las mediciones con ayuda de hojas de cálculo y cuadro de cargas para realizar los balanceos por fase y encontrar anomalías para corregirse.
5. Definir las propuestas de mejora, a través de un plan de trabajo, y ejecutar en un tiempo establecido en la calendarización de actividades y estrategias para obtener el certificado de cumplimiento.
6. Proporcionar un informe final que incluya un programa de mantenimiento preventivo.

La Fig. 1 ilustra las etapas de la metodología desarrollada.



Fig. 1. Etapas del proceso en un diagnóstico energético.

## REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL CÓDIGO DE RED

En la Guía sobre los requerimientos técnicos del Código de Red aplicables a Centros de Carga (SENER, 2019) se exponen el alcance y la aplicación del Código de Red y también los requerimientos técnicos específicos que deben cumplir los Centros de Carga en el punto de conexión. Aplica a todos los nuevos centros de carga que busquen conectarse en alta o media tensión y a los ya conectados al SEN (DOF, 2017). De acuerdo con el nivel de tensión en el que se conectan y el tipo de carga, la Tabla I expone los requerimientos y si aplica o no según el punto de conexión en el que se encuentren. Los últimos tres requerimientos son referentes a la calidad de la Energía.

Requerimientos	Centros de Carga en Media Tensión, menor a 1MW	Centros de Carga en Media Tensión, mayor o igual a 1MW	Centros de Carga en Alta Tensión
	Convencionales	Convencionales	Especiales
Tensión	Aplica	Aplica	Aplica
Frecuencia	Aplica	Aplica	Aplica
Corto Circuito	Aplica	Aplica	Aplica
Factor de Potencia	No Aplica	Aplica	Aplica
Protecciones	Aplica	Aplica	Aplica
Control	Aplica sólo a usuarios con Demanda controlable	Aplica sólo a usuarios con Demanda Controlable	Aplica sólo a usuarios con Demanda Controlable
Intercambio de Información	Aplica conforme al manual de TIC	Aplica conforme al manual de TIC	Aplica conforme al manual de TIC
Calidad de la potencia	Aplica sólo el desbalance de tensión y de corriente	Aplica	Aplica

TABLA I. Requerimientos del Código de Red

## RESULTADOS OBTENIDOS

La información recabada del edificio B con el medidor de calidad de la energía trifásico clase A es analizada y se verifica el cumplimiento de las disposiciones del código de red.

## TENSIÓN

La Facultad de Ingeniería es un centro de carga conectado al SEN en media tensión a 13.8 kV y debe cumplir con las especificaciones del código de red mostradas en la tabla II.

Estado Operativo Normal		
Tensión Nominal [kV]	Tensión Máxima [kV]	Tensión Mínima [kV]
13.8	15.0	13.1

TABLA II. REQUERIMIENTO DE TENSIÓN EN EL CÓDIGO DE RED

La tabla III proporciona los valores de tensión promedio medidos en el edificio B; se observa que se cumple con lo especificado en la tabla II y que nuestro centro de carga contiene variaciones de tensión aceptables.

Valores de tensión en el edificio B.		
Tensión nominal [kV]	Tensión Máxima [kV]	Tensión Mínima [kV]
13.8	14.44	13.16

TABLA III. NIVELES DE TENSIÓN EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA

## FRECUENCIA

Los centros de carga deben ser capaces de soportar variaciones de frecuencia y deberán permanecer conectados, de acuerdo con la tabla IV.

Tiempo	Frecuencia Máxima [Hz]	Frecuencia Mínima [Hz]
Permanente	61.0	59.0
30 minutos	62.0	58.0

TABLA IV. REQUERIMIENTO DE FRECUENCIA EN EL CÓDIGO DE RED

En la Fig. 2, se muestra el comportamiento de frecuencia a lo largo de los 15 días durante el monitoreo con el analizador de redes. Se observa que nuestro centro de carga cumple con lo especificado en la tabla IV.

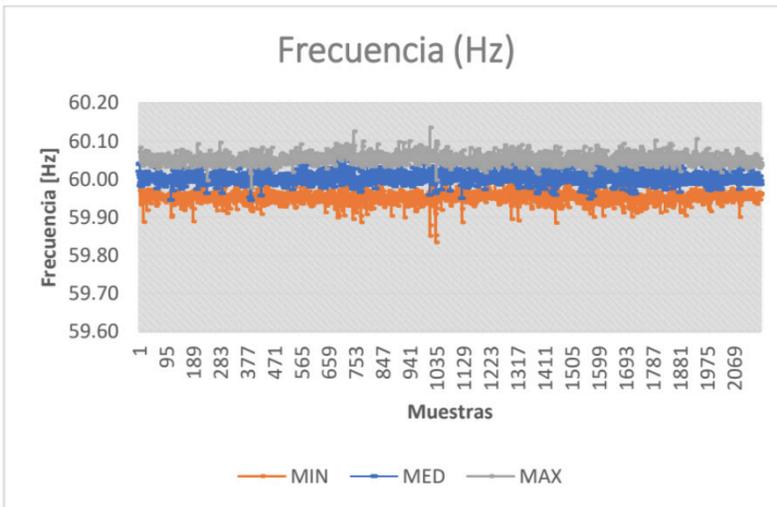


Fig. 2. Muestreo de valores de frecuencia en la Facultad de Ingeniería.

## CORTOCIRCUITO

La empresa suministradora de energía eléctrica en México, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), es la encargada de calcular e informar a los centros de carga conectados y los que se conectarán al SEN la corriente máxima y mínima de corto circuito, trifásica y monofásica, en el punto de conexión.

En el estudio de cortocircuito se determina el valor de la Corriente de Cortocircuito ( $I_{CC}$ ) en el punto de conexión con el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y este es obtenido del valor de Potencia de Cortocircuito (MVACC) que nos proporciona la CFE.

El método de bus infinito es una técnica simple para calcular un cortocircuito cuando hay una acometida y un transformador. El suministrador proporciona el valor de la potencia aparente de cortocircuito en el punto de conexión para obtener la falla trifásica simétrica balanceada o comúnmente conocida como la corriente de cortocircuito trifásica balanceada.

En el punto de conexión, en media tensión, la potencia aparente de cortocircuito está dada por la ecuación

$$MVA_{CC} = \frac{\sqrt{3} \cdot kV \cdot I_{CC}}{1000} \quad (1)$$

Por consiguiente, la corriente de cortocircuito ( $I_{CC}$ ) estará dada por

$$I_{CC} = \frac{MVA_{CC} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot kV} \quad (2)$$

donde:

$kV$  = voltaje de línea en media tensión, dado en  $kV$ ,

$I_{CC}$  = Corriente de falla de cortocircuito en el punto de conexión, dada en Amperes,

$MVA_{CC}$  = Potencia aparente de falla de cortocircuito en el punto de conexión, dado en MVA.

Para el tablero de distribución principal, la  $I_{CC}$  se obtiene con las ecuaciones

$$I_{nom} = \frac{kVA_{transformador}}{\sqrt{3} \cdot kV_{lado\ secundario}} \quad (3)$$

y

$$I_{CC} = \frac{I_{nom}}{\%Z_{transformador}} \quad (4)$$

donde:

$I_{nom}$  = Corriente nominal en el lado secundario del transformador, dado en Amperes,

$I_{CC}$  = Corriente de falla de cortocircuito en el punto de conexión, dada en Amperes,

$kVA_{transformador}$  = Potencia aparente del transformador, dado en  $kVA$ ,

$kV_{lado\ secundario}$  = voltaje del lado secundario del transformador, dado en  $kV$ ,

$\%Z_{transformador}$  = por ciento de la impedancia del transformador.

Esto significa que, si hubiera una falla en el tablero, la única impedancia que limitaría la  $I_{CC}$  es la impedancia del transformador y el tablero deberá estar diseñado para soportar dicha  $I_{CC}$ .

La Facultad de Ingeniería de la UACAM está conectado en media tensión al Sistema Eléctrico Nacional a través del circuito de distribución KAL 4020 CASTAMAY con voltaje de línea igual a 13.2 kV., perteneciente a la Zona de Distribución Campeche de la Comisión Federal de Electricidad. La CFE como empresa suministradora del servicio de energía eléctrica proporcionó el valor de la potencia aparente de cortocircuito,  $MVA_{CC} = 125 \text{ MVA}$ . A partir de este valor, obtenemos la corriente de cortocircuito en el punto de conexión (en la acometida de media tensión) empleando la ecuación 2.

$$I_{CC} = \frac{125 \text{ MVA} * 1000}{\sqrt{3} * 13.2 \text{ kV}} = 5,467 \text{ A} = 5.467 \text{ kA}$$

Ahora, obtenemos la  $I_{CC}$  en el tablero de distribución del edificio B. De acuerdo con los datos de placa del transformador trifásico tipo pedestal del edificio B dados en la Fig. 3, se tiene una impedancia de 2.27%, por lo que la  $I_{nom}$  e  $I_{CC}$  en el tablero de distribución serán

$$I_{nom} = \frac{150 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 0.220 \text{ kV}} = 393.64 \text{ A}$$

$$I_{CC} = \frac{393.64 \text{ A}}{0.0227} = 17,341.31 \text{ A} = 17.341 \text{ kA}$$

Por lo tanto, se debe seleccionar un tablero I-LINE que soporte la corriente de cortocircuito de 17.341 kA. Si el tablero que se encuentra instalado está diseñado para menos capacidad de  $I_{CC}$  deberá ser sustituido.

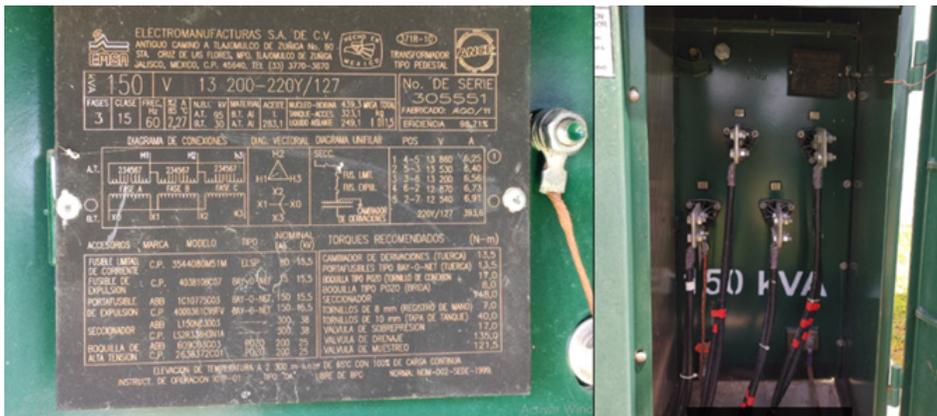


Fig. 3. Información de los datos de placa del transformador del edificio B.

El tablero I-LINE existente en el edificio B es de la marca SQUARE D, modelo MGA600M82B. De acuerdo con las especificaciones en el catálogo del fabricante, la capacidad de interrupción de corriente de cortocircuito trifásico simétrico del tablero I-LINE a 240V es de 65kA.

La Fig. 4 ilustra la manera en que se encuentra la capacidad interruptiva del tablero I-LINE en el catálogo. Se intercepta la columna de la tensión nominal de 240V con la fila del modelo MGA600M82B que se interpreta con la selección de la tensión de diseño de 600V y el marco MGA, y de esta manera el punto de intersección que se obtiene es 65 kA simétricos.

Tensión de diseño del int.	Marco	No. de polos	Tipo de disparo	Rango en Amperes (A)	Cap. de interrupción - kA simétricos			
					Tensión en CA, 50/60 Hz			Tensión en CD
					240	480	600	250
240 V	FA	2,3	TM	15 - 100	10	–	–	5
480 V	FY	1	TM	15 - 30	14	14	–	–
	FA	1	TM	35 - 100	18	18	–	–
		2, 3	TM	15 - 100	25	18	–	10
600 V	FC	2, 3	TM	15 - 100	100	65	–	–
	FA	2, 3	TM	15 - 100	25	18	14	10
		1	TM	15 - 30	65	65	–	–
	FH	1	TM	35 - 100	25	25	–	–
		2, 3	TM	15 - 100	65	25	18	10
	FI	2, 3	TM	20 - 100	200	200	100	–
600 V	HDA	2, 3	TM	15 - 150	25	18	14	20
600 V	HGA	2, 3	TM	15 - 150	65	35	18	20
600 V	HJA	2, 3	TM	15 - 150	100	65	25	20
600 V	HLA	2, 3	TM	15 - 150	125	100	50	20
600 V	JDA	2, 3	TM	150 - 250	25	18	14	20
600 V	JGA	2, 3	TM	150 - 250	65	35	18	20
600 V	JJA	2, 3	TM	150 - 250	100	65	25	20
600 V	JLA	2, 3	TM	150 - 250	125	100	50	20
600 V	LA	2, 3	TM	125 - 400	42	30	22	–
600 V	LH	2, 3	TM	125 - 400	65	35	25	–
600 V	LC	2, 3	TM	300 - 600	100	65	35	–
600 V	LI	2, 3	TM	300 - 600	200	200	100	–
600 V	MGA	2, 3	E	300-800	65	35	18	–
600 V	MJA	2, 3	E	300-800	100	65	25	–
600 V	PGA	3	EM	600-1200	65	35	18	–
600 V	PJA	3	EM	600-1200	100	65	25	–
480 V	PLA	3	EM	600-1200	125	100	–	–

Fig. 4. Catálogo del fabricante del tablero I-Line.

Dado que la corriente de cortocircuito trifásico es de 17.341 kA y la capacidad interruptiva del tablero del edificio B es de 65 kA, se demuestra que el tablero de distribución es capaz de soportar la ICC del sistema y ofrece las condiciones de confiabilidad y seguridad para los operadores del tablero.

## PROTECCIONES

Este estudio es de diagnóstico energético por lo cual hasta este momento no se tiene un estudio de coordinación de protecciones. Este es un requerimiento que no cumplimos y que estará reportado en nuestro informe final como un incumplimiento que deberá ser atendido a la brevedad. El plan de trabajo de la UACAM incluirá la inclusión de este estudio.

## CONTROL e INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN

Se establece en el código de red que las características de la información del comportamiento de un centro de carga se deben realizar por telemetría en tiempo real a través de un software de monitoreo del tipo Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA).

Es parte de los requisitos establecidos para la calidad de la información que deben cumplir el Transportista, Distribuidor, Central Eléctrica o Centro de Carga, así como sus representantes en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), con la finalidad de contribuir a la confiabilidad del SEN (CRE,2017).

A continuación, se proporcionan las características del medidor bidireccional para mantener el intercambio de información y el monitoreo entre la Red Nacional de Transmisión (RNT) y el Centro de Carga de la Facultad de Ingeniería de la UACAM.

Medidor multifunción marca Elster solutions llc, modelo A3, medición bidireccional, en cuatro cuadrantes de kWh, kW, kVARh en hasta 4 tarifas horarias, forma 9s, tipo socket, 120-48V, 2.5(20) A, 60 HZ, 3F, 4H, 3e, clase de precisión 0.2%, perfil de carga de 512 kB para seis canales de grabación, pantalla LCD de hasta 6 dígitos, con puerto óptico ANSI II en el panel frontal y puerto ethernet 10 base T con conector RJ-45. Que cumpla con especificación CFE G0000-48-2010, y con protocolos de pruebas del Laboratorio de Pruebas Eléctricas de Equipos y Materiales (LAPEM) de la CFE.

## DESBALANCE DE TENSIONES

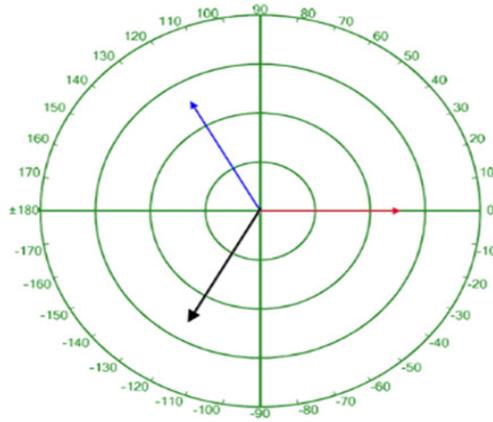
Los sistemas trifásicos se encuentran desbalanceados cuando:

- Los ángulos de desfase entre la tensión y la corriente de cada fase no son iguales.
- Los módulos de la componente fundamental de las tensiones en cada fase del sistema no son iguales.

Esto ocurre por lo general cuando a un sistema que originalmente estaba balanceado, se le agregan cargas de una fase sin balancearlas correctamente, provocando consecuencias negativas para los centros de carga y las redes de distribución, las cuales son:

- Pérdidas por calentamiento de conductores y embobinado de motores.
- Disminución de la vida útil de equipos conectados.
- Disminución en la eficiencia de los motores de inducción trifásicos en la industria.

En la Fig. 5 se presenta el diagrama fasorial de las tensiones de fase a neutro de nuestro sistema trifásico; en él se observa que el sistema se encuentra balanceado debido a que los fasores rotan a una velocidad angular constante de 377 rad/seg, separados 120° eléctricos y con una secuencia ABC. La frecuencia en cada fase está dentro del cumplimiento del código de red (ver Tabla IV). Es importante mencionar que estos valores se obtuvieron de las mediciones del equipo didáctico LABVOLT módulo DSA 8006 serie 8821-22 ubicado en el edificio B de la Facultad de Ingeniería, en el Laboratorio de Electricidad Industrial y Máquinas Eléctricas.



Fase	Voltaje (rms)	Ángulo de fase	Frecuencia (Hz)
A	128.54	0.00	59.86
B	129.94	-119.70	59.90
C	129.76	119.65	60.15

Fig. 5. Diagrama fasorial y valores medidos de tensiones de fase a neutro del sistema, secuencia ABC.

## DESBALANCE DE CORRIENTE

El resolutive código de red 2.0 publicado en el DOF el 31 de diciembre de 2021 menciona que el desbalance de corriente en el punto de interconexión de los centros de carga no debe exceder el 15% de conformidad con la NOM-001-CRE/SCFI-2019 vigente o la NMX-J-610-4-30-ANCE-2018 Clase A o IEC 61000-4-30 Clase A. El desbalance de corriente en por ciento se define como la razón entre la magnitud de la componente de corriente de secuencia negativa  $I_2$  / y la magnitud de la componente de corriente de secuencia positiva  $I_1$  / expresada en porcentaje.

$$\%I_{desbalance} = \frac{|I_2|}{|I_1|} \times 100 \quad (5)$$

Para los Centros de Carga en Media Tensión con Demanda Contratada menor a 1 MW el desbalance de corriente ( $\%I_{desbal.}$ ) podrá ser calculado mediante la ecuación:

$$\%I_{desbal.} = \frac{\text{Máx}(|I_{prom}-I_A|, |I_{prom}-I_B|, |I_{prom}-I_C|)}{I_{prom}} \quad (6)$$

donde

$$I_{prom} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \quad (7)$$

En el cual:

$I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$  son el valor eficaz de la corriente de la fase A, la fase B y la fase C respectivamente.

La Fig. 6 muestra las mediciones de valor eficaz de corriente obtenidas en cada fase para el edificio B. En ella se observa que la mayor carga de nuestro sistema eléctrico se encuentra en la fase A y la menor carga se encuentra conectada a la fase C. El desbalance es muy grande entre el horario de las 8 de la noche hasta las 6 de la mañana del siguiente día por lo que se deduce que toda la carga del alumbrado exterior, de pasillos y de escaleras está conectada a la fase A.

Se procedió a verificar nuestra hipótesis confirmando que dichas cargas están conectadas a la fase A y además la carga del sistema de comunicaciones (voz y datos) denominada como carga miscelánea aporta corriente significativa a la misma fase A.

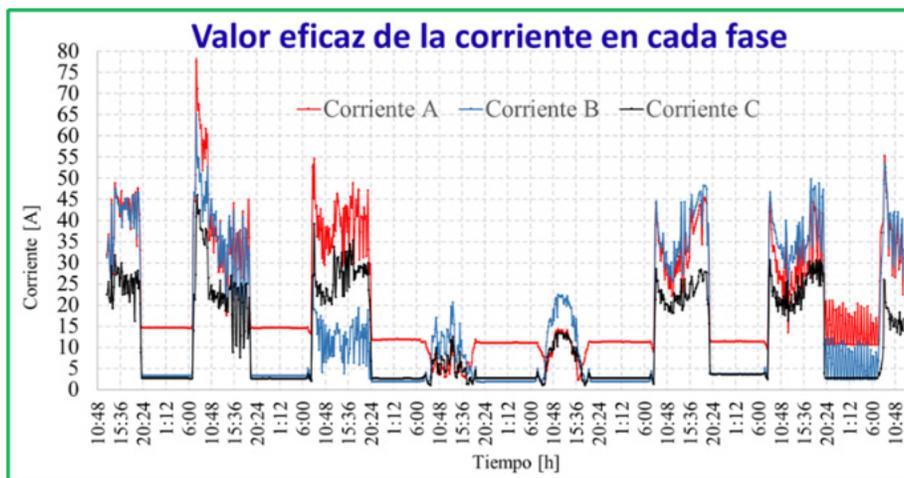


Fig. 6. Mediciones de valor eficaz de corriente obtenidas en cada fase para el edificio B.

De acuerdo con la Ec. (6), en la figura 7 se observa el desbalance de corriente en cada instante de las mediciones otorgadas por el analizador de redes trifásico. En ella se nota con mayor claridad que el mayor porcentaje de desbalance ocurre en el horario desde las 8 de la noche hasta las 6 de la mañana del siguiente día. Esto nos indica que no se cumple con el resolutorio del código de red y que se debe corregir esta anomalía realizando un análisis y reconfiguración de las conexiones de las cargas monofásicas del tablero subgeneral y los tableros de circuitos derivados del edificio B antes de la verificación de la unidad de inspección (UI) acreditada por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para la obtención del certificado de cumplimiento y así evitar multas de cincuenta mil a doscientos mil salarios mínimos por incumplimientos.

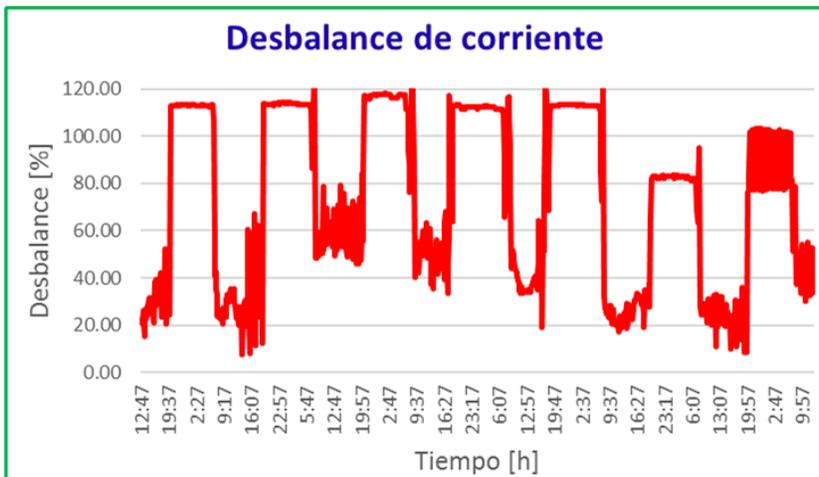


Fig. 7. Desbalance de corriente en cada instante de las mediciones obtenidas para el edificio B.

La propuesta de solución de esta anomalía se deberá plasmar en el plan de trabajo de la UACAM de acuerdo con los lineamientos y procedimientos del Código de Red.

## PLAN DE TRABAJO

Los requerimientos de código de red que no se cumplieron son los siguientes:

1. Protecciones
2. Intercambio de información
3. Desbalance de corriente

Estos son fundamentales para que las instalaciones eléctricas de nuestro centro de carga sean confiables y seguras para las personas que las utilizan y equipos conectados.

El plan de trabajo es el documento oficial donde quedan plasmadas los parámetros del código de red que no se están cumpliendo, los cuales deberán contener una cronología o calendario de actividades y estrategias para su cumplimiento en tiempo y forma.

En la RESOLUCIÓN Núm. RES/550/2021 de la Comisión Reguladora de Energía ya se presenta el formato oficial que debe utilizarse; está señalado como el punto 4.1 Formato para presentar el plan de trabajo.

Entre las estrategias indicadas en dicho formato, se encuentran las siguientes:

- Acciones previstas a implementar para asegurar el cumplimiento del Código de Red.
- Análisis de alternativas, en las que se señalen los equipos evaluados, así como los principales retos técnicos y económicos asociados a cada alternativa.
- Cronograma de acciones previstas con fechas de inicio y terminación.

## CONCLUSIONES

Este análisis técnico es fundamental para la verificación de nuestro centro de carga, es una mirada al interior de las instalaciones eléctricas para garantizar su operación confiable, segura y eficiente. Esto asegura que si se presenta una falla interna no afectará la operación del SEN en estado estable.

A través de este estudio logramos definir las acciones correctivas a realizar para el cumplimiento y así cuando la UIE realice la inspección a nuestro centro de carga nos expida el certificado de cumplimiento para mantenerse conectado en media tensión al SEN y de esta manera estaremos exentos de una fuerte multa que ocasionaría graves desbalances económicos a nuestra Universidad. Importante es no olvidarnos de presentar el plan de trabajo y apegarnos a él en los tiempos estipulados respecto a la corrección de las anomalías y en presentar los estudios que se carecen como son el de coordinación de protecciones y cortocircuito.

Esta metodología propuesta presenta una base sólida y estructurada para ser implementada en otras Instituciones de Educación Superior.

## REFERENCIAS

Cámara de Diputados. 2014. "Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica". Art. 112. Recuperado de: [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LIE.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LIE.pdf) el día 18 de junio de 2022.

Centro Nacional de Control de Energía. 2018. "Programa de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista". Recuperado de: <https://www.cenace.gob.mx/Docs/Planeacion/ProgramaRNT/Programa%20de%20Ampliacion%20y%20Modernizacion%20de%20la%20RNT%20y%20RGD%202019%20-%202023.pdf> el día 21 de junio de 2022.

Diario Oficial de la Federación. 2021. "RESOLUCIÓN Núm. RES/550/2021 de la Comisión Reguladora de Energía por la que se expiden las Disposiciones Administrativas de Carácter General que contienen los criterios de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional: Código de Red". Recuperado de: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5639920&fecha=31/12/2021#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5639920&fecha=31/12/2021#gsc.tab=0) el día 28 de junio de 2022.

Comisión Reguladora de Energía. 2019. "Guía sobre los requerimientos técnicos del Código de Red aplicables a Centros de Carga" Recuperado de <https://www.gob.mx/cre/documentos/guia-sobre-los-requerimientos-tecnicos-del-codigo-de-red-aplicables-a-centros-de-carga> el día 6 agosto de 2022.

Diario Oficial de la Federación. 2017. "Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)". Recuperado de: <https://verielec.com/assets/pec-nom-001-sede-2012-nov-2017.pdf> el día 16 de julio de 2022.

SEGOB, Diario Oficial de la Federación. 2020. "ACUERDO por el que se emite la Política de Confiabilidad, Seguridad, Continuidad y Calidad en el Sistema Eléctrico Nacional". Recuperado de: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5593425&fecha=15/05/2020](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5593425&fecha=15/05/2020) el día 28 de julio de 2022.

Centro Nacional de Control de Energía. 2020. ACUERDO para garantizar la eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional, con motivo del reconocimiento de la epidemia de la enfermedad por el virus SARS-CoV2 (COVID-19). Recuperado de: <https://www.cenace.gob.mx/Docs/MarcoRegulatorio/AcuerdosCENACE/Acuerdo%20para%20garantizar%20la%20eficiencia,%20Calidad,%20Confiabilidad,%20Continuidad%20y%20seguridad%20del%20SEN%202020%2005%2001.pdf> el día 6 de agosto de 2022.

# DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA IMPLANTAR SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN EN LABORATORIOS

*Fecha de envío: 05/04/2024*

*Data de aceite: 02/05/2024*

### **Analjorie Lugo Armas**

Universidad Metropolitana  
Caracas. Venezuela  
<https://orcid.org/0009-0007-2517-6300>

### **Yazenia Frontado**

Universidad Metropolitana, Caracas.  
Venezuela  
<https://orcid.org/0000-0002-9192-2881>

**RESUMEN:** La mejora continua, es uno de los aspectos principales en la consecución de altos niveles de satisfacción de un cliente en la prestación de un servicio. Los Sistemas integrados de Gestión están diseñados para manejar múltiples aspectos en las operaciones de una organización, como la seguridad y salud en el trabajo, la calidad y la gestión ambiental en un solo modelo, permitiendo optimizar los recursos, obteniendo un óptimo desempeño. Por tal motivo, la presente investigación propone un estudio para implantar sistemas integrados de Gestión en laboratorios de cualquier rubro y ofrecer así un servicio eficiente a su público meta. Para ello, se debe tomar en cuenta, el análisis de la situación actual del laboratorio, el enfoque a procesos, a través del diseño de mapas y diagramas

que desglosen la estructura operacional de acuerdo a los servicios ofrecidos en cada una de las áreas a implantar (Calidad, Ambiente y Seguridad), el establecimiento de indicadores generales para asegurar la mejora continua de las operaciones del laboratorio, la determinación del contexto y del alcance del sistema; a través de técnicas de evaluación de sus factores internos y externos; seguidamente la identificación y verificación de los requerimientos necesarios para implantar un Sistema Integrado de Gestión (SIG).

**PALABRAS-CLAVE:** mejora continua, sistema integrado de gestión, enfoque a procesos, calidad, ambiente, seguridad, laboratorio.

## DESIGN OF A PROPOSAL TO IMPLEMENT INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS IN LABORATORIES

**ABSTRACT:** Continuous improvement is one of the main aspects in achieving high levels customer satisfaction in the provision of a service. The Integrated systems management are designed to handle multiple aspects in the operations of an organization, such as occupational health

and safety, quality, and environmental management in a single model, allowing optimization of resources, obtaining optimal performance. For this reason, the present research proposes a study to implement integrated systems management in laboratories of any field and thus offer an efficient service to its public goal. To do this, the analysis of the current situation of the laboratory, the process focus, through the design of maps and diagrams that break down the operational structure according to the services offered in each one of the areas to be implemented (Quality, Environment and Safety), prescribing indicators to ensure continuous improvement of the operations of the laboratory, determining the context and scope of the system; through evaluation techniques of its internal and external factors; then the identification and verification of the requirements necessary to implement a Integrated Management System (GIS).

**KEYWORDS:** continuous improvement, integrated management system, process focus, quality, environment, safety, laboratory.

## INTRODUCCIÓN

La deficiencia en la definición de los procesos que se ejecutan en los laboratorios para la consecución de sus objetivos como lo son la oferta de servicios, realización de investigaciones científicas, consultorías, entre otros, obstaculizan el desarrollo en sus operaciones, surgiendo la necesidad de elaborar estrategias que garanticen la satisfacción del cliente.

Por tal motivo, este trabajo propone un modelo de mejora, que permita estudiar las posibilidades de implantación de un sistema integrado de gestión en laboratorios, comenzando con un análisis de sus condiciones actuales, para poder tener un punto de partida en las decisiones de mejoras operacionales.

Posteriormente se propone el enfoque a procesos, el cual contribuirá a mejorar sus operaciones y dar comienzo al cumplimiento de parámetros de calidad para la implantación del sistema. También se estructuran indicadores, que permitan tener un control de los aspectos que de alguna manera puedan afectar el cumplimiento de los objetivos planteados por la organización.

Por otro lado, analizar el contexto de una organización, es una parte fundamental en el proceso de implantación de un sistema integrado de gestión, debido a que con una información detallada de todos los aspectos tanto internos como externos que rodean la elaboración de un producto o un servicio en una empresa, se pueden generar estrategias que permitan aprovechar las oportunidades y fortalezas de esta; así como detectar y minimizar las posibles amenazas y debilidades que puedan presentarse en el entorno y que de alguna manera afecten la calidad de producto o servicio ofrecido.

Una parte importante de este análisis es el conocer quienes se encuentran involucrados de manera directa o indirecta dentro de los procesos operativos de una empresa, permitiendo de esta manera determinar de que forma pueden influenciar en la elaboración de los productos o servicios.

Serán abarcados los procesos relacionados con los sistemas de Gestión de Calidad, Sistemas de Gestión Ambiental y Sistemas de Seguridad y Salud Laboral, con el fin de realizar una evaluación con los pasos a seguir para implementar un Sistema Integrado de Gestión ISO, de acuerdo con las normativas vigentes.

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El primer aspecto para destacar dentro de la investigación es que se debe considerar el laboratorio como una compañía de servicios y/o manufactura, puesto que las normativas tienen la amplitud de abarcar cualquier área comercial y, de esta manera, se puede ampliar con mayor facilidad al resto de la organización, institución o empresa a la cual pertenece el mismo. En la tabla 1, se definen las variables para alcanzar los objetivos de la investigación

Objetivos	Variables	Dimensiones	Conceptualización
Análisis de la situación actual del Laboratorio.	Plan de mejora operacional	Planificación estratégica	Elaboración, desarrollo y puesta en marcha de distintos planes operativos, por parte de empresas u organizaciones para alcanzar objetivos planteados.
Enfoque en procesos de las operaciones de servicio del Laboratorio.		Enfoque a procesos	Aumento de la capacidad de un proceso, para cumplir con los requisitos establecidos, aplicando una serie de pasos que permita llegar a esa mejora buscada.
Determinación del Contexto de la Organización.		Contexto de la Organización	Proceso que determina los aspectos que influyen en la consecución de los objetivos y la sostenibilidad de esta, considerando sus factores internos y externos.
Examinar los requerimientos necesarios para implantar un sistema integrado de gestión en el laboratorio		ISO 9001: 2015 ISO 14001: 2015 ISO 45001:2018	Promueve un enfoque basado en procesos, desarrollando, implementando y mejorando la eficacia de un sistema integrado, con el fin de aumentar la satisfacción del cliente, a través del cumplimiento de sus requerimientos.

Tabla 1. Variables

Fuente: elaboración propia tomado de ISO 9001 e IICA

## ANÁLISIS SITUACIONAL DEL LABORATORIO

En esta fase se debe realizar un levantamiento de las condiciones operativas actuales del laboratorio, recopilando información acerca de la documentación existente relacionada con el cumplimiento de los requerimientos de los sistemas de gestión de calidad, gestión ambiental y gestión de seguridad y salud laboral.

Las técnicas utilizadas, son la observación directa, entrevistas al personal técnico con apoyo del material bibliográfico y las normativas vigentes aplicables.

En las tablas 2, 3 y 4 se puede observar de manera resumida los requerimientos de cada una de las normas a determinar con sus respectivos porcentajes de cumplimientos que permiten conocer el estatus del laboratorio a evaluar.

Referencia Norma ISO 9001:2015		Requerimientos			Porcentaje %	
N°	Apartado	Total, del apartado	Cumple	No Cumple	Cumple	No cumple
4	Contexto de la organización					
5	Liderazgo					
6	Planificación					
7	Apoyo					
8	Operación					
9	Evaluación del desempeño					
10	Mejora					

Tabla 2. Porcentajes de cumplimiento de los requerimientos del Sistema de Gestión de Calidad:

Referencia Norma ISO 14001:2015		Requerimientos			Porcentaje %	
N°	Apartado	Total, del apartado	Cumple	No Cumple	Cumple	No cumple
4	Contexto de la organización					
5	Liderazgo – política ambiental					
6	Planificación- Aspectos ambientales					
7	Apoyo					
8	Operación					
9	Evaluación del desempeño					
10	Mejora					

Tabla 3. Porcentajes de cumplimiento de los requerimientos del Sistema de Gestión Ambiental:

Referencia Norma ISO 45001:2018		Requerimientos			Porcentaje %	
N°	Apartado	Total, del apartado	Cumple	No Cumple	Cumple	No cumple
4	Contexto de la organización					
5	Liderazgo- política de SST					
6	Planificación- Aspectos de SST					
7	Apoyo					
8	Operación					
9	Evaluación del desempeño					
10	Mejora					

Tabla 4. Porcentajes de cumplimiento de los requerimientos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

La importancia de la determinación de porcentajes de cumplimientos radica en que las organizaciones (en este particular Laboratorios), suelen tener altos porcentajes abarcados de los tres sistemas, debido a los requerimientos legales del país donde se encuentran establecidos, pero no existe el conocimiento acerca de su relación con los Sistemas de Gestión.

## ENFOQUE A PROCESOS

El enfoque a procesos consiste en definir y gestionar sistemáticamente los procesos y sus interacciones, con el fin de alcanzar resultados previstos de acuerdo con la política de calidad establecida y las estrategias estructuradas por la dirección de la organización. (ISO 9001: 2015, 2015)

Para administrar adecuadamente un proceso orientado a la mejora continua es necesario un instrumento fundamental conocido como el Ciclo Deming o Ciclo P-H-V-A: planificar, hacer, verificar y actuar, mejorando la relación entre el ser humano y los procesos de cualquier naturaleza (Universidad TecVirtual del Sistema Tecnológico de Monterrey, 2012). La Figura 1, muestra la aplicación del ciclo PHVA en el Sistema de Gestión de Calidad.

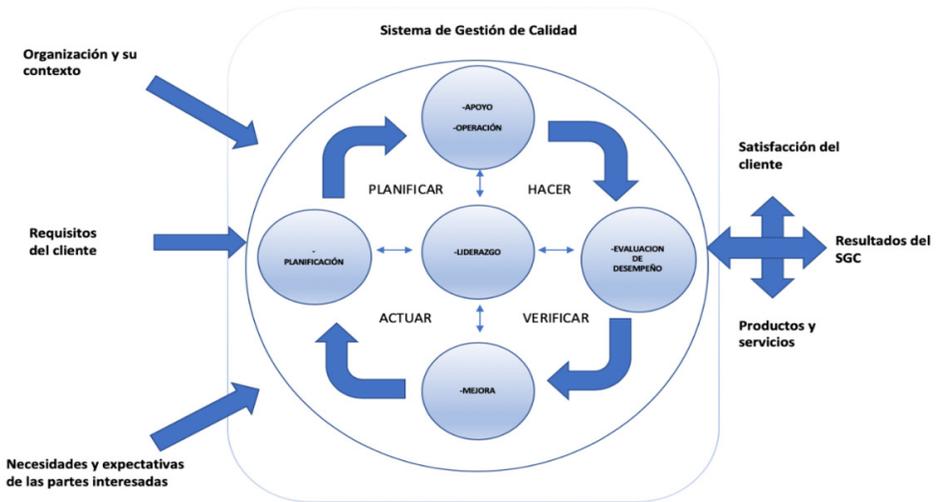


Figura 1. Ciclo de mejora continua PHVA.

Fuente: elaboración propia, extraído de FONDONORMA (2015).

Algunos beneficios de aplicar este enfoque:

- Aumento de la capacidad de centrar los esfuerzos en los procesos clave y en las oportunidades de mejora.
- Resultados coherentes y previsibles mediante un sistema de procesos alineados.
- Optimización del desempeño mediante la gestión eficaz del proceso, el uso eficiente de los recursos y la reducción de las barreras interdisciplinarias.
- Posibilidad de que la organización proporcione confianza a las partes interesadas en lo relativo a su coherencia, eficacia y eficiencia.

Para la aplicabilidad del enfoque a procesos en laboratorios, se recomienda llevar a cabo las siguientes fases:

## **Fase 1: Definición de cada proceso que forma parte de las operaciones de los servicios ofrecidos por el laboratorio**

### *Procesos de Planificación:*

Elaboración, desarrollo y puesta en marcha de distintos planes operativos, por parte de empresas u organizaciones para alcanzar objetivos planteados. El proceso de planificación de un laboratorio:

- Planificación estratégica de acciones para abordar los servicios.
- Planificación para el alcance de los Objetivos de la Calidad.

### *Procesos de Apoyo*

De acuerdo con la Guía para una gestión basada en Procesos (2009), se definen como aquellos procesos que dan soporte a los procesos operativos. Se suelen referir a procesos relacionados con la gestión de los recursos y de las actividades de seguimiento y medición.

Los procesos de apoyo del Laboratorio se encuentran estructurados de la siguiente manera:

- Proporción de recursos
- Proceso para asegurar competencia
- Proporción de información documentada

### *Procesos de operación*

Son aquellos procesos que permiten llevar a cabo la producción y/o la prestación del servicio (Guía para una gestión basada en Procesos, 2009).

- Proceso para la planificación y control operacional
- Proceso para la determinación de requisitos de servicios
- Proceso de control de recursos suministrados
- Proceso para la producción y provisión de servicios
- Proceso para la liberación de servicios
- Proceso para el control de las salidas no conformes

### *Procesos de mejora:*

Se definen como aquellos procesos que permiten hacer el seguimiento de los procesos, medirlos, analizarlos y establecer acciones de mejora (Guía para una gestión basada en Procesos, 2009).

- Proceso de tratamiento de no conformidades
- Proceso de mejora continua

## **Fase 2: Desglosar la estructura de cada proceso definido**

### *Descripción de los procesos de Planificación*

Planificación estratégica de acciones para abordar los servicios

Entradas:

Evaluación Factores internos: Política de la Calidad, Objetivos de la Calidad, requerimientos de los procesos de operación en el Laboratorio.

Evaluación de factores externos como lo son: requerimientos de los clientes, panorama socioeconómico, disponibilidad de recursos materiales en el mercado.

Actividades:

- Reuniones periódicas para revisar oferta de servicio en función a los requerimientos del cliente.
- Determinar los recursos necesarios para los servicios ofrecidos.
- Establecer procedimientos para el abastecimiento de recursos.
- Capacitar personal que carece de las competencias requeridas para el funcionamiento del SGC en el Laboratorio
- Evaluación de desempeño.

Salidas: Estrategias de mejoras de las operaciones, disminución de riesgos, aumento en la calidad del servicio y satisfacción del cliente.

Recursos humanos: jefe o director del Laboratorio, analista de Laboratorio, organización capacitadora.

Recursos físicos: infraestructura, materiales y equipos.

### *Proceso de planificación de acciones para el alcance de los Objetivos del sistema*

Entradas: Objetivos, Política Integrada.

Actividades:

- Determinar frecuencia para actualizar la Política integrada según las nuevas tendencias de las normativas asociadas
- Establecer Objetivos del sistema.
- Determinar frecuencia para actualizar los Objetivos.
- Verificar coherencia entre Objetivos y Política.
- Comunicar los Objetivos.

- Establecer mantenimiento de la documentación de los Objetivos.
- Determinar las acciones para el alcance de los Objetivos.
- Asignar al responsable.
- Definir plazo para el alcance.
- Evaluar resultados.

Salidas: Cumplimiento de los Objetivos del sistema y la Política integrada, Satisfacción del cliente.

Recursos humanos: director o jefe del laboratorio, analista de Laboratorio.

Recursos físicos: Infraestructura, materiales, normativas vigentes.

### *Descripción de los procesos de apoyo*

#### *Proceso para la proporción de recursos en el Laboratorio*

Entradas: Requerimientos de los procesos de operación en el Laboratorio, necesidades para la implementación, mantenimiento y mejora continua del SIG.

Actividades:

- Elaborar inventario de: equipos, reactivos, documentación, instrumentos, materiales de Laboratorio y material de limpieza.
- Recopilar información para elaborar perfiles de los trabajadores.
- Determinar los recursos a adquirir a través de proveedores externos en función del inventario de recursos internos.
- Reclutar personal para la operación y control de los procesos
- Modificar infraestructura: reorganizar distribución del espacio físico, remodelar instalación para restaurar componentes deteriorados.
- Calibrar, restaurar y reemplazar equipos del Laboratorio.
- Instalar elementos faltantes para asegurar iluminación.
- Programar mantenimiento total de la instalación
- Documentar información para evidenciar que los recursos son apropiados.

Salidas: Recursos necesarios para realizar procesos de operación, alcance de la satisfacción del cliente, implementación, mantenimiento, ambiente adecuado para la operación de los procesos y mejora continua del SIG.

Recursos humanos: Departamento de compras, Coordinador de Laboratorio, Analista de laboratorio, técnico de mantenimiento de equipos.

Recursos físicos: infraestructura, materiales, reactivos, equipos.

### *Proceso para asegurar competencia en el Laboratorio*

Entradas: Requerimientos de los procesos operativos, requisitos del SIG, necesidades de recursos humanos para la producción de los servicios.

Actividades:

- Determinar competencia necesaria de los trabajadores del Laboratorio que ejecutan operaciones que conforman parte de la producción del servicio ofrecido por la organización y la implantación y el mantenimiento del SIG.
- Proveer plan de capacitación adecuada para cada uno de los cargos en el Laboratorio.
- Aplicar encuesta para asegurar de que los trabajadores y usuarios del Laboratorio sean competentes para trabajar dentro de la instalación en cualquiera de las áreas.
- Documentar evidencia de la formación de cada miembro del Laboratorio.
- Tomar las acciones posibles en aras de alcanzar una propuesta de salario más competitiva.

Salidas: Mantenimiento del SIG, uso adecuado de la instalación, personal competente, usuarios competentes, aumento en la satisfacción del cliente, apoyo para el SIG.

Recursos humanos: jefe o director del laboratorio, analista de laboratorio, dirección de recursos humanos.

Recursos físicos: infraestructura, materiales, entes capacitadores.

### *Proceso para la proporción de información documentada el Laboratorio*

Entradas: requerimientos de las normativas asociadas, documentar información, necesidades de información para la eficacia del SIG, requerimientos de los procesos operativos y administrativo.

Actividades:

- Crear y actualizar de formularios para todos los documentos requeridos por SIG y la Norma.
- Identificar, publicar y mantener la terminología asociado a la documentación disponible para las partes involucradas en el Laboratorio.
- Revisar y aprobar documentos adecuadamente.
- Distribuir la información documentada por vías electrónicas y físicas a medida que sea necesario.
- Almacenar y preservar información documentada.
- Hacer seguimiento de los cambios en la documentación.
- Restaurar documentos deteriorados.
- Reproducir documentación representativa.

Salidas: Proporción, preservación y control de la información documentada.

Recursos humanos: jefe o director del laboratorio, analista de laboratorio, personal administrativo, usuarios del laboratorio (clientes)

Recursos físicos: Infraestructura, materiales, equipos, normativas vigentes.

### *Descripción de los procesos de operación*

#### *Proceso para la planificación y control operacional*

Entradas: Recursos, Política y Objetivos del sistema, necesidades de clientes y partes interesadas.

Actividades:

- Establecer criterios para la producción de los servicios de análisis.
- Actualizar los procesos para proveer servicios.
- Diseñar indicadores de gestión para los procesos operativos del Laboratorio.
- Determinar los recursos requeridos para alcanzar la conformidad de las necesidades del servicio.
- Establecer canal de comunicación con el cliente.
- Establecer plan para cambios, hacer seguimiento de estos y establecer procedimiento para la revisión de las consecuencias que resultan de cambios no previstos.

Salidas: habilitación de proceso de retroalimentación, planificación adecuada para lograr conformidad con los requisitos de servicios y productos, aseguramiento de control de procesos externos, controlar sobre los procesos del Laboratorio.

Recursos humanos: jefe o director del Laboratorio y analista de Laboratorio.

Recursos físicos: infraestructura, materiales y equipos.

#### *Proceso para la determinación de requisitos de servicios*

Entradas: Necesidades de clientes y todas las partes interesadas.

Actividades:

- Establecer canal de comunicación con el cliente.
- Comunicar al cliente información sobre los servicios ofrecidos.
- Tratar y documentar las consultas y solicitudes de los clientes.
- Recolectar información retroalimentación acerca del servicio brindado al cliente.
- Comunicar sobre la manipulación de las muestras suministradas por el cliente o terceros.
- Establecer los requisitos de los requisitos de los servicios según normas aplicables.

- Realizar reunión para determinar los requisitos de los servicios.

Salidas: Requisitos para los servicios que presta el Laboratorio.

Recursos humanos: jefe o director del laboratorio y analista de laboratorio.

Recursos físicos: infraestructura, materiales y equipos.

#### *Proceso de control de recursos suministrados externamente*

Entradas: necesidades de los clientes y partes interesadas. Requerimientos de condiciones de recursos para realizar ensayos.

Actividades:

- Establecer criterios de aceptación de productos y servicios provenientes de proveedores externos y clientes. Entre estos se destacan: muestras, reactivos, materiales, equipos, asesorías y todo recurso que se deba adquirir para la proveer servicios a las partes interesadas.
- Establecer puntos de control.
- Establecer tipo de medición.
- Asignar responsables.
- Definir parámetros para el seguimiento.
- Establecer procedimiento para recurso que no cumplan con los estándares del Laboratorio.

Salidas: Control de los recursos suministrado por proveedores externos, aumento en la calidad del servicio, mayor satisfacción del cliente.

Recursos humanos: jefe o director de laboratorio y analista de laboratorio.

Recursos físicos: infraestructura, materiales y equipos.

#### *Proceso para la producción y provisión de servicios*

Entradas: Objetivos del sistema, Política integrada, necesidades del cliente y partes interesadas.

Actividades:

- Hacer disponible las características de cada servicio y los resultados esperados.
- Elaborar manual de procedimientos para todos los procesos.
- Asegurar la disponibilidad de los recursos para la provisión de cada servicio.
- Implementar proceso de seguimiento y control de cada actividad relacionada a la provisión de servicios en puntos estratégicos de cada proceso.
- Utilizar el entorno y la infraestructura adecuada para la operación de los procesos.
- Asignar responsabilidades a personas competentes en el área.

- Validar periódicamente la capacidad del Laboratorio para la provisión de los servicios.
- Ejecución de ensayos solicitados.
- Elaboración de informe de resultados.

Salidas: Ejecución de procesos para la producción de los servicios que ofrece el Laboratorio.

Recursos humanos: jefe o director de laboratorio, analistas y supervisor de procesos de operación.

Recursos físicos: infraestructura, materiales, equipos y reactivos de laboratorio.

#### *Proceso para la liberación de servicios*

Entradas: Resultados de la producción de servicios, Objetivos del sistema, Política integrada, necesidades de los clientes y partes interesadas.

Actividades:

- Establecer las características con las cuales debe cumplir cada uno de los servicios ofrecidos por el Laboratorio.
- Verificar la conformidad del servicio.
- Liberar servicio una vez se haya recibido autorización por parte del personal designado para el aseguramiento de la calidad.
- Documentar información para evidenciar la conformidad con los criterios que se hayan establecidos por el Laboratorio y las partes interesadas.

Salidas: Servicio conforme con los requisitos de los clientes. Aumento en la satisfacción del cliente.

Recursos humanos: jefe o director del laboratorio, analista de laboratorio, personal de trabajo del Laboratorio.

Recursos físicos: infraestructura, materiales y equipos.

#### *Proceso para el control de las salidas no conformes*

Entradas: No conformidades, necesidades de los clientes y partes interesadas, Objetivos del sistema, Política integrada.

Actividades:

- Construir de formulario para el registro de no conformidades.
- Registrar todas las no conformidades.
- Utilizar herramientas para el aseguramiento de la Calidad como lo son: el diagrama de Ishikawa y el diagrama de Pareto para generar soluciones.
- Comunicar no conformidades a las partes involucradas en los procesos de producción de servicio para concientizar el equipo de trabajo.

- Diseñar acciones correctivas en función del análisis de las no conformidades.
- Separar las salidas no conformes.
- Corregir para alcanzar conformidad con los requisitos.
- Informar al cliente afectado.
- Corregir y obtener autorización para reivindicar la no conformidad.

Salidas: Control de las salidas no conformes, satisfacción del cliente, mejora en la producción del servicio.

Recursos humanos: jefe o director de laboratorio, analista de laboratorio, supervisor de procesos de operación.

Recursos físicos: infraestructura, materiales y equipos.

### *Definición de procesos de mejora*

#### *Proceso de tratamiento de no conformidades*

Entradas: No conformidades.

Actividades:

- Tomar decisiones para controlar la no conformidad y corregir la misma.
- Enfrentar y asumir consecuencias.
- Evaluar la necesidad de las acciones correctivas.
- Revisar eficacia de acciones correctivas tomadas.
- Elaborar e implementar formulario para la documentación de no conformidades.

Salidas: Tratamiento de conformidades adecuado, acciones correctivas, mitigación de no conformidades y sus causas.

Recursos humanos: jefe o director de laboratorio, analista de laboratorio.

Recursos físicos: infraestructura, materiales y equipos.

#### *Proceso de mejora continua*

Entradas: Resultados del análisis y la evaluación del SIG, las salidas de la revisión por la dirección.

Actividades:

- Determinar si hay necesidades u oportunidades que deben considerarse como parte de la mejora continua.
- Determinar acciones para asegurar la mejora continua.

Salidas: Acciones para la mejora continua.

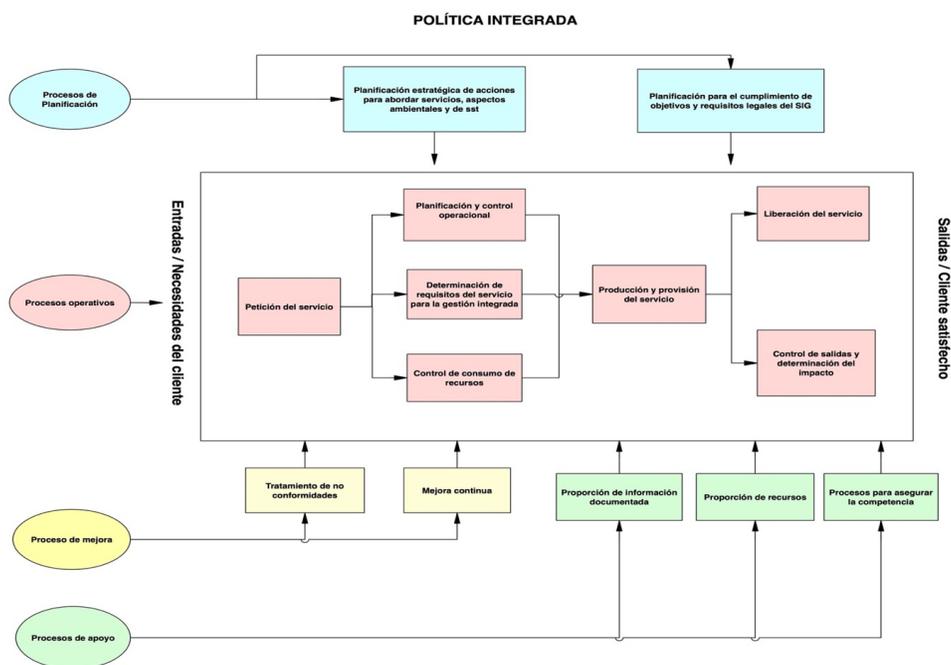
Recursos humanos: jefe o director de laboratorio, analista de laboratorio.

Recursos físicos: infraestructura, materiales y equipos.

### Fase 3: Mapa de procesos del Laboratorio de Calidad Ambiental

En la figura 2, se puede observar el diagrama de procesos para un laboratorio, partiendo de los requerimientos del cliente, en la solicitud del servicio, pasando por todos los controles operacionales necesarios para posteriormente, iniciar el proceso de elaboración de ensayos. Una vez realizados los mismos, se realiza la liberación del servicio, haciendo entrega del informe de resultados de las muestras analizadas. En simultaneo, se lleva a cabo (de ser necesario) los controles para las salidas que presenten alguna no conformidad por parte del cliente.

De igual manera, se presentan las áreas de planificación, apoyo y mejora, que, aunque no tienen relación directa con las operaciones, son el aporte fundamental en la generación de estrategias y funcionamiento efectivo de las mismas.



### INDICADORES DE GESTIÓN

El desarrollo de indicadores de gestión es necesario para la evaluación de la efectividad de los procesos, disminuir las no conformidades y ver con mayor facilidad las oportunidades de mejora que pueden tener las operaciones en el Laboratorio.

La primera etapa en la definición de indicadores consiste en identificar donde y cuando se deben realizar las mediciones. Basado en esto, las mediciones se enfocarán en:

### **Medidores de eficacia:**

Los medidores de eficacia son aquellos que permitan determinar si se están cumpliendo los objetivos planteados, con el fin de mejorar los resultados globales de una organización, controlar la evolución y satisfacer las necesidades del cliente. (Salgueiro, 2001)

Los indicadores básicos para un laboratorio son los siguientes:

1. Evaluación y análisis de la incertidumbre de medición
2. Calidad de Servicio
3. Satisfacción del cliente
4. Capacitación de personal.

### **Medidores de eficiencia:**

Según Salgueiro (2001), hay una tendencia de medir la eficiencia en función al aprovechamiento de los recursos, esto se debe a que hay una efectividad importante si estos son reducidos, teniendo la misma productividad y obteniendo los mismos resultados:

1. Aprovechamiento de material consumible.
2. Aprovechamiento de reactivos.
3. Entrega en los tiempos acordados.

### **Indicador ambiental:**

1. Huella de carbono del laboratorio: cuantificación de la huella de carbono del tipo organizacional, considerando emisiones directas (Alcance 1) e indirectas (Alcance 2 y 3).

### **Indicador de seguridad:**

1. Accidentes en el laboratorio:

Para la definición de cada indicador, es necesario estructurar variables que tengan una influencia significativa en los resultados y que se deban mantener bajo control.

Las variables empleadas son:

1. Nombre.
2. Descripción
3. Método de cálculo
4. Frecuencia
5. Responsable

## CONTEXTO DE LA ORGANIZACIÓN

Según la norma ISO 9000:2015 (2015), el contexto de la organización es un proceso que determina los aspectos que influyen en la consecución de los objetivos y la sostenibilidad de esta, considerando sus factores internos y externos.

De acuerdo con la Escuela Europea de Excelencia (2020), las preguntas frecuentes, que permiten analizar el contexto de la organización:

- ¿Qué se nos da mejor?
- ¿Qué les preocupa a los competidores?
- ¿Qué hacemos para realizar ventas con clientes nuevos?
- Dentro de nuestra cultura organizacional, ¿Qué aspectos son relativamente importantes para nosotros?
- ¿Qué nos podría sacar del negocio si no somos cautos?
- En relación con nuestra organización, ¿qué podría no gustarles a nuestros clientes potenciales?
- ¿Qué es lo que la gente opina que debemos mejorar en nuestra organización?
- ¿Qué debemos mejorar según nuestros nuevos empleados?
- ¿Qué productos o servicios demandan nuestros clientes?
- ¿Cuáles son las debilidades de los competidores que debemos aprovechar?
- ¿De qué nuevas tecnologías nos podríamos beneficiar?
- ¿En qué departamento aumentan los costos de forma exponencial?
- ¿Sobre qué reclaman los clientes?
- ¿Qué aspectos legales o reglamentarios pueden afectarnos más?
- ¿En qué puestos necesitamos mejorar nuestra formación?

## PARTES INTERESADAS

Las partes interesadas de una Organización son todas aquellas (no solamente el cliente) que puedan poner en riesgo la sostenibilidad de ésta de no cumplir con sus expectativas. Por esto, las organizaciones definen cuales son los resultados que esperan estas partes y poder reducir estos riesgos (ISO 9000:2015, 2015).

Según la Escuela Europea de Excelencia (2020), las partes interesadas se definen como el conjunto de factores internos y externos que influyen en una organización.

En síntesis, se refiere a: los propios clientes de la empresa, los empleados, socios, propietarios, proveedores, competidores, sindicatos, organismos reguladores e incluso grupos ciudadanos que puedan impartir algún tipo de influencia.

## Factores internos

Se entiende como todos aquellos aspectos sobre los cuales la organización puede ejercer un control, son inherentes de la propia empresa y su alta gerencia puede modificar cualquiera de estos, adaptándose a las condiciones cambiantes (Escuela Europea de Excelencia 2020).

## Factores externos

Los factores externos son los elementos sobre los cuales la organización no puede tener control alguno, son estas reglas que aplican para todas las empresas y estas deben ser atendidas para la continuidad del funcionamiento (Escuela Europea de Excelencia 2020).

## Influencia de las partes interesadas en un SGC

Luego de definidos los factores internos y externos de una organización, se debe conocer cuáles de estos son los pertinentes en la implantación de un Sistema Integrado de Gestión, tomando en cuenta cuáles son los aspectos suficientemente importantes para controlarlos y que no afecten los objetivos planteados (Escuela Europea de Excelencia 2020).

Dentro de las partes a considerar, se encuentran:

- **Clientes:** los productos deben cumplir con el estándar de calidad y garantías que los clientes esperan.
- **Recursos Humanos:** para alcanzar una ventaja competitiva se deben considerar aspectos como los planes de desarrollo profesional, capacitaciones y su orientación.
- **Accionistas/Socios/Propietarios:** son los responsables de planificar estrategias que permitan mejorar continuamente y crecer la organización, en términos de rentabilidad, productividad y reducción de costos.
- **Proveedores:** es importante el mantenimiento de los proveedores, debido a que éstos son los responsables de suministrar la materia prima para la obtención de productos o servicios de calidad.
- **Competencia:** es importante mantener conocimiento acerca de los competidores, con el fin de detectar posibles amenazas y poder tener respuestas adelantadas.
- **Agentes sociales:** si se desempeñan actividades en entornos sociales, como es este caso en particular, se deben conocer y cuidar la interacción entre los servicios o productos ofrecidos y los ciudadanos que lo rodean.

## Análisis de Factores Internos y Externos

El análisis de los factores internos y externos de una organización, se llevan a cabo a través de la elaboración de las matrices que se describen a continuación:

### *Matriz EFI*

Según Brenes (1998), la matriz de evaluación de factores internos se denomina matriz EFI y consiste en desarrollar la lista de fortalezas y debilidades; posteriormente se asigna un peso de 0,0 a 1,0 a cada una de ellas, relacionando cada característica con su peso relativo para el éxito de la organización (la suma será 1,0) y, luego se califica cada característica con el criterio de fortaleza o debilidad menor y fortaleza o debilidad mayor, asignando números del 1 al 4.

### *Matriz EFE*

Para el análisis de los factores externos o matriz EFE, se sigue el mismo procedimiento que con la matriz EFI, pero en ésta se enlistan las oportunidades y amenazas. En esta oportunidad se obtiene una calificación para la empresa del 1 al 4, la cual se compara con el promedio del sector institucional al que pertenece (Brenes, 1998).

### *Matriz DOFA*

Es una estructura, según Correa y López (2007), que facilita la comparación de las amenazas y oportunidades externas con las fuerzas y debilidades internas de la organización. Esta herramienta permite desarrollar, a partir de juicios sólidos y pensamientos estratégicos y sistémicos, cuatro tipos de estrategias a saber: estrategias de debilidades y oportunidades (DO), estrategias de fortalezas y amenazas (FA), estrategias de fortalezas y oportunidades (FO) y estrategias de debilidades y amenazas (DA).

Correa y López (2007) establecen:

- **Estrategias DO:** son formuladas para superar debilidades internas, a partir de oportunidades externas.
- **Estrategias FA:** consiste en el reconocimiento de las fortalezas de la organización y poder evitar o minimizar las consecuencias que pueden traer las amenazas externas.
- **Estrategias FO:** se estructuran con el fin de aprovechar las fortalezas internas para sacar ventaja de las oportunidades externas de la organización.
- **Estrategias DA:** son técnicas de conservación que aspiran disminuir las debilidades internas e impedir las amenazas externas de la organización.

## **ALCANCE DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN (SIG)**

Según la Escuela Europea de Excelencia (2015), el alcance define el punto del sistema de gestión que se extiende dentro de las operaciones de la organización y detalla cualquier requisito de la norma que no aplique, justificando los mismos. La norma afirma que el sistema puede incluir a todas las organizaciones, a funciones específicas dentro de la empresa, secciones identificadas o a funciones.

De acuerdo con Escuela Europea de Excelencia (2015), existen tres aspectos a considerar al momento de definir el alcance:

1. Factores internos y externos relevantes para el cumplimiento de los objetivos de la organización
2. Los requerimientos de las partes interesadas.
3. El producto o servicio ofrecido por la empresa.

El laboratorio debe incluir dentro de su alcance todos los requisitos aplicables de las normativas vigentes relacionadas con el SIG, sin utilizar como excusa los requisitos no aplicados para no garantizar la calidad del servicio. Se deben indicar los productos o servicios cubiertos por el SIG y justificar todo aquello que no aplique dentro de la organización (Escuela Europea de Excelencia, 2015).

El alcance debe identificar las ubicaciones físicas donde es aplicado el SIG, los productos o servicios que se ofrecen dentro de los procesos. Debe ser lo suficientemente claro para describir lo que hace. No tiene un límite de tamaño, debe poseer la suficiente información para explicar que se encuentra cubierto en cada proceso del sistema, dejando en claro que incluye y que no. (Escuela Europea de Excelencia, 2015).

El tener una declaración de alcance clara y concisa, facilita el enfoque de los esfuerzos del Sistema Integrado de Gestión y evita preguntas innecesarias sobre las actividades que puede realizar (Escuela Europea de Excelencia, 2015).

## **IMPLANTACIÓN DE UN SIG EN UN LABORATORIO**

Para el cumplimiento de esta fase, es necesario realizar una evaluación de los requerimientos para implantar un sistema integrado de gestión. En esta etapa se utilizaron recursos bibliográficos como la guía del Autor Pedro Mas Alique, Sistemas Integrados de Gestión y el documento técnico Introducción al Anexo SL de BSI. De igual manera se tomó en cuenta el artículo “Pasos a seguir para implementar un sistema integrado de gestión ISO”, de la Escuela Europea de la Excelencia y la información obtenida a través de la Corporación Internacional Líderes Latinoamérica.

De este levantamiento bibliográfico, se obtuvo un formulario de verificación y un (apéndice A) y un modelo de plan de integración (apéndice B), con la información detallada de cada requerimiento por normativa a integrar (calidad, ambiente y seguridad), la cual

permite conocer aquellos aspectos comunes que poseen los sistemas y desarrollarlos de manera conjunta, disminuyendo las repeticiones y facilitando los procesos para una futura certificación.

Finalmente, se realizó un análisis general de la posibilidad de implantación de un Sistema Integrado de Gestión para laboratorios, generando las siguientes recomendaciones:

1. Como primer paso para el proceso de integración para tener en cuenta, es que este proceso debe ser gerenciado como un proyecto y, por ello, es importante designar un equipo de proyecto, que cuente con un líder y que incluya un representante de la Alta Gerencia.
2. Luego, deben ser determinados los objetivos de integración y definido el alcance del sistema integrado, este último ya se encuentra adaptado a un sistema unido considerando todos los aspectos en los tres sistemas de gestión. Posteriormente, se debe elaborar un plan de producción que incluya un cronograma con fechas de vencimiento.
3. Una vez, establecidos los objetivos, se debe acordar como será el tratamiento de la transición, de acuerdo con los resultados individuales de cada sistema (calidad, ambiente y seguridad), lo cual requerirá la participación de partes interesadas en el área ambiental y de seguridad.
4. Luego de tener la metodología de transición, se deben establecer cuál será la estructura de los documentos claves en el sistema integrado, considerando la experiencia de las partes interesadas en sus diferentes áreas, ayudando a entender cómo se relacionan los diversos documentos entre sí.
5. Posteriormente, se debe definir el plan detallado del proyecto, establecer las expectativas y necesidades de las partes interesadas en este sistema integrado, analizar los procesos, los riesgos de todas las áreas del laboratorio, documentar el sistema ya integrado, comunicar a las partes interesadas, capacitar al personal en el sistema, establecer un plan de mejora continua.

## CONCLUSIONES

- Las operaciones generales en un laboratorio se llevan a cabo a través de procesos operativos que van desde la recepción del servicio (entrada), los controles operativos, de recursos y de calidad de servicio, proceso medular de ejecución de ensayos y la liberación del servicio como salida, acompañado de un proceso de control de salida no conforme.

- Los procesos medulares, vienen acompañado de procesos de planificación, los cuales generan las estrategias para la eficacia de las funciones operativas. De igual manera, se cuenta con procesos de apoyo y mejora que brindan los recursos necesarios para alcanzar los objetivos de la organización.

- Por otro lado, se estructuraron indicadores de eficacia, eficiencia, ambientales y de evaluación de riesgos, que permiten evaluar las operaciones para disminuir no conformidades y propiciar la mejora del servicio. Los indicadores de eficacia

propuestos son: Cálculo de incertidumbre, calidad del servicio, satisfacción del cliente y capacitación del personal. Los indicadores de eficiencia fueron: aprovechamiento de recursos (material consumible y reactivos) y tiempos de entrega. Se propuso un indicador de cálculo de huella de carbono y la cuantificación de los accidentes producidos en el laboratorio.

- Con respecto a la factibilidad de implantación, con lo expresado anteriormente y basado en las referencias bibliográficas que permiten evaluar cuales son los requerimientos de un sistema integrado, se establecieron los elementos base para iniciar un SIG (Enfoque a procesos, Contexto, Partes Interesadas, Alcance e Indicadores) y se proporcionaron herramientas para la verificación de los parámetros necesarios para el establecimiento de este en un laboratorio.

- Finalmente se puede decir que es factible implantar un sistema integrado de gestión dentro de las instalaciones de un Laboratorio de cualquier rubro.

## REFERENCIAS

ANAEAS, (2017). *Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos*. Asunción. Paraguay.

Beltran, J. Carmona, M. Carrasco, R. Rivas, M. y Tejedor, F. (2009). *Guía para una Gestión Basada en Procesos*. Centro Andaluz para la excelencia en la Gestión. España.

Cachutt (2015). *Objetivos de la Calidad e indicadores de gestión*. [archivo PDF]. Caracas: FONDONORMA

Correa, J. y López, M. (2007). *Planeación estratégica de tecnologías informáticas y sistemas de información*. Manizal, Colombia: Universidad de Caldas, Comité Editorial.

Corporación Internacional Líderes Latinoamérica (2024). *Diplomado en Sistemas Integrados de Gestión y Auditor ISO 9001:2015, ISO 14001: 2015 ; ISO 45001:2018*. Colombia.

Escuela Europea de la Excelencia (2017). *Pasos a seguir para implementar sistemas integrados de gestión ISO*. Obtenido el 10 de diciembre de 2021 en: <https://www.escolaeuropeaexcelencia.com/2017/11/pasos-seguir- implementar-sistema-integrado-gestion-iso/>

Elías, M., y González, V. (2018). *Análisis Técnico-Económico de una propuesta del Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001:2015 en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Metropolitana*. (tesis de pregrado). Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela.

EN ISO 9001: 2015 (2015), *Sistemas de Gestión de Calidad. Requisitos*. España

EN ISO 9000: 2015 (2015), *Sistemas de Gestión de Calidad. Fundamentos y Vocabulario*. España.

EN ISO 14001: 2015 (2015), *Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos*. España

EN ISO 45001: 2018 (2018), *Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo. Requisitos*. España.

García, M., Quispe, C. y Ráez, L. (2014). *MEJORA CONTINUA DE LA CALIDAD EN LOS PROCESOS*. Industrial Data, 6(1), p.089

IICA (1989). *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Administración y Gestión de Laboratorios*. México

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2003). *Metodología de la Investigación*. 3a. ed. México: McGraw-Hill Interamericana. ISBN 970-10- 3632-8.

Lugo, A (2020). *Diseño de un modelo gerencial para la mejora de las operaciones en el Laboratorio de Calidad Ambiental en la Universidad Metropolitana*. (tesis postgrado). Universidad Metropolitana. Caracas, Venezuela.

Mas, P (2018). *Sistemas Integrados de Gestión*. Universidad Católica de Ávila. España.

Mora, D. (2002). *Aplicación metodológica de la investigación acción*. Trabajo no publicado. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

Tarí Guilló, J. (2000). *Calidad total*. [Alicante]: Universidad de Alicante.

Requisitos		ISO 9001	ISO 14001	ISO 45001	Acciones para la implantación de los requisitos
Contexto de la organización	Comprensión de la organización y su contexto	4.1	4.1	4.1	
	Comprensión de los requisitos de las partes interesadas	4.2	4.2	4.2	
	Alcance del sistema integrado de gestión	4.3	4.3	4.3	
	El sistema integrado de gestión	4.4	4.4	4.4	
Liderazgo	Liderazgo y compromiso	5.1	5.1	5.1	
	Enfoque al cliente	5.1.2	-	-	
	Política integrada	5.2	5.2	5.2	
	Roles, responsabilidades y autoridades	5.3	5.3	5.3	
	Consulta y participación de los trabajadores	-	-	5.4	
Planificación	Riesgos y oportunidades	6.1	6.1	6.1	
	Identificación y evaluación de aspectos ambientales	-	6.1.2	-	
	Identificación de peligros, evaluación de riesgos laborales y planificación de acciones	-	-	6.1.2	
	Requisitos legales y otros requisitos	4.2, 5.1.2, 8.2.2, 8.2.3, 8.3.3, 8.4.2 y 8.5.5	6.1.3 y 9.1.2	6.1.3 y 9.1.2	
	Objetivos y programas	6.2	6.2	6.2	
	Planificación de los cambios	6.3 y 8.5.6	6.1.2, 7.4.2 y 8.1	8.1.3	
Apoyo	Recursos	7.1.1 y 7.1.2	7.1	7.1	
	Infraestructura	7.1.3	6.1.3 y 8.1	6.1.3 y 8.1	
	Ambiente para la operación de los procesos	7.1.4	-	-	
	Control de los equipos de seguimiento y medición	7.1.5	9.1.1	9.1.1	
	Conocimientos de la organización	7.1.6	-	-	
	Competencia	7.2	7.2	7.2	
	Toma de conciencia	7.3	7.3	7.3	
	Comunicación	7.4	7.4	7.4	
	Documentación del sistema integrado de gestión	7.5	7.5	7.5	
Operación	Planificación y control operacional	8.1 y 8.5.1	8.1	8.1	
	Preparación y respuesta ante emergencias	-	8.2	8.2	
	Requisitos para los productos y servicios	8.2	-	-	
	Diseño y desarrollo de productos y servicios	8.3	8.1	6.1.2	
	Compras	8.4	8.1	8.1.4	
	Identificación y trazabilidad	8.5.2	-	-	

	Propiedad del cliente o de los proveedores externos	8.5.3	-	-
	Preservación	8.5.4	-	-
	Actividades posteriores a la entrega	8.5.5	-	-
	Liberación de los productos y servicios	8.6	-	-
Evaluación del desempeño	Seguimiento, medición y análisis	9.1.1 y 9.1.3	9.1.1	9.1.1
	Satisfacción del cliente	9.1.2	-	-
	Auditoría Interna	9.2	9.2	9.2
	Revisión por la dirección	9.3	9.3	9.3
Mejora	Incidentes, no conformidades y acciones correctivas	10.1	10.1	10.1
	Mejora continua	10.2	10.2	10.2

#### APÉNDICE A: Formulario de proyecto de integración

Fuente: Corporación líderes Latinoamérica (2024).

Actividad	Etapa del Ciclo PHVA	Objetivo	Responsable(s)
<b>Fase I. Análisis inicial del contexto (Contexto de la organización)</b>			
Realizar la identificación y comprensión del contexto de la organización.	P		
Identificar las necesidades y expectativas de las partes interesadas	P		
Establecer el alcance del Sistema Integrado de Gestión	P		
Determinar los procesos que conformarán el Sistema Integrado de Gestión	P		
<b>Fase II. Liderazgo y planificación del Sistema Integrado de Gestión (Liderazgo, riesgo y oportunidades)</b>			
Determinar la planificación estratégica del Sistema Integrado de Gestión: compendio de políticas, objetivos, misión y visión	P		
Establecer el balance score card (cuadro de mando integral) asociado a los controles operacionales a implementar para la medición, control y seguimiento al desempeño del Sistema Integrado de Gestión.	P		
Establecer responsabilidades, funciones, niveles de autoridad y capacidad para la rendición de cuentas para el Sistema Integrado de Gestión	P		
Reconocer los riesgos y oportunidades asociados a la gestión de la calidad, seguridad y salud en el trabajo, gestión ambiental	P		

#### APÉNDICE B: Plan de integración

Fuente: Corporación líderes Latinoamérica (2024).

# INFLUENCIA EN EL RANURADO INTERNO DE UN TUBO RECEPTOR SOBRE LA GENERACIÓN DIRECTA DE VAPOR, DEFORMACIÓN Y ESFUERZOS TÉRMICOS

*Data de aceite: 02/05/2024*

### **V.M. Maytorena**

Universidad de Sonora, DIQyM-UNISON,  
Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N,  
Hermosillo, Sonora  
\* Autor de correspondencia

### **S. Moreno**

Universidad de Sonora, DIQyM-UNISON,  
Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N,  
Hermosillo, Sonora

### **R.L. Duran**

Universidad de Sonora, DIQyM-UNISON,  
Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N,  
Hermosillo, Sonora

### **J.F. Hinojosa**

Universidad de Sonora, DIQyM-UNISON,  
Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N,  
Hermosillo, Sonora  
\* Autor de correspondencia

tubos son representativos de los receptores tubulares externos empleados en sistemas de torre central, que operan mediante la generación directa de vapor (DSG), bajo una concentración solar no uniforme, alcanzando un valor máximo de  $0.93 \text{ MW/m}^2$ . Además, se analiza un flujo másico subenfriado de  $0.678 \text{ kg/s}$  a  $472 \text{ K}$  y una presión de  $4.5 \text{ MPa}$ . La comparativa abarca los campos de temperatura, gradientes térmicos en la pared del tubo, estados de subenfriamiento y sobrecalentamiento, detección del punto de inicio de la ebullición nucleada y de la generación neta de vapor, así como las deformaciones y esfuerzos térmicos para cada sistema. Los resultados revelan que el tubo ranurado consigue una reducción significativa tanto en los gradientes térmicos como en la temperatura máxima, logrando disminuciones del 27% y  $130 \text{ K}$ , respectivamente; los esfuerzos térmicos se reducen en un 33%, las caídas de presión en un 20%, y se mantiene la calidad del vapor en la salida (11%). Se concluye que las ranuras, dispuestas estratégicamente en el interior del tubo, ofrecen una solución viable para operar el receptor tubular con mayor seguridad estructural y eficiencia térmica, sin comprometer la generación de vapor. Esto contribuye al aumento de la

**RESUMEN:** Este estudio se centra en el análisis de una estrategia pasiva mediante el uso de ranuras, con el objetivo de atenuar los gradientes térmicos presentes en los tubos receptores solares estándar, lisos, y de esta manera, mejorar su estabilidad estructural. La investigación comprende la comparación entre dos tubos: uno liso, de tipo convencional, y otro ranurado. Estos

durabilidad de estas tecnologías solares.

**PALABRAS-CLAVE:** Tubo ranurado, Receptor tubular, Torre solar, Generación directa de vapor, Estrés térmico, Deformación.

## INFLUENCE OF THE INTERNAL GROOVE OF A RECEIVING TUBE ON THE DIRECT GENERATION OF STEAM, DEFORMATION AND THERMAL STRESSES

**ABSTRACT:** This study focuses on the analysis of a passive strategy through the use of grooves, aimed at mitigating the thermal gradients present in standard, smooth solar receiver tubes, thereby improving their structural stability. The research involves a comparison between two tubes: one smooth, of conventional type, and another grooved. These tubes are representative of the external tubular receivers used in central tower systems, which operate through direct steam generation (DSG), under non-uniform solar concentration, reaching a maximum value of  $0.93 \text{ MW/m}^2$ . Additionally, a subcooled mass flow of  $0.678 \text{ kg/s}$  at  $472 \text{ K}$  and a pressure of  $4.5 \text{ MPa}$  are analyzed. The comparison encompasses temperature fields, thermal gradients in the tube wall, states of subcooling and superheating, detection of the onset of nucleate boiling and net vapor generation, as well as deformations and thermal stresses for each system. The results reveal that the grooved tube achieves a significant reduction in both thermal gradients and maximum temperature, with decreases of 27% and  $130 \text{ K}$ , respectively; thermal stresses are reduced by 33%, pressure drops by 20%, and the quality of the vapor at the outlet is maintained (11%). It is concluded that grooves, strategically placed inside the tube, offer a viable solution for operating the tubular receiver with greater structural safety and thermal efficiency, without compromising steam generation. This contributes to the increased durability of these solar technologies.

**KEYWORDS:** Grooved tube, Tubular receiver, Solar tower, Direct steam generation, Thermal stress, Deformation

## INTRODUCCIÓN

Ante la urgencia de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y los consiguientes desafíos ambientales, se hace imprescindible la reducción en el uso de combustibles fósiles, promoviendo en su lugar el desarrollo y adopción de tecnologías basadas en energías renovables. Dentro de este contexto, la energía solar emerge como una alternativa prometedora para la producción de electricidad limpia, destacando su potencial a través de sistemas fotovoltaicos y de energía solar concentrada (CSP, por sus siglas en inglés) (Praveen et al., 2018; Awan, 2019). Entre las tecnologías CSP, las de torre central, cilindroparabólicas, Fresnel lineales y discos Stirling se posicionan como las principales (González-Roubaud, Pérez-Osorio y Prieto, 2017), siendo las plantas de potencia de torre central con generación directa de vapor (DSG, por sus siglas en inglés) identificadas recientemente como una de las opciones más prometedoras dentro del ámbito CSP (Saghafifar, Mohammadi y Powell, 2020). La DSG facilita la transformación directa del agua en vapor sobrecalentado al pasarla por tubos receptores expuestos a la energía solar concentrada, vapor que luego impulsa las

turbinas del ciclo de potencia Rankine (Prieto et al., 2018). Sin embargo, esta modalidad de operación puede inducir gradientes térmicos significativos y diferencias de temperatura entre las caras irradiadas y no irradiadas de los tubos, originando estrés térmico y deformaciones (Montoya et al., 2018; Wan et al., 2018; Maytorena et al., 2021).

Para mejorar la eficiencia térmica y reducir los riesgos estructurales asociados a los receptores tubulares, se han explorado soluciones como la incorporación de hoyuelos, ranuras y aletas en la superficie interna de estos tubos (Bellos, Tzivanidis y Tsimpoukis, 2018; Bilal Awan et al., 2020; Peng, Li y Liang, 2020). Dado este contexto, el presente estudio propone analizar el impacto de introducir ranuras en un tubo receptor convencional, liso, perteneciente a un sistema de torre central con DSG. El objetivo es evaluar cómo estas modificaciones pueden contribuir a la reducción de la temperatura y los gradientes térmicos en el tubo receptor, así como a la mejora en el desempeño estructural y la prolongación de la vida útil de estas tecnologías solares.

## METODOLOGÍA

### Definición del problema físico

Se eligió como objeto de estudio un tubo que simula ser un receptor tubular externo operando bajo el sistema de DSG. Este tubo está elaborado con la aleación HAYNES® 230®, característica por su alta resistencia y durabilidad, y presenta una longitud total ( $L$ ) de 10 metros.

El diseño inicial se basa en un tubo con una superficie interna sin modificaciones, conocido como tubo liso. Este modelo cuenta con un espesor de pared de 5 mm ( $t$ ) y un radio externo ( $r_o$ ) de 12.7 mm. En la Figura 1, se realiza una comparativa visual entre el tubo liso tradicional y el diseño innovador propuesto: el tubo ranurado. Las ranuras incorporadas al tubo ranurado se caracterizan por tener una profundidad de 2 mm y están dispuestas sobre la pared interna del tubo en un arco que comprende desde los 270° hasta los 90°. Este diseño específico asegura que el tubo ranurado mantenga un espesor mínimo de pared ( $t_{\min}$ ) de 3mm. Además, incorpora tres bordes transversales con un área de 4 mm<sup>2</sup> cada uno, que podrían funcionar eficazmente como aletas longitudinales proporcionando soporte estructural adicional. Estos bordes están dispuestos de manera equidistante, cada uno separado por un ángulo  $\Delta\theta$  de 45°.

Esta configuración busca no solo mejorar la eficiencia térmica del sistema DSG mediante una distribución más uniforme del calor, sino también reforzar la resistencia y estabilidad estructural del tubo bajo condiciones de operación exigentes.

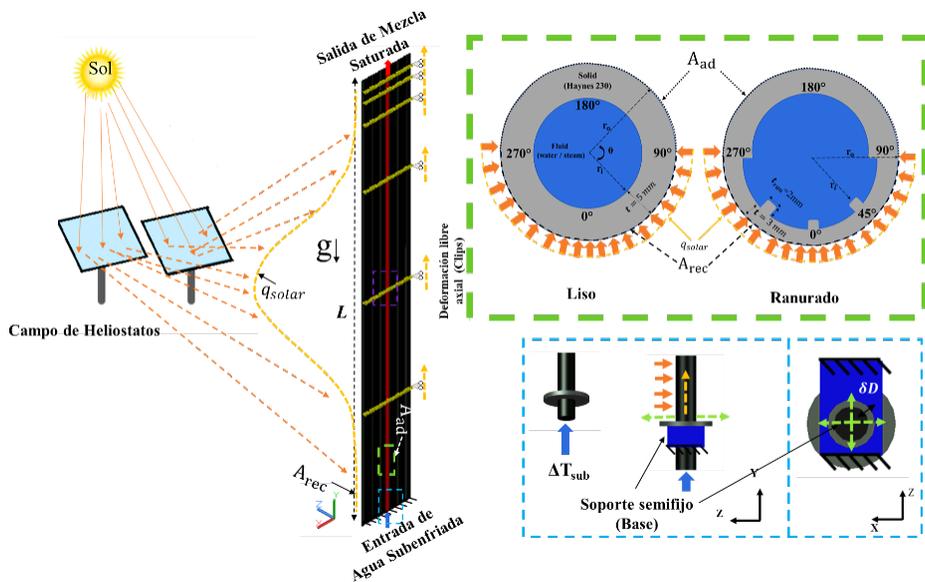


Fig. 1. Esquema del sistema físico: Receptores tabulares externos

Para cada receptor, el agua se introduce desde la parte inferior bajo condiciones de subenfriamiento ( $\Delta T_{\text{sub}} \approx 60\text{K}$ ), manteniendo una presión de 4.5 MPa y un caudal de 0.678 kg/s. Se asume un flujo solar neto ( $q_{\text{solar}}$ ) de 0.8 MW/m<sup>2</sup> en promedio, el cual es simétrico, pero no uniforme, alcanzando un pico de 0.935 MW/m<sup>2</sup> en  $L=5\text{m}$ . Este flujo solar incide sobre el área designada para la recepción ( $A_{\text{rec}}$ ), que corresponde al 50% de la superficie total del tubo receptor, mientras que la parte restante se considera adiabática ( $A_{\text{ad}}$ ), tal como se detalla en la Figura 1.

Los receptores analizados están fijados mediante seis clips de 1 pulgada de longitud y 3 pulgadas de largo con un espesor de 2 mm, distribuidos estratégicamente a lo largo de  $L$  (en las posiciones 2.5m, 5.0m, 7.5m, 9.0m, 9.5m, 9.75m, y 10m) y ubicados en la zona  $A_{\text{ad}}$  a  $\theta=180^\circ$ . Estos clips restringen el movimiento del tubo a desplazamientos axiales en sus puntos de fijación (Y). El soporte base facilita la expansión térmica ilimitada del tubo y permite una deformación máxima de 2 mm ( $\delta D$ ) en el plano ZX, limitando las deformaciones del tubo a la dirección del flujo de agua (Y+), como se muestra en la Figura 1 (marco azul punteado, en la esquina inferior derecha). Finalmente, el soporte superior solo restringe la deformación en la dirección Z. Las propiedades termofísicas del agua/vapor fueron tomadas de (Maytorena and Hinojosa, 2019a) y las propiedades mecánicas de (Maytorena et al., 2021).

## Modelos matemáticos, independencias de malla y algoritmos de solución

Para el modelado del cambio de fase se implementó un enfoque euleriano bifásico, fundamentado en las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía para cada fase (líquida y de vapor). Además, se incorporó el modelo de ebullición en la pared RPI modificado como término fuente, representando el flujo de calor en la pared interna de los tubos. Estos modelos son descritos con amplitud en Maytorena and Hinojosa (2019b). En cuanto al análisis estructural, se basó en el modelo de un tubo cilíndrico hueco, considerando la influencia de los campos de temperatura y los puntos de anclaje, descrito exhaustivamente en Maytorena et al. (2021). Los sistemas modelados fueron analizados en geometrías tridimensionales (3D) y bajo condiciones de estado estacionario. La resolución de los modelos matemáticos se llevó a cabo mediante el uso de ANSYS FLUENT para la dinámica de fluidos computacional (CFD) y ANSYS Static Structural para el análisis por elementos finitos (FEA), ambos en su versión 16.

## Comparación con datos experimentales (validación)

Para validar el modelo de cambio de fase (generación directa de vapor), se empleó un experimento documentado por Bartolemei y Chanturiya (1967). Dicho experimento utilizó una tubería de acero dispuesta verticalmente (de superficie lisa), con un diámetro interior/ exterior de 15.4 mm/25.4 mm y una longitud de 2 m. Se aplicó un flujo de calor uniforme de 0.57 MW/m<sup>2</sup> a la tubería. El agua fue introducida en la parte inferior de la tubería a un flujo másico de 900 kg/m<sup>2</sup>s ( $G$ ) y un subenfriamiento ( $\Delta T_{\text{sub}}$ ) de 60 K.

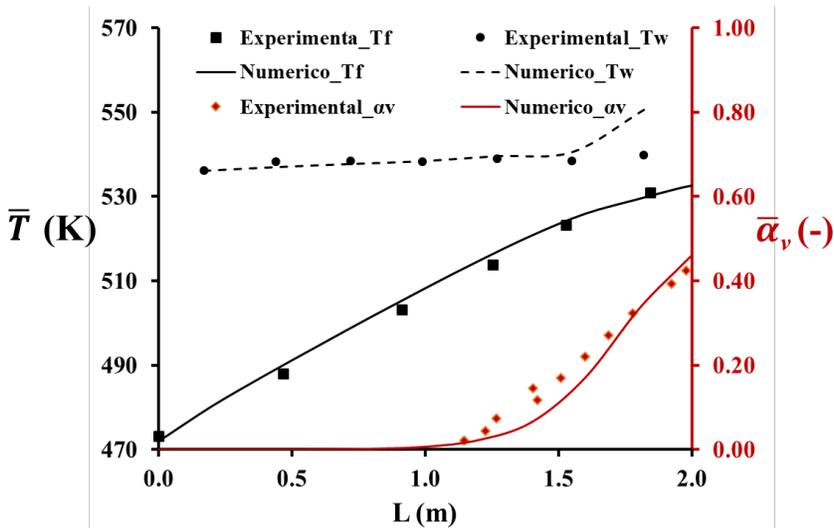


Fig. 2. Comparación entre los puntos experimentales y los perfiles numéricos de  $\bar{\alpha}_v$  y  $\bar{T}_f$ .

La comparativa entre los resultados experimentales y numéricos relacionados con el proceso de cambio de fase se ilustra en la Figura 2. En esta figura, es posible apreciar cómo la fracción volumétrica promedio de vapor ( $\bar{\alpha}_v$ ) logra replicar los valores y la tendencia observada en los experimentos, evidenciando un alto grado de correlación con un  $R^2=0.98$  (representado por una línea roja sólida). Por otro lado, los datos numéricos referentes a la temperatura media del fluido ( $\bar{T}_f$ ) (indicados por una línea negra sólida) demuestran un ajuste aún más preciso y un comportamiento coherente con un  $R^2=0.99$ . Los valores experimentales tanto para ( $\bar{\alpha}_v$ ) como para  $\bar{T}_f$  fueron extraídos del estudio realizado por Mali, Vinod y Patwardhan en 2017.

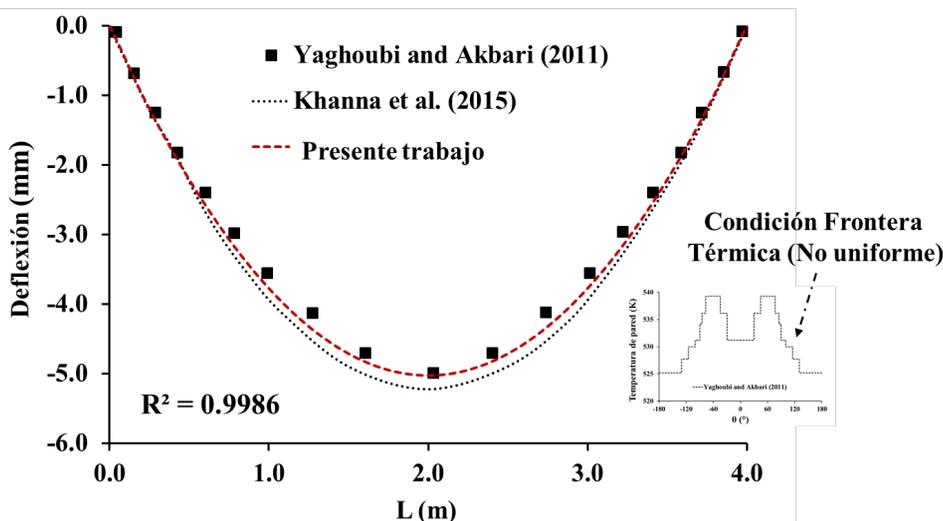


Fig. 3. Comparación entre los puntos experimentales y los perfiles numéricos para la deflexión del tubo receptor.

En lo que concierne a las temperaturas de la pared interna del tubo ( $T_{pared}$ ) se utilizaron los datos experimentales provistos por Zhang et al., en 2018. Los valores numéricos obtenidos, representados mediante una línea negra punteada, exhibieron una diferencia porcentual promedio inferior al 1% respecto a los datos experimentales, logrando replicar con éxito el comportamiento observado en los experimentos.

Adicionalmente, en la Figura 3 se detalla la validación del análisis estructural, para el cual se modeló el sistema experimental descrito por Akbari Moosavi y Yaghoubi en 2012. Los resultados numéricos alcanzaron un coeficiente de correlación  $R^2=0.99$  en comparación con los datos reportados por Akbari Moosavi y Yaghoubi. Las condiciones específicas del experimento se basaron en la documentación de Khanna, Singh y Kedare en 2015.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las ranuras del tubo liso aumentaron el área transversal de flujo en 21%, redujeron la masa del tubo en 12%, incrementaron su área interfacial en 46%, disminuyeron el  $G$  en 17% y la caída de presión en 20%. Los cambios en la geometría modifican el flujo, la fenomenología en la generación de vapor, los campos de temperatura y su estabilidad estructural. Enseguida se hace una comparación entre los dos receptores.

### Efecto de las ranuras en el campo de temperaturas

El primer análisis aborda los contornos de temperatura para ambos receptores, evaluados en cuatro planos transversales a lo largo de su longitud, tal como se muestra en la Figura 4. Se observa que las temperaturas más elevadas se localizan en el área de recepción ( $A_{rec}$ ), especialmente en  $\theta=0^\circ$ . Los contornos de temperatura ilustran cómo disminuye la temperatura del tubo tanto hacia el flujo del fluido como a través de sus paredes. Es notable también que, en  $\theta=180^\circ$ , las temperaturas del tubo y del fluido se igualan aproximadamente en el interior del tubo para todas las posiciones analizadas.

Entre los dos diseños de receptores, el receptor con ranuras logra temperaturas más bajas, evidenciando una mejora significativa en la distribución de las temperaturas a lo largo de la sección adiabática. Además, este diseño favorece la uniformidad de las temperaturas en la zona interna del tubo perteneciente al  $A_{rec}$ , contribuyendo así a un mejor manejo del calor en el sistema.

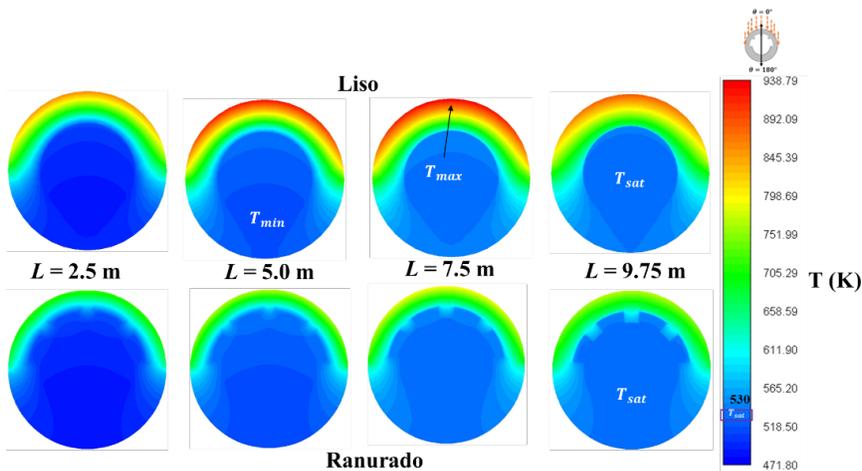


Fig. 4. Contornos de temperatura (K) para diferentes posiciones: tubo liso (a), tubo ranurado (b).

En la Figura 5, se exponen los perfiles de temperatura registrados en  $r_0$  y  $\theta=0^\circ$ , en función de la longitud  $L$ , para cada tipo de receptor (representados en color negro). Estos perfiles evidencian un incremento en la temperatura conforme aumenta  $L$ , alcanzando un pico en la zona de valores máximos ( $T_{max}$ ), para luego experimentar un descenso. Las temperaturas máximas ( $T_{max}$ ) registradas fueron aproximadamente de 939 K y 807 K, en  $L \approx 7.47\text{m}$  y  $8.12\text{m}$ , para el tubo liso y el tubo ranurado, respectivamente. Adicionalmente, en la misma Figura 5 (ilustrado en color rojo), se presentan los perfiles de los gradientes de temperatura ( $\Delta T/t$ ), correspondientes a las diferencias entre las temperaturas externas e internas del tubo en  $\theta=0^\circ$ . Se observa que los gradientes de temperatura ( $\Delta T/t$ ) disminuyen debido a la influencia de las ranuras, variando desde un gradiente máximo de 72 K/mm a 50 K/mm, y modificando su punto de aparición en  $L$  desde 5 m a 7.8 m, para el tubo liso y el tubo ranurado, respectivamente. Esta modificación representa una reducción media relativa de los gradientes térmicos de aproximadamente el 27%.

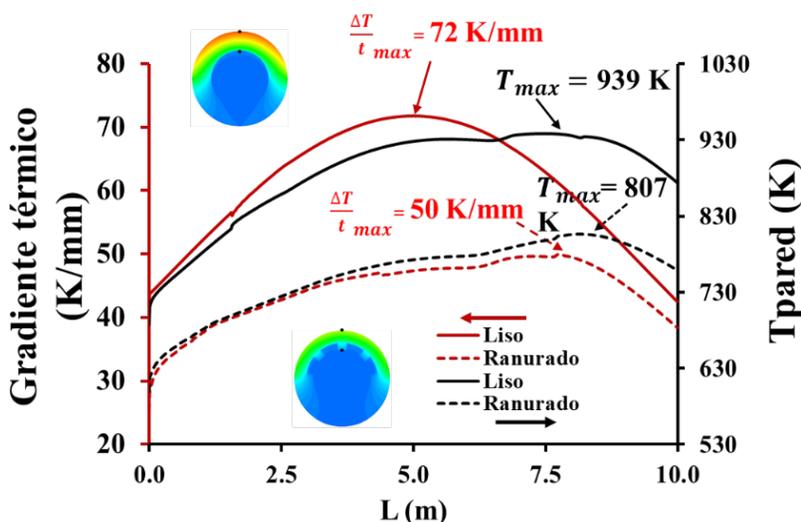


Fig. 5. Comparación entre los perfiles de las temperaturas máximas (Negro) y sus gradientes térmicos (rojo).

En el estudio de los fenómenos de ebullición, dos variables térmicas clave son el  $\Delta T_{pared}$  y el  $\Delta T_{sub}$ . El  $\Delta T_{pared}$  refleja el sobrecalentamiento con respecto a la temperatura de saturación ( $T_{sat}$ ) en la que se encuentra la capa de fluido adherida a la pared interna del tubo. Por otro lado, el  $\Delta T_{sub}$  representa la temperatura por debajo de  $T_{sat}$ , es decir, el estado de subenfriamiento del fluido. La Figura 6 muestra los perfiles representativos de  $\Delta T_{pared}$  para cada receptor, derivados de las temperaturas interfaciales máximas y mínimas. Para el tubo liso, se obtuvieron perfiles con las temperaturas del fluido en  $r_{int}$  para  $\theta=0^\circ$  y  $\theta=180^\circ$ , mientras que, para el sistema ranurado, se consideraron en  $r=9.7\text{mm}$  para  $\theta=11.25^\circ$  y  $r=7.7\text{mm}$  para  $\theta=180^\circ$ .

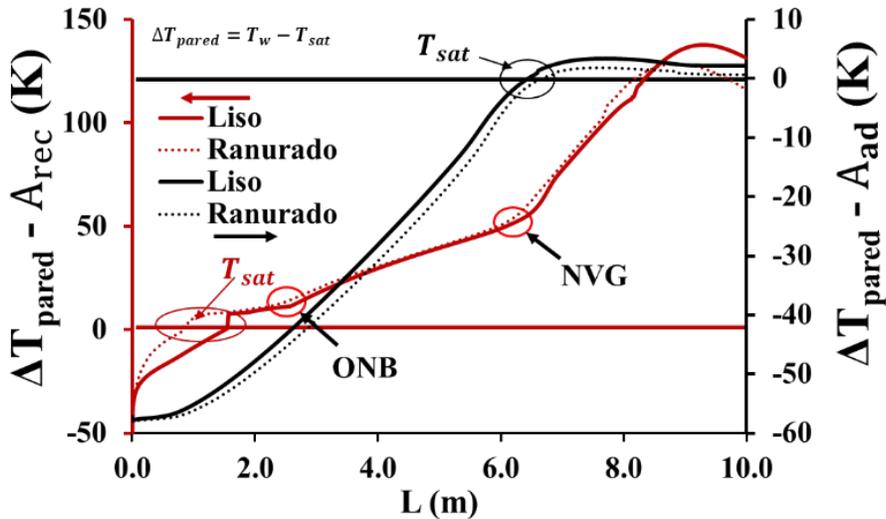


Fig. 6. Perfiles de  $\Delta T_{pared}$  orientados a  $A_{rec}$  y  $A_{ad}$

En cuanto a los  $\Delta T_{pared}$  orientados hacia  $A_{rec}$  (representados en color rojo), se observa que el tubo ranurado supera  $T_{sat}$  a una distancia de  $L=0.8m$ , mientras que el tubo liso lo hace a una distancia de  $L=1.5m$ . Esto indica que el tubo ranurado alcanza condiciones propicias para la generación de vapor a una distancia menor que el tubo liso. En ambos tubos, una vez que el fluido alcanza el estado sobrecalentado, se observa un incremento abrupto en la temperatura de aproximadamente 7 K. Posteriormente, este incremento se suaviza hasta alcanzar un  $\Delta T_{pared} \approx 11K$ , punto a partir del cual el incremento se intensifica nuevamente hasta alcanzar un  $\Delta T_{pared} \approx 55K$ . En este punto, la pendiente cambia drásticamente hasta alcanzar los valores máximos de 138 K y 128 K para el tubo liso y ranurado, respectivamente. Estos cambios de pendiente están directamente relacionados con la generación de vapor y los fenómenos de nucleación de ebullición (ONB, por sus siglas en inglés) y generación de vapor en masa (NVG, por sus siglas en inglés).

La zona de nucleación de ebullición, conocida como ONB, se define como el punto de inicio de la ebullición nucleada. Este fenómeno ocurre en el momento en que la temperatura del líquido cerca de la pared calentada excede de manera significativa la temperatura de saturación ( $T_{sat}$ ), según lo descrito por Ahmadi, Ueno y Okawa en 2012. Esta etapa es crítica en el proceso de transferencia de calor, ya que marca el comienzo de una eficiente eliminación de calor debido a la formación de burbujas de vapor en la superficie calentada.

Otro fenómeno crucial que se inicia aguas arriba de la zona ONB es donde se observa un rápido aumento en la fracción volumétrica del vapor, conocido como la generación neta de vapor (NVG, por sus siglas en inglés), según describen Ahmadi, Ueno y Okawa en 2012.

En relación con los perfiles de  $\Delta T_{\text{pared}}$  orientados hacia  $A_{\text{ad}}$  (mostrados en la Figura 6 en color negro), se destaca que los valores máximos de  $\Delta T_{\text{pared}}$  son aproximadamente de 3.4 K y 1.8 K para el tubo liso y ranurado, respectivamente. Mediante un análisis exhaustivo de los datos experimentales presentados en la Figura 2, se determinó que, bajo las condiciones de operación específicas, el  $\Delta T_{\text{pared}}$  mínimo necesario para inducir la ebullición en la pared es de aproximadamente 10 K. Esto permite concluir que las paredes orientadas hacia  $A_{\text{rec}}$  son responsables de la generación de vapor en las tecnologías CSP+DSG convencionales, y que esta capacidad generativa de vapor disminuye a medida que nos alejamos de  $A_{\text{rec}}$ , llegando a secciones de la pared interna que no contribuyen a la generación de vapor.

Para ilustrar el estado de subenfriamiento en ambos sistemas, se examina el  $\Delta T_{\text{sub}}$  en el seno del fluido. Los perfiles correspondientes se muestran en la Figura 7, indicando la posición en la que el fluido alcanza la temperatura de saturación ( $T_{\text{sat}}$ ), lo que puede interpretarse como el punto en el que ocurre el fenómeno NVG. El tubo liso alcanza la saturación aproximadamente a  $L=6.1\text{m}$ , mientras que el ranurado lo hace a  $L=6.4\text{m}$ .

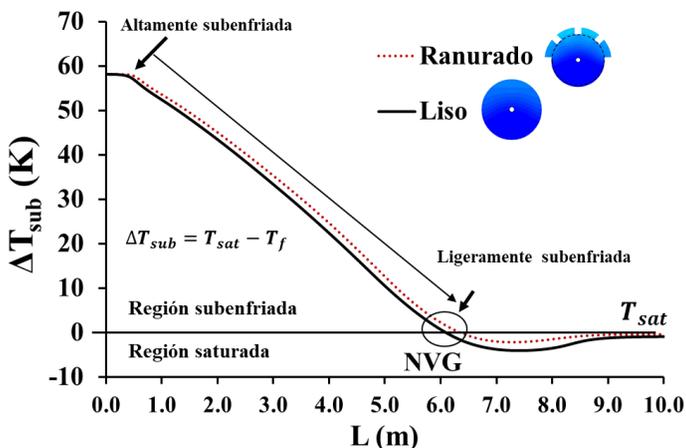


Fig. 7. Perfiles de  $\Delta T_{\text{sub}}$ .

## Efecto de las ranuras en la generación directa de vapor

En la Figura 8 se exhiben los contornos de la fracción volumétrica de vapor ( $\alpha_v$ ) para ambos sistemas. De manera general, se destaca que, en todos los planos analizados, las fracciones volumétricas de vapor más elevadas se localizan en la pared que mira hacia  $A_{\text{rec}}$ , mientras que los valores más bajos se encuentran próximos a la pared orientada hacia  $A_{\text{ad}}$ . Esto corrobora las observaciones previas, sugiriendo que una vez que la pared interna orientada hacia  $A_{\text{ad}}$  alcanza la temperatura de saturación ( $T_{\text{sat}}$ ), su función se limita a actuar como un contenedor de vapor; es decir, no contribuye a la generación adicional de vapor, pero tampoco interviene en la condensación de las burbujas de vapor. Específicamente, se nota que, en los planos estudiados, el sistema con ranuras desarrolla fracciones volumétricas de vapor ( $\alpha_v$ ) superiores en comparación con el sistema liso.

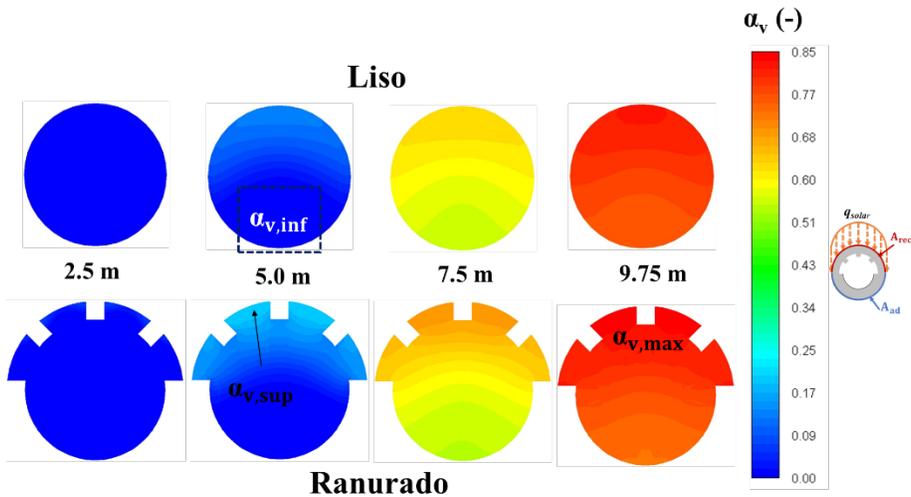


Fig. 8. Contornos de  $\alpha_v$  para diferentes posiciones (-): tubo liso (a), tubo ranurado (b).

La Figura 9 proporciona una visión clara sobre la primera región en la que se manifiesta el fenómeno ONB para cada sistema, mediante la comparación de los perfiles de fracción volumétrica de vapor en puntos estratégicos de la pared interna de cada sistema. Resulta evidente que el sistema ranurado alcanza primero el fenómeno ONB, corroborando las hipótesis basadas en la variable  $\Delta T_{pared}$ . Según las modelaciones, el sistema ranurado inicia la generación de vapor alrededor de los 1.5 m, mientras que el sistema con tubo liso lo hace cerca de los 2 m. Interesantemente, ambos sistemas alcanzan una fracción volumétrica de vapor máxima aproximada de  $\alpha_v \approx 0.82$ , indicando que, a pesar de las diferencias en el punto de inicio del fenómeno ONB, la capacidad máxima de generación de vapor es similar en ambos sistemas.

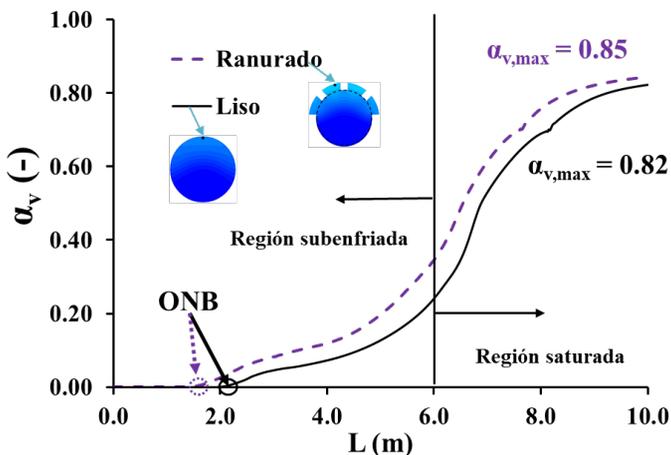


Fig. 9. Comparación de los perfiles de la  $\alpha_v$  en la pared interna.

En la comparativa de la fracción volumétrica promedio de vapor ( $\bar{\alpha}_v$ ) y la calidad de vapor promedio ( $\bar{x}_v$ ), representadas en perfiles en la Figura 10, se observa que ambos receptores exhiben un comportamiento promedio equivalente, aunque localmente presentan diferencias, como se ha discutido previamente. Las máximas  $\bar{x}_v$  y  $\bar{\alpha}_v$  alcanzadas por los sistemas son de aproximadamente 0.11 y 0.8, respectivamente. Adicionalmente, se incorporan las topologías de flujo según la clasificación de Li et al., 2011. En la Figura 10, se destaca que, para  $L > 8.5\text{m}$ , el flujo bifásico en ambos sistemas adopta una topología de tipo “mist flow”, caracterizada por una fase líquida dispersa en forma de pequeñas gotas dentro de un flujo continuo de vapor.

La velocidad media de salida para la fase de vapor se registró en 24.8 m/s y 20.5 m/s para el sistema liso y el sistema ranurado, respectivamente. A pesar de las diferencias en velocidad, ambos sistemas mantuvieron el mismo coeficiente de deslizamiento de fase ( $S=v_v/v_l$ ), lo que sugiere una dinámica de flujo similar en términos de la relación entre las velocidades de las fases gaseosa y líquida hacia la salida del sistema.

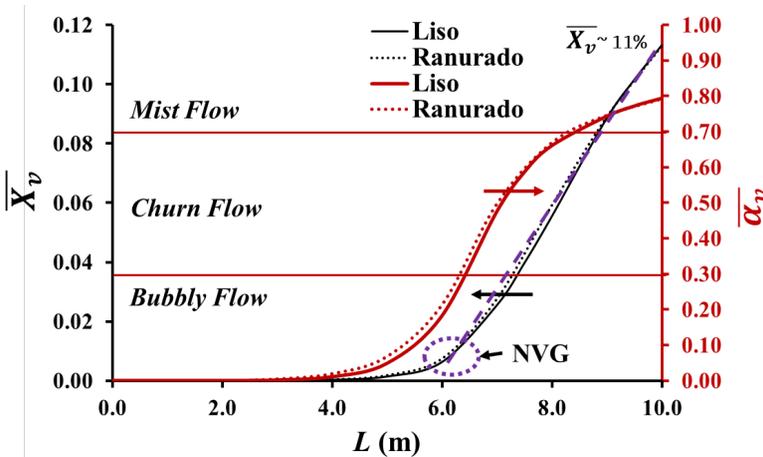


Fig. 10. Comparación de los perfiles promedio de la  $\bar{x}_v$  y la  $\bar{\alpha}_v$ .

## Deformaciones y Esfuerzos Térmicos

Tomando en cuenta los campos de temperatura de los tubos analizados, los puntos de sujeción (clips y soportes), y las limitaciones en las deformaciones admisibles, se llevó a cabo un análisis estructural detallado. En la Figura 11, se muestra una comparación de las deformaciones direccionales en el eje Z, utilizando datos de la superficie externa del tubo en  $r_0$  y  $\theta=0^\circ$ , tal como se indica mediante la línea amarilla en el gráfico. Los resultados revelan que ambos sistemas experimentan deformaciones leves en relación con la longitud L. Las deformaciones máximas registradas son de 0.25 cm, ubicadas en la dirección de  $\theta=180^\circ$  en  $L \approx 6.4\text{m}$ , lo cual representa un 0.03% respecto a la longitud total del tubo.

Un aspecto notable es que, en los puntos de sujeción, la deformación analizada presenta valores mayores a cero, lo cual probablemente se debe a los efectos de las expansiones térmicas en dichos puntos, como se muestra en las Figuras 4 y 5. En estos puntos de muestreo, las temperaturas fluctúan entre aproximadamente 720 K y 940 K. Este análisis subraya la importancia de considerar las expansiones térmicas y sus efectos en los puntos de sujeción durante el diseño y evaluación estructural de sistemas sometidos a altas temperaturas.

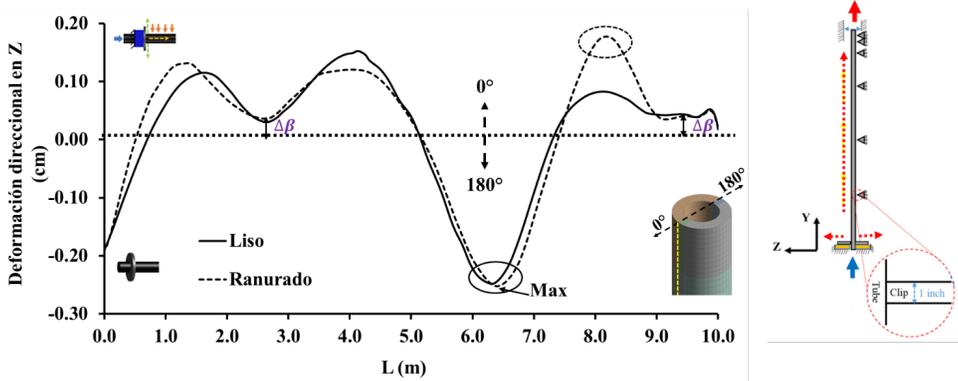


Fig. 11. Comparación de la deformación direccional Z.

Finalmente, se lleva a cabo una comparación de los esfuerzos térmicos (von-Mises) entre los tubos estudiados, como se muestra en la Figura 12. Los valores indicados en esta figura son promedios calculados en las alturas correspondientes a los clips, en  $r_0$  y  $\theta=0^\circ$ . Los criterios de Ultimate Tensile Strength (UTS) y Yield Strength (YS) se evaluaron a una temperatura de  $450^\circ\text{C}$ , según Hrutkay y Kaoumi (2014). Se observa que ambos sistemas exceden el valor de YS, indicando que las deformaciones desarrolladas son permanentes.

El análisis revela que el tubo liso supera el valor de UTS en  $L=5\text{m}$ . Este hallazgo sugiere que el tubo podría experimentar fallas en esta sección, manifestándose potencialmente en forma de grietas, fisuras, entre otros. Además, se señala que el sistema liso opera en el límite del UTS en toda esa sección del tubo (769 MPa), lo cual indica que no sería adecuado utilizar un grosor de 5 mm para esta aplicación específica.

Por otro lado, el tubo ranurado muestra una disminución media relativa del 33% en los esfuerzos térmicos en comparación con el tubo liso, alcanzando un valor medio de 515 MPa. Esto resulta en un factor de seguridad de 1.55 respecto al UTS. Tal reducción en los esfuerzos térmicos sugiere que el diseño con ranuras es considerablemente más adecuado para soportar las condiciones operativas sin alcanzar el límite de resistencia del material, mejorando así la integridad estructural y la vida útil del sistema bajo las condiciones de operación dadas.

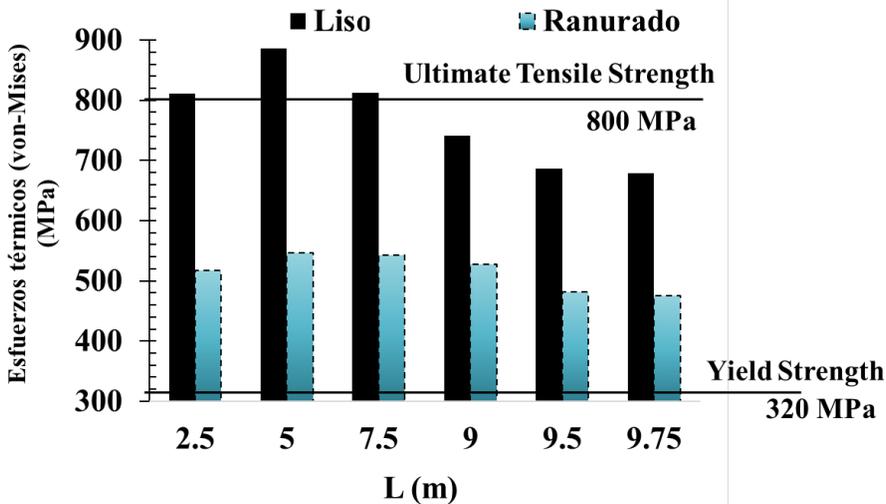


Fig. 12. Comparación de los esfuerzos térmicos en ro y  $\theta=0^\circ$ , tomados a las alturas de los clips.

## CONCLUSIONES

La metodología de modelado implementada ha demostrado ser una herramienta robusta y confiable para predecir el comportamiento durante el cambio de fase, así como los aspectos térmicos, hidrodinámicos y estructurales de los diseños de receptores tubulares bajo consideración. Esta estrategia global asegura predicciones precisas que son fundamentales para la optimización y el diseño eficiente de estos sistemas.

El análisis reveló que el tubo ranurado representa una solución prometedora para mejorar la seguridad estructural de los receptores tubulares en las condiciones operativas evaluadas, sin comprometer la capacidad de generación de vapor. Este diseño ofrece el beneficio adicional de reducir significativamente las temperaturas dentro del tubo receptor, lo cual no solo mejora la eficiencia térmica al minimizar las pérdidas energéticas por radiación y convección, sino que también potencia las propiedades mecánicas del material, reforzando así la seguridad estructural del sistema. Aunque las simulaciones indicaron que ambos receptores producen la misma cantidad de vapor, la implementación de ranuras podría, en la práctica, incrementar la producción de vapor bajo las mismas condiciones operativas debido a la optimización del flujo térmico.

La adopción de estrategias pasivas para la mitigación de gradientes de temperatura resulta en una notable disminución de los esfuerzos térmicos, lo que evidencia la importancia de la ingeniería detallada en el diseño de estos sistemas. Además, se demostró que las deformaciones pueden ser efectivamente controladas mediante un diseño cuidadoso y una adecuada disposición de los clips o tecnologías similares, permitiendo una mayor flexibilidad y resistencia estructural bajo variadas condiciones de operación.

Otro hallazgo clave es que las paredes internas del tubo distantes del área de recepción de energía solar ( $q_{solar}$ ) no contribuyen significativamente a la generación de vapor, señalando una oportunidad para optimizar aún más los sistemas receptores que operan con tecnología DSG. Este insight ofrece una vía para mejorar los diseños actuales, maximizando la eficiencia y seguridad operativa, mientras se exploran nuevos horizontes en la tecnología de generación de vapor solar.

## REFERENCIAS

- Ahmadi, R., Ueno, T. and Okawa, T. (2012) 'Bubble dynamics at boiling incipience in subcooled upward flow boiling', *International Journal of Heat and Mass Transfer*, pp. 488–497. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.09.050.
- Akbari Moosavi, S. M. and Yaghoubi, M. (2012) 'Three Dimensional Thermal Expansion Analysis of an Absorber Tube in a Parabolic Trough Collector', *Mechanical Engineering*, (February 2022), pp. 0–7.
- Awan, A. B. (2019) 'Performance analysis and optimization of a hybrid renewable energy system for sustainable NEOM city in Saudi Arabia', *Journal of Renewable and Sustainable Energy*.
- Bartolemei, G. G. and Chanturiya, V. M. (1967) 'Experimental study of true void fraction when boiling subcooled water in vertical tubes', *Thermal Engineering*, pp. 123–128.
- Bellos, E., Tzivanidis, C. and Tsimpoukis, D. (2018) 'Enhancing The Performance Of Parabolic Trough Collectors Using Nanofluids And Turbulators', *Science Trends*. doi: 10.31988/scitrends.21596.
- Bilal Awan, A. *et al.* (2020) 'Commercial parabolic trough CSP plants: Research trends and technological advancements', *Solar Energy*, pp. 1422–1458. doi: 10.1016/j.solener.2020.09.072.
- González-Roubaud, E., Pérez-Osorio, D. and Prieto, C. (2017) 'Review of commercial thermal energy storage in concentrated solar power plants: Steam vs. molten salts', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 133–148. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.084.
- Hrutkay, K. and Kaoumi, D. (2014) 'Tensile deformation behavior of a nickel based superalloy at different temperatures', *Materials Science and Engineering A*, pp. 196–203. doi: 10.1016/j.msea.2014.01.056.
- Khanna, S., Singh, S. and Kedare, S. B. (2015) 'Explicit expressions for temperature distribution and deflection in absorber tube of solar parabolic trough concentrator', *Solar Energy*, pp. 289–302. doi: 10.1016/j.solener.2015.01.044.
- Li, H. *et al.* (2011) 'Prediction of Boiling and Critical Heat Flux Using an Eulerian Multiphase Boiling Model', pp. 463–476. doi: 10.1115/IMECE2011-65539.
- Mali, C. R., Vinod, V. and Patwardhan, A. W. (2017) 'Comparison of phase interaction models for high pressure subcooled boiling flow in long vertical tubes', *Nuclear Engineering and Design*, pp. 337–359. doi: 10.1016/j.nucengdes.2017.09.010.

- Maytorena, V. M. *et al.* (2021) 'Analysis of the direct steam generation, thermal stresses, and deformations in a tubular receiver of a solar tower', *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 13(5). doi: 10.1063/5.0066123.
- Maytorena, V. M. and Hinojosa, J. F. (2019a) 'Effect of nonuniform concentrated solar flux on direct steam generation in vertical pipes of solar tower receivers', *Solar Energy*, pp. 665– 676. doi: 10.1016/j.solener.2019.03.047.
- Maytorena, V. M. and Hinojosa, J. F. (2019b) 'Threedimensional numerical study of direct steam generation in vertical tubes receiving concentrated solar radiation', *International Journal of Heat and Mass Transfer*, pp. 413–433. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.03.101.
- Montoya, A. *et al.* (2018) 'Numerical model of solar external receiver tubes: Influence of mechanical boundary conditions and temperature variation in thermoelastic stresses', *Solar Energy*, pp. 912–922. doi: 10.1016/j.solener.2018.09.068.
- Peng, H., Li, M. and Liang, X. (2020) 'Thermal-hydraulic and thermodynamic performance of parabolic trough solar receiver partially filled with gradient metal foam', *Energy*. doi: 10.1016/j.energy.2020.119046.
- Praveen, R. P. *et al.* (2018) 'Performance analysis and optimization of a parabolic trough solar power plant in the middle east region', *Energies*, 11(4), pp. 1–18. doi: 10.3390/en11040741.
- Prieto, C. *et al.* (2018) 'Thermal energy storage evaluation in direct steam generation solar plants', *Solar Energy*, pp. 501– 509. doi: 10.1016/j.solener.2017.11.006.
- Saghafifar, M., Mohammadi, K. and Powell, K. (2020) 'Design and analysis of a dual-receiver direct steam generator solar power tower plant with a flexible heliostat field', *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. doi: 10.1016/j.seta.2020.100698.
- Wan, Z. *et al.* (2018) 'Numerical study on thermal stress and cold startup induced thermal fatigue of a water/steam cavity receiver in concentrated solar power (CSP) plants', *Solar Energy*, pp. 430–441. doi: 10.1016/j.solener.2018.05.087.
- Zhang, X. *et al.* (2018) 'Investigation on the Subcooled Boiling in Vertical Pipe With Uncertainties From Boundary Conditions by Using FLUENT', *Frontiers in Energy Research*, 6. doi: 10.3389/fenrg.2018.00023.

# CAPÍTULO 4

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA CURVADORA DE TUBO REDONDO METÁLICO DE ½ IN A 1 IN

*Fecha: 15 de marzo del 2024*

*Data de aceite: 02/05/2024*

**José Heriberto Simental Vázquez**

Cd. Juárez, Chihuahua, Mx

**Alfonso Sierra Chacón**

Cd. Juárez, Chihuahua, Mx

**Rocío Alejandra Reyes Carlos**

Cd. Juárez, Chihuahua, Mx

**RESUMEN:** En este proyecto la finalidad fue desarrollar un diseño y simulación de una máquina curvadora de tubo redondo metálico de ½in a 1in, esto con la finalidad de proporcionar una herramienta con la cual se pueda tener varios usos en el plantel. Para este proyecto se tomaron consideraciones de diseño entre las cuales están las resistencias de los materiales, el comportamiento de la maquina considerando la fuerza que se requiere para poder deformar un tubo con una dimensión preestablecida, a su vez se manejó estudios de movimiento y cálculos basados en le mecánica de materiales para justificar por qué se escogen las fuerzas con las que va a interactuar la máquina.

### INTRODUCCIÓN

#### Antecedentes

Actualmente el uso de máquinas dobladoras de tubos es de mucha utilidad en la industria metalmeccánica, el uso de máquinas capaces de hacer curvaturas de tubos provee un avance significativo en la industria donde permite un proceso más simplificado para armar estructuras que requiera de elementos curvos, contribuyendo este tipo de máquina al desarrollo de construcciones mecánicas.

El doblado de tubo es un proceso de trabajo en frio que produce una curva en el tubo y que a su vez conserva su sección transversal, precisamente al trabajar con tubulares huecos no necesita maquinaria más compleja para poder lograr la curvatura del tubo como sería el caso contrario con tubulares completamente sólidos.

Este proyecto se enfoca en presentar una propuesta de diseño de una máquina para doblar tubulares, en donde se realizarán pruebas de movimiento mediante el software Solid Works, pruebas

de resistencia los cuales son simulaciones importantes para comprobar si con la propuesta de diseño y selección de materiales a trabajar serán viables para el diseño de la máquina.

La tubería curvada tiene una amplia aplicación en muchos sectores industriales, un tubo tal como sale de fábrica generalmente debe someterse a tratamientos post fabricación para que este sea utilizable, saber cómo usar una dobladora de tubos manual es muy fácil, ya que presenta una placa de medición donde se ajusta el ángulo de curvatura y, mediante su articulación, se procede a realizar la acción prevista. Hay diferentes tipos de máquinas según la necesidad para la que se requiera.

En el artículo de “Diseño de una dobladora de tubo manual de sección circular para el taller de fabricación del I.U.T Antonio José de Sucre” por Rosillon Kenneth (2014) explica como una dobladora de tubos redondos es una herramienta tecnológica que realiza su trabajo mediante un plato accionado manualmente y que ejerce la fuerza necesaria desde una palanca que gira un tubo a través de una matriz para obtener el doblado deseado, esto con su respectivo ángulo, también explica como el doblado del material debe tener un tiempo de duración de 30 segundos como mínimo para conseguir un rendimiento óptimo a las propiedades del tubo doblado y las de la máquina.

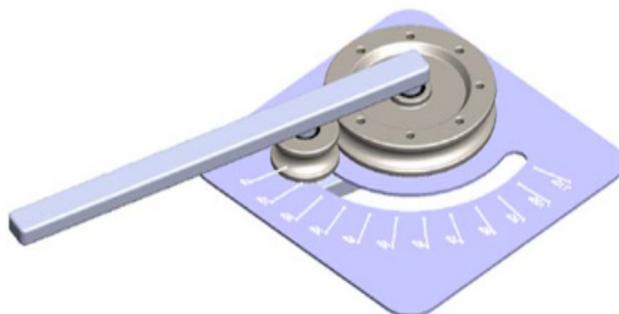


Figura 1: Diseño de Rosillon Kenneth

Con un diseño manual se sostiene que sería una herramienta más accesible para empresas pequeñas que se dediquen a este tipo de trabajo por el motivo que las maquinas CNC tienen un costo muy elevado por la programación correspondiente.

En otro artículo que menciona el análisis, funcionamiento y operación de máquinas curvadoras de tubos escrito por Molina y Rubio (2012). Donde menciona como a nivel mundial la industria de la mecánica ha ido creciendo tanto en conocimiento como en nivel competitivo por lo que se presenta el proyecto del análisis de funcionamiento de las maquinas dobladora de tubos donde al ser una máquina en un plantel educativo se busca la excelencia, la operación adecuada, un mantenimiento preventivo y correctivo lo cual hará que tanto el personal docente del plantel educativo como el alumnado se adentren al mundo de la mecánica.



Figura 2: Sistema de doblado

## Planteamiento del problema

### ¿Por qué hacer una máquina para curvar tubos redondos?

En la actualidad no se cuenta con una máquina de este tipo, para adquirir una máquina automatizada se requeriría de un elevado costo para poderla fabricar y para mantenerla. Se requiere de sombras para áreas verdes y a su vez que los estudiantes tengan una mejor preparación para diferentes áreas de la ingeniería al egresar del plantel educativo.

## Justificación

El uso de máquinas siempre otorga beneficios al ser humano, la dobladora de tubos logra crear curvaturas en los tubulares y estos a su vez pueden utilizarse en diferentes áreas del plantel educativo, sin embargo, no solo con hacer curvaturas es suficiente, se requiere que la herramienta pueda hacer las curvas a una dimensión específica por lo que requiere de mediciones de grados para poder trabajar con ella, también la máquina se debe conocer los materiales con los que va a trabajar para que soporte la carga ejercida en el plato como la palanca y que estas tengan una larga vida útil, donde los tubulares funcionan como soporte para resistir las adversidades climáticas que se pueden presentar en un clima como es el de ciudad Juárez, esta máquina podría utilizarse en el área del laboratorio de metal mecánica para realizar prácticas y de esa manera ampliar el conocimiento de los alumnos con respecto a la mecánica y sus respectivos mantenimientos necesarios, lo cual hará que los estudiantes y docentes se adentren más en el mundo de la mecánica y estén más preparados para enfrentar las situaciones a las que está expuesto un ingeniero.

## Objetivos

### *Objetivo general*

Diseñar una máquina capaz de doblar tubos de ½" a 1" incluyendo simulación de movimiento y esfuerzo.

### *Objetivos específicos*

Seleccionar el tipo de material con el que se diseñara la máquina.

Diseñar el mecanismo para el proceso de doblado.

Dibujo de planos y ensamble de la máquina.

## Supuesto

Se espera que la máquina sea capaz de soportar las cargas de fuerza y momentos a las cuales estará sometida para llevar a cabo la curvatura del tubo teniendo una vida duradera de la misma y un manejo fácil de la operación.

## MARCO TEÓRICO

### Métodos para el doblado de tubos

Cuando se trata del doblado de tubos se deben tomar en cuenta diferentes factores como lo explica en el libro de (Groover, 2007, P. 448), el doblado de material tubular es más difícil que el de la lámina porque un tubo tiende a romperse o deformarse cuando se hacen intentos para doblarlo. Se usan mandriles flexibles especiales que se insertan en el tubo antes de doblarlo para que soporten las paredes durante la operación. Algunos de los términos que se usan en el doblado de tubos se definen en la figura 3-5. El radio del doblado  $R$  se define respecto a la línea central del tubo. Cuando el tubo se dobla, la pared interior del doblado se comprime y la pared exterior se tensa. Esta condición de esfuerzos causa adelgazamiento y elongación de la pared externa, y engrosamiento y acortado de la pared interna. Como consecuencia hay una tendencia en las paredes interna y externa de ser forzadas hacia el lado opuesto para causar el aplanamiento de la sección transversal del tubo.

### *Doblado por estirado*

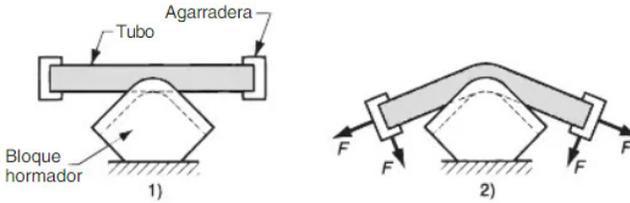


Figura 3: Doblado por estirado

El doblado por estirado se realiza tirando y doblando el tubo alrededor de un bloque de horma fija, como se muestra en la figura 3.

### *Doblado por arrastr*

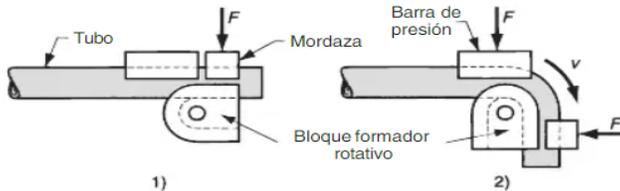


Figura 4: Doblado por arrastre

El doblado por arrastre se realiza fijando el tubo contra un bloque formador y arrastrando el tubo a través del doblado por rotación del bloque, como se muestra en la figura 4. Se usa una barra de presión para soportar el trabajo al ser doblado.

### *Doblado por compresión*

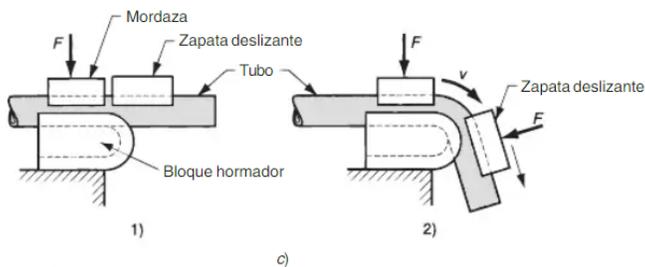


Figura 5: Doblado por compresión

En el doblado por compresión se usa una zapata deslizante para envolver el tubo alrededor del contorno de un bloque de forma fija, como se observa en la figura 5.

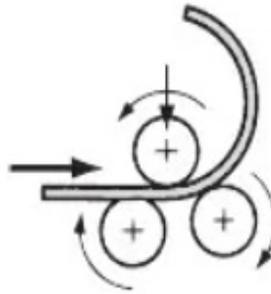


Figura 6: Doblado por rodillos

El doblado con rodillos (Figura 6) asociado generalmente con el formado de material laminar se usa también para doblar tubos y otras secciones.

## **Mecánica de la tubería**

### *Propiedades mecánicas en el doblado de tubos*

Al ser la tubería un material con muchas utilidades, en este caso la curvatura de tubos se debe tomar en cuenta el cómo el método de doblado afectara a la estructura física del tubular a trabajar, siendo así este tipo de trabajo en frio se alterarían las propiedades mecánicas del material original.

Tomando como referencia a (Edgar, 2003, p.18), Después del proceso de doblado la resistencia a la fluencia y a la tracción del material se elevan en un 10% aproximadamente, mientras que la elongación del material disminuye aproximadamente en un 15%. Dicho así, este tipo de trabajo deformaría la sección transversal del material tubular el cual dependería de diversos factores según el material con el que se esté trabajando, el espesor y diámetros de la pieza a trabajar. Dicho así, entonces las propiedades mecánicas del tubo cambiarían entre mayor sea el radio de doblado, menor será la deformación de la sección transversal; entonces al tratarse de un radio menor entonces este estaría sometido a una mayor deformación.

### *Esfuerzo-deformación*

Existen tres tipos de esfuerzo estáticos a los que se sujetan los materiales: tensión, compresión y cortante. Los esfuerzos de tensión tienden a estirar al material, las de compresión a compactarlo, y las cortantes comprenden tensiones que tienden a ocasionar que porciones adyacentes del material se deslicen una respecto a la otra.

La curva esfuerzo-deformación es la relación básica que describe las propiedades mecánicas para los tres tipos.

El esfuerzo deformación de ingeniería en una prueba de tensión que se define en relación con el área y longitud originales del espécimen de prueba. Dichos valores son de interés en el diseño debido a que el diseñador espera que las tensiones-deformaciones experimentadas por cualquier componente del producto no cambiarán su forma de manera significativa.

En la figura 7 se ilustra una curva común del esfuerzo-deformación de ingeniería de una prueba de tensión de un espécimen metálico. El esfuerzo de ingeniería en cualquier punto de la curva se define como la fuerza dividida entre el área original:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \text{ecuación (1)}$$

donde  $\sigma$  = esfuerzo de ingeniería, MPa (lb/in<sup>2</sup>), F = fuerza aplicada durante la prueba, N (lb), y A<sub>o</sub> = área original del espécimen de prueba, mm<sup>2</sup> (in<sup>2</sup>). (Groover, 2007, P. 40)

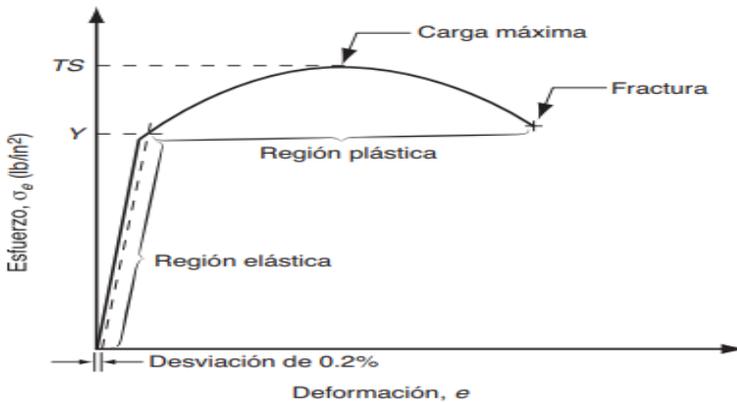


Figura 7: Gráfica normal del esfuerzo deformación

### *Esfuerzo de tensión y compresión*

El análisis siguiente se aplica a miembros sometidos a tensión o a compresión, como se muestra en la figura 8: Como interpretación gráfica, la magnitud de la fuerza interna resultante P es equivalente al volumen bajo el diagrama de esfuerzo; es decir,  $P = \sigma A$  (volumen = altura X base).

Además, como consecuencia del equilibrio de momentos, esta resultante pasa por el centroide de este volumen. (Hibbeler, 2006, p. 26)

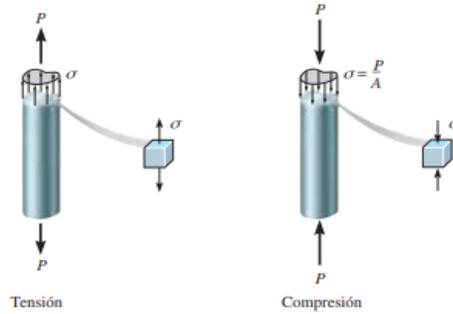


Figura 8: Ejemplo de esfuerzos a tensión y compresión

El esfuerzo de tensión es aquel que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentidos opuestos, por lo que tienden a estirarlo.

A esto se le considera fuerzas normales a esa sección, debido a que poseen sentidos opuestos a las fuerzas que intentan alargar el cuerpo.

Por otro lado, el esfuerzo por compresión se puede ver como la resultante o consecuencia al ejercer una fuerza o presión sobre un sólido deformable. Una característica muy importante de este tipo de esfuerzo es los sólidos bajo estos efectos tienden a reducir su volumen del cuerpo dependiendo de la dirección en la que se le ejerce esta fuerza.

### *Esfuerzo cortante*

Un esfuerzo es una fuerza que actúa sobre un cuerpo para deformarlo, entre los tipos de esfuerzos variaran dependiendo de cómo se aplica la fuerza. De esta forma cada componente reaccionara diferente dependiendo de cómo se le aplique la fuerza, por lo que se tienen diferentes formas de aplicar una fuerza, en este caso el esfuerzo cortante que resulta de ejercer una fuerza perpendicular a la sección transversal de un prisma mecánico, como en su caso puede ser una viga o un pilar.

El esfuerzo cortante se describe como la consecuencia de aplicar dos fuerzas o más en sentido contrario la una de la otra.

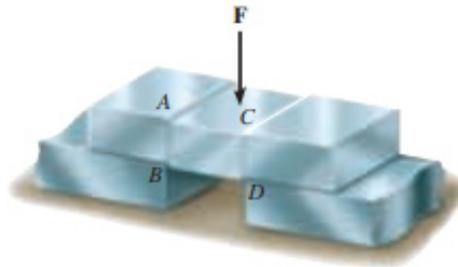


Figura 9: Ejemplo de un esfuerzo cortante

Fuente: (Hibbeler, 2006)

Al igual que en los casos anteriores es importante resaltar los tipos de esfuerzos que puede haber al trabajar con una máquina curvadora de tubos, en este caso siendo esfuerzos estáticos.

## Deformación unitaria

Puesto que, para el correcto análisis de la máquina, se considera necesario el entendimiento de la deformación unitaria que basándose en diferentes teorías queda mejor explicado que es el cambio de longitud por unidad de longitud, esta es una cantidad adimensional, debido a que se puede obtener por medio de una división entre longitudes.

Dicho de otra forma, este tipo de deformación es una relación que existe entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, la ventaja de utilizar este tipo de dato para el diseño de la maquina es que permitirá determinar la deformación del elemento sometido a fuerzas de tensión, compresión o en su caso a momentos con los cuales cada acción conlleva una reacción.

Para el correcto entendimiento de este tipo de deformación es necesario conocer como se muestra en la siguiente figura, la consecuencia de ejercer una fuerza de tensión sobre un componente mecánico.

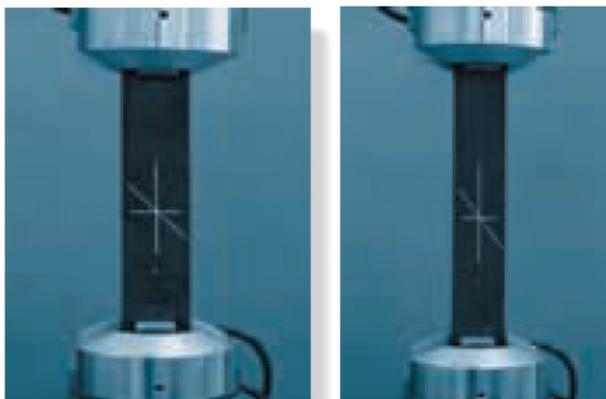


Figura 10: Ejemplo deformación unitaria

Fuente: (Hibbeler,2006, p.70)

En el ejemplo se puede observar el antes y después de una deformación sobre una membrana de hule en donde está sometida a tensión, la línea vertical se alarga, la horizontal se corta y la línea inclinada cambia de longitud y gira.

## Factor de seguridad

Para este tipo de concepto se sabe que los FoS (factores de seguridad), entre mayor sea el valor de este, proporcionaría mayor seguridad en el producto o estructura que se planea diseñar. Cuando se tiene un FoS menor o igual a 1 representaría que la estructura o componente fallara cuando se alcance las cargas de diseño, por lo que no sería capaz de soportar una carga de una magnitud mayor, dicho así, para garantizar que el diseño sea viable en cuestiones de seguridad se tienen estándares con los cuales trabajar dependiendo del trabajo que se desea realizar.

Para que un diseño sea óptimo, este debe estar diseñado para que soporte un peso o cargas mayores a las que se tienen establecidas para trabajar.

La importancia de este método para saber si la estructura es segura radica en que se mantiene la funcionalidad de la estructura, lo cual garantiza una seguridad para las personas, se pueden evitar daños a la propiedad y reduce las posibilidades de que el producto falle.

En la actualidad hay muchas teorías que se han ido reforzando con el paso del tiempo para garantizar que el factor de seguridad de trabajo sea el adecuado, según un libro del diseño de máquina, de R.S.Khurmi y J.K.Gupta (2005), se deben tener diferentes consideraciones para la selección de un factor de seguridad adecuado, las consideraciones a tomar en cuenta son:

- Material dúctil o frágil; los materiales dúctiles utilizan el límite elástico; los materiales frágiles utilizan el límite máximo.
- El límite elástico determina el FoS hasta el comienzo de la deformación.
- Resistencia última: determina la FoS hasta el fallo.
- Proceso de fabricación
- Tipo de estrés
- Condiciones generales de servicio
- Forma de las piezas

## Tipos de máquinas curvadoras de tubos

### *Máquina manual*

Este tipo de herramientas generalmente utilizan la fuerza aplicada por el ser humano con una palanca para crear un momento por el cual aplicando la fuerza necesaria podría torcer el tubo. Por lo general este tipo de máquinas cuentan con una matriz de presión y una matriz de doblado fija, esto debido a que el método requiere una pieza sujeta y con la presión necesaria para poder realizar el curvado. De esta forma la matriz de presión puede girar con referencia a la matriz de doblado.



Figura 11: Dobladora de tubos manual

Fuente: <https://www.istriacorp.cl/maquinas-nuevas-curvadoras-de-tubos/>

Por lo general este tipo de máquinas cuenta con una serie de componentes que, si bien tienden a variar dependiendo de la utilidad y el diseño de la máquina, es necesario mencionarlos a continuación:

#### *Matriz de seguimiento o presión:*

Es la que proporciona una contención durante el proceso del doblado y su longitud depende del grado de flexión y del radio del tubular. Es el encargado de ejercer una presión constante sobre el tubo y le da continuidad a lo largo de todo el proceso de doblado.

Gracias a este componente se pueden minimizar los desgarros y fisuras superficiales al disminuir la resistencia del avance.

#### *Matriz de sujeción:*

Es el componente que fija el tubo en un solo lugar, básicamente funciona como soporte, para este tipo de componente se diseñan en base a el diámetro de los tubulares a doblar.

#### *Matriz de doblado:*

Es la parte principal de la máquina, para el doblado correctamente es necesario que actúen todos los componentes apoyándose de esta matriz, ejerciendo como un molde para el tubo con un radio de curvatura diseñado según el rango de tubos que se quiera doblar.

Entre sus características es que poseen una porción curvada, debe estar firme para garantizar el doblado del tubo sin errores.

### *Palanca:*

En el caso de ser una máquina manual es necesario ejercer una fuerza por medio de una palanca la cual arrastrara la matriz de seguimiento por todo el perímetro del tubular hasta un tope puesto según el grado de curvatura que se requiera el tubular.

### *Maquina hidráulica*

Teniendo en cuenta que la hidráulica es una rama de la física que tiene como objetivo de estudio el comportamiento de los fluidos con la finalidad de realizar un trabajo, por ende, no es de extrañar que estos tipos de sistemas hidráulicos se implementaran en las maquinas curvadoras de tubos por lo que al trabajar con ella se ha mejorado la precisión y flexibilidad debido a la fuerza que estos sistemas pueden aplicar por sus accionamientos hidráulicos.

Por lo general este tipo de máquinas puede funcionar como una prensa vertical o en su caso horizontal, de esta forma la matriz de punzón aplica una fuerza con su respectivo radio el cual puede doblar la tubería al tener dos matrices funcionando como tope para realizar la curvatura del tubo.



Figura 12: Dobladora de tubos hidráulica

Fuente: <https://www.virax.com/es/2408-curvadora-hidraulica-electrica.html>

### *Máquina electromagnética (CNC)*

Por lo general este tipo de máquinas funcionan con un motor eléctrico que proporciona la fuerza necesaria para realizar el doblado, pueden controlar el ángulo de curvatura mediante fines de carrera, el operario únicamente se encarga del accionamiento del motor, y la carga y descarga del tubo.



Figura 13: Dobladora de tubos electromagnética

Fuente: <https://maquinaria-y-equipos.com/es/articulos/soluciones-de-dobladora-de-tubo.html>

### *Ventajas*

En la actualidad los tubos se utilizan para apoyar, encuadrar o soportar. Tiene una gran cantidad de usos por lo que la variedad de tubo doblado es muy basta. En este tipo de proceso de trabajo es importante saber con qué perfiles circulares se va a trabajar, la tarea para lo cual se requieren por lo que hay que saber el diámetro del tubo a doblar, grosor y el material, de no tener en cuenta dichas características se puede dañar los tubulares con fisuras o fracturas por el método equivoco de doblado, también por la fuerza ejercida en los mismos.

Este proceso de trabajo se obtienen bastantes ventajas, se pueden utilizar para la cerrajería, industria automotriz, estructuras metálicas, etc. Por lo que, al tener esta cantidad de usos, se vuelve en una opción viable el invertir en este tipo de maquinarias cuando se tiene negocios y ahora más en la actualidad por el avance tecnológico que se ha dado en el 2022.

En la industria se utilizan por lo general las maquinas electromecánicas, esto debido a que sale más redituable porque a su vez disminuyen los errores por el trabajo humano.

## **Materiales**

### *Acero inoxidable al cromo*

Para empezar a conocer completamente esta aleación primero se debe conocer por partes considerando primero el acero inoxidable el cual es un nombre que recibe la familia de aceros resistentes a la corrosión y resistentes a altas temperaturas, cabe destacar que el acero inoxidable ya cuenta con un mínimo del 10.5% de cromo.

Tomando como referencia el documento de (Zapata, 2019, p.3) donde menciona que, así como hay varios aceros al carbono estructurales e ingenieriles con diferentes requisitos de resistencia, soldabilidad y tenacidad, también hay una amplia gama de aceros inoxidables

con diferentes niveles de resistencia mecánica y a la corrosión. Este conjunto de propiedades del acero inoxidable es el resultado de dicciones controladas de elementos de aleación, que afectan a las propiedades mecánicas y a la capacidad de resistir en diferentes ambientes corrosivos. Es importante seleccionar un acero inoxidable que sea adecuado para una determinada aplicación sin que sea innecesariamente muy aleado y costoso.

**TABLA 1 Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería**  
 Datos provenientes de varias fuentes.\* Estas propiedades son esencialmente similares para todas las aleaciones del material específico

Material	Módulo de elasticidad <i>E</i>		Módulo de rigidez <i>G</i>		Razón de Poisson <i>v</i>	Peso específico $\gamma$ lb/in <sup>3</sup>	Densidad de masa $\rho$ Mg/m <sup>3</sup>	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

\* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Tabla 1: Propiedades mecánicas de materiales

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html>

Teniendo en cuenta las propiedades de los aceros inoxidables, entonces ¿por qué es importante el cromo? Esto se debe a que el contenido de cromo en el acero permite que sea resistente a la corrosión, lo cual disminuye drásticamente la oxidación, este a su vez aumenta la dureza y la resistencia a la tracción y la tenacidad en los aceros, mejora la templabilidad lo cual es importante el uso de este en herramientas que mantienen contacto con partes móviles, como beneficio extra les da una apariencia muy vistosa a los aceros inoxidables.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	200000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	77000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	7800	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	413.613	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	172.339	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.1e-05	/K
Conductividad térmica	18	W/(m·K)

Tabla 2: Propiedades mecánicas del acero inoxidable al cromo por SolidWorks

### Aleación de aluminio 6061

Este material siendo una aleación es conocido por su composición, en el cual cuenta con elementos de aluminio, silicio y magnesio. Entre sus características generales es que tiene una resistencia entre media y alta, es resistente a la corrosión y tiene una buena soldabilidad, ductilidad y maquinabilidad.

Este tipo de material es usado en todo el mundo, para los moldes de inyección y soplado, construcción de estructuras de aeronaves, como las alas y el fuselaje de aviones comerciales y de uso militar; en refacciones industriales, en la construcción de yates, incluidos pequeñas embarcaciones, en piezas de automóviles, en la manufactura de latas de aluminio para el empaquetado de comida y bebidas. Es fácil de maquinar y resistente a la corrosión.

En la siguiente tabla se muestra la composición química del aluminio 6061

Composición química en peso, (% wt.) , de la aleación de aluminio 6061.

Si (% wt.)	Mg (% wt.)	Fe (% wt.)	Cu (% wt.)	Mn (% wt.)	Zn (% wt.)	Ni (% wt.)	Cr (% wt.)	Ti (% wt.)	Sn (% wt.)
0,4 -0,8	0,8 -1,2	0,7	0,15 - 0,4	0,15	0,25	0,05	0,04 -0,35	0,15	0,05

Tabla 3: Composición química del aluminio 6061

Fuente: (Nelson, 2007.p.16)

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	69000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	26000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	2700	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	124.084	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	55.1485	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	2.4e-05	/K
Conductividad térmica	170	W/(m·K)
Calor específico	1300	J/(kg·K)

Tabla 4: Propiedades mecánicas del aluminio 6061 por SolidWorks

Es importante conocer las propiedades mecánicas de los materiales debido a que gracias a ellas sabemos cómo afectara a la resistencia mecánica y en base a eso aplicar una fuerza que sea apropiada para la función que requerimos que haga la máquina.

## DESARROLLO

### Dibujo a mano alzada

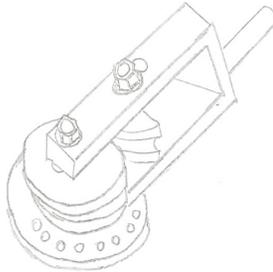


Figura 14: Dibujo a mano alzada  
Diseño por Carlos Gonzalez

Para empezar a diseñar se debe plasmar primero el concepto a mano alzada para que a partir de la investigación se puedan hacer mejoras e ir avanzando en el diseño. En este caso se realizaron dibujos para poder llegar a lo que es el diseño final, para esto aún no se tenían bien definidas las medidas en su totalidad, para llegar a ellas se tuvieron que ir avanzando conforme los movimientos de la máquina

### Subensambles

#### *Subensamble del soporte de la máquina*

Para empezar con el ensamble de esta máquina manual se toma principalmente el plato que contiene orificios con los cuales son esenciales en este método de doblado porque con ellos se especifica hasta que grado en un rango de  $180^\circ$  se podría realizar el doblado del tubo redondo.

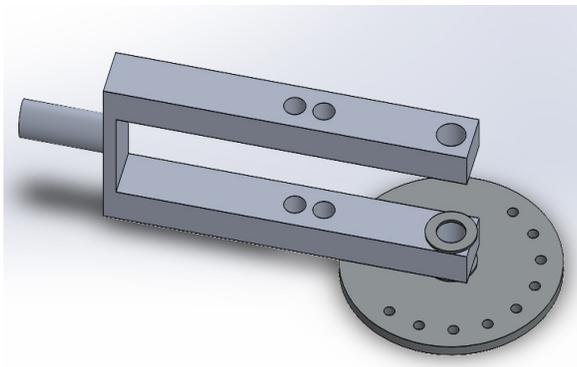


Figura 15: Subensamble del plato y palanca  
Diseño por Carlos Gonzalez, en SolidWorks 2022

A su vez se agregan arandelas en los orificios de la palanca y el plato para que de esta forma este mejor fijado los tornillos de fijación junto con la matriz de doblado y seguimiento.

#### *Subensamble de la matriz de doblado*

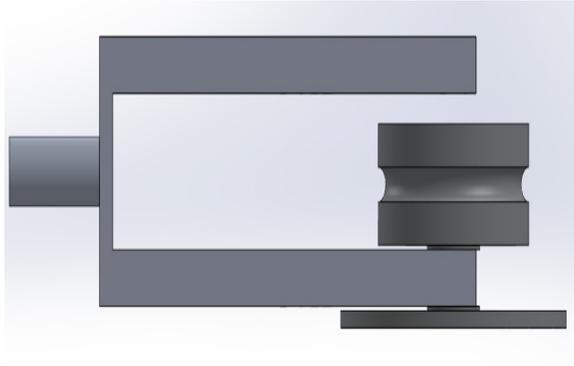


Figura 16: Matriz de doblado

Diseño por Carlos Gonzalez, en SolidWorks 2022

En la figura 15 se tiene el ensamble de la matriz principal del doblado de tubos con una arandela en la parte inferior para nivelar el componente mecánico y darle una fijación más segura.

#### *Subensamble de la matriz de sujeción*

En la figura 16 se tiene el ensamble de la matriz de sujeción, en donde esta debe soldada al plato, es importante este documento este nivelado junto con el radio interno de la matriz de doblado para que se soporte el tubular en él y mantenga firme el componente mecánico para evitar fisuras.

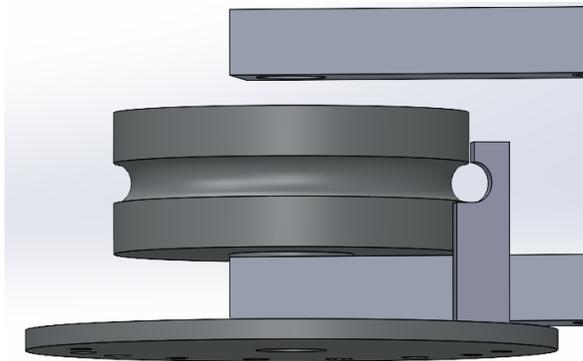


Figura 17: Matriz de sujeción.

### *Subensamble de tornillo para la matriz de doblado*

Para este ensamble se realizaron relaciones de posición entre las cuales se debe agregar una relación de centralidad junto con el plato, la palanca y la arandela. A su vez se le agrego la relación de posición de coincidente en la cara plana del tornillo junto con el plato para que esta permaneciera inmóvil debido a que es el componente que mantendrá unido tantos componentes se tomó la decisión de elegir un material resistente que soporte cargas para garantizar la correcta unión de los demás componentes.

Esto a su vez se le agrega una tuerca y una arandela en la parte superior para mantener unido el tubo.

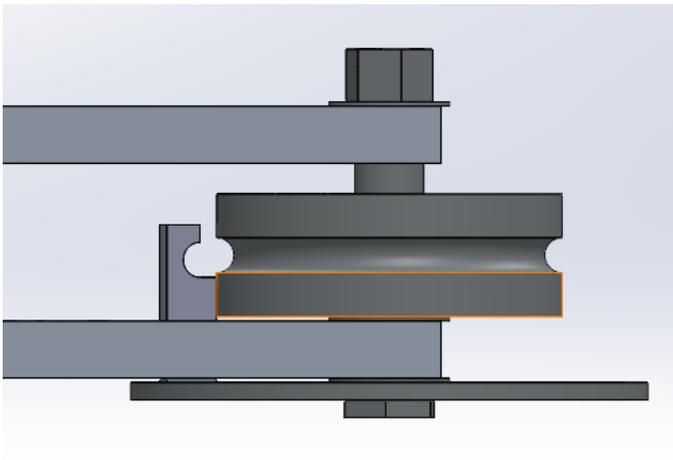


Figura 18: Tornillo de fijación

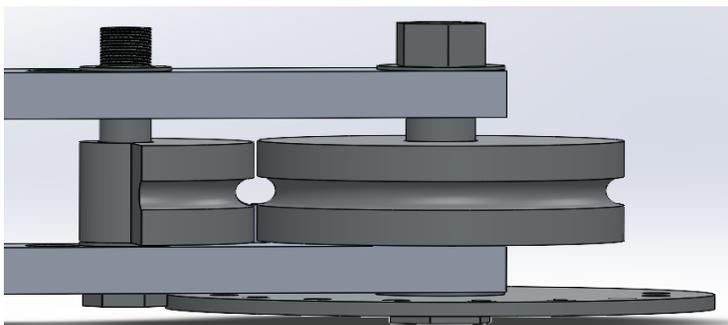


Figura 19: Matriz de presión

### *Subensamble de la matriz de presión*

Para ensamblar estos componentes se tomó el mismo principio que la matriz de doblado en donde se realizaron relaciones de posición de concéntrica, coincidencia. Al ser esta la matriz de seguimiento tiene que estar muy cerca del contacto con la matriz de doblado para evitar errores en el diseño.

## Ensamble final

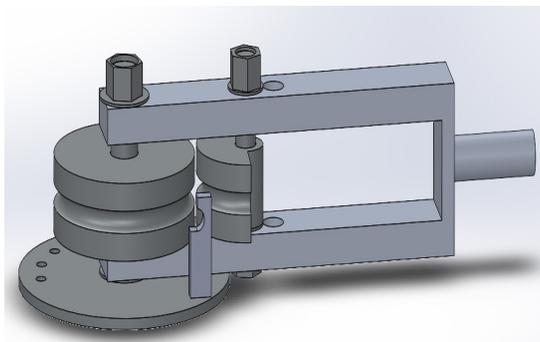


Figura 20: Ensamble final de la máquina curvadora de tubo redondo

Esta máquina cuenta con diferentes piezas maquinadas en las cuales están 2 matrices, una de doblado y una de presión, por otro lado, cuenta con una matriz dedo sujeción que funciona como soporte para los tubos que van a trabajar el cual esta soldado al plato graduado.

Por último, pero no menos importante esta la palanca con la cual cumple la función de realizar movimientos circulares para el doblado de tubos, para esta pieza se le realizaron dos perforaciones para trabajar con mayores diámetros en caso de ser necesario, esto con la finalidad de aprovechar al máximo el rendimiento de esta máquina y no se tenga que diseñar más componentes para efectuar el mismo trabajo, pero con piezas con diámetros mayores.

## Selección de Material para piezas mecánicas

Material	Piezas	Justificación
Acero inoxidable al cromo	Matriz de doblado Matriz de presión Tornillo Tuerca Arandela Plato graduado Tope	Este tipo de piezas al estar en contacto con otras piezas, y estar en constante movimiento se requiere de un material que sea resistente tanto a el trabajo mecánico como a la corrosión, oxidación y adversidades ambientales. Entre las ventajas de usar este material es que el contenido de cromo del acero permite la formación de una película de óxido de cromo resistente a la corrosión, rugosa, adherente e invisible en la superficie del acero. Si se daña mecánica o químicamente, esta película se cura por sí sola, siempre que haya oxígeno, incluso en cantidades muy pequeñas.
Aleación de aluminio 6061	Matriz de fijación Palanca	Es una aleación de una resistencia entre media y alta para lo cual conviene en estos diseños debido a que son piezas las cuales serán soldadas en el caso de la matriz de fijación. Por otro lado, es conveniente en la palanca porque tiene una resistencia media-alta lo cual soportará impactos, aunque en este caso la pieza no será comprometida a grandes fuerzas. Dicho así, resiste bien la corrosión, y tiene buena soldabilidad, ductilidad y maquinabilidad.

Tabla 5: Identificación de materiales

## Cálculo de momento

Como parte de la metodología se realizan los cálculos necesarios para saber la fuerza necesaria para que la maquina trabaje en óptimas condiciones, para esto se debe realizar análisis de cuerpo libre con el cual se tomara como referencia el perfil tubular.

Es importante destacar que para la obtención de cálculos es necesarios saber los diámetros con los cuales se va a trabajar, en este caso se obtuvo como referencia datos por medio de un documento en línea “Información técnica tubería y perfiles” (2012, julio), en donde se menciona los diámetros nominales, exteriores e interiores de tubería redonda estructural teniendo según ASTM A500 y TER HYL A500, en este caso se tomaron las medidas en mm para facilitar los cálculos mediante el sistema internacional (SI).

Diámetro nominal	Diámetro exterior		Espesor	
	pulgadas	mm	pulgadas	mm
1/2	0.840	21	0.109	2.8
			0.090	2.3
			0.075	1.9
			0.060	1.5
3/4	1.050	27	0.113	2.9
			0.095	2.4
			0.075	1.9
			0.060	1.5
1	1.315	33	0.133	3.4
			0.104	2.6
			0.075	1.9
			0.060	1.5
1 1/4	1.660	42	0.140	3.6
			0.110	2.8
			0.090	2.3
			0.075	1.9
1 1/2	1.900	48	0.145	3.7
			0.114	2.9
			0.090	2.3
			0.075	1.9
2	2.375	60	0.154	3.9
			0.120	3.1
			0.105	2.7
			0.090	2.3

Tabla 6: Diámetros de tuberías

Para obtener datos necesarios para saber que tanta fuerza se necesita aplicar en la máquina para lograr una deformación plástica en los perfiles circulares es necesario tomar en cuenta el trabajo de investigación de (Zuluaga,2019, pag.19), en donde se mencionan formulas y cálculos necesarios para obtener correctamente momentos para el doblado de tubos.

Trabajando con la mecánica de materiales se tiene que para el material de los tubos siendo Acero estructural A36 se tiene una resistencia máxima a la cadencia ( $S_y$ ) de 248 Mpa.

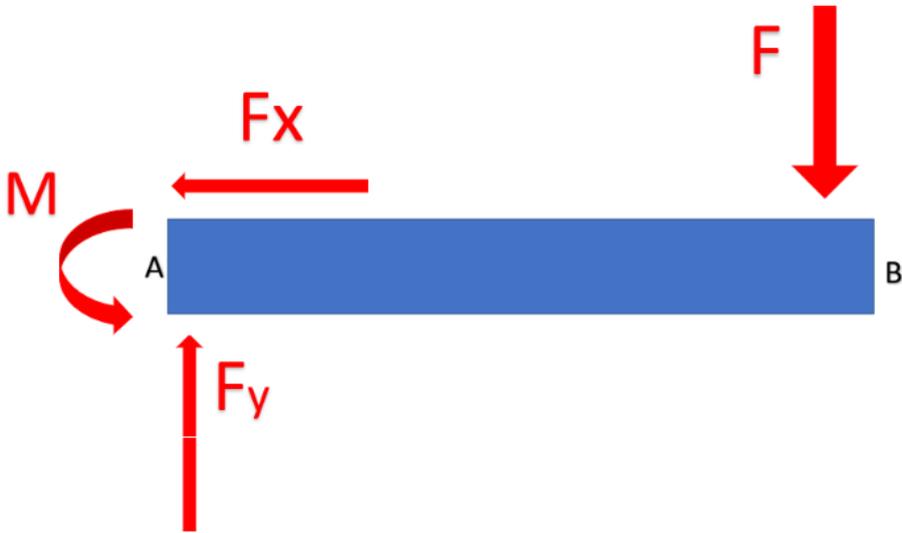


Figura 21: Análisis de cuerpo libre

Para poder trabajar es necesario utilizar un sistema de cuerpo libre, siendo así que el tubo al estar sujeta en el punto A y aplicándole una fuerza en el punto B, se realizaran los cálculos en base a este sistema de referencia.

De esta manera se pueden destacar por el sistema de cuerpo libre que el lugar donde se sufrirá mayor deformación es a partir del punto B, para poder doblar este tubo es necesario aplicar una fuerza tal que genere una deformación plástica en el material e impida su recuperación, para este trabajo se requieren los datos para evitar que al doblar el tubo cause daños superficiales como fisuras o en el peor de los casos fracturas en el material. Para obtener los cálculos se utilizarán las siguientes formulas.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} \dots \text{ecuación (2)}$$

$$S = \frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D} \dots \text{ecuación (3)}$$

Una vez teniendo estas ecuaciones se puede proceder a aplicarlas, para empezar, se deben calcular los módulos de sección y el cual se pueden encontrar en la tabla número 7.

Tubo	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Módulo de sección $mm^3$
½ in	21	17.2	500.035
1 in	33	29.2	1365.3017

Tabla 7: Calculo del módulo de sección

Sabiendo que el material de los tubos es acero A36, se puede obtener como resultado un  $S_y$  de 248 Mpa, para asegurar que el doblado sea el adecuado se tendrá un factor de seguridad de 1.5.

$$\sigma_{max} = S_y \times F.S = 248 \text{ Mpa} \times 1.5 = 372 \text{ Mpa}$$

Para obtener los momentos solo hay despejar nuestra ecuación 1, dando como resultado la siguiente ecuación:

$$M = \sigma_{max} \times S \dots \text{ecuación (4)}$$

Esta ecuación se aplicará con respecto a cada tubo, siendo así que el diseño final tendrá que poder trabajar con el máximo momento del tubular de 1 pulgada debido a que es el perfil que opondrá mayor resistencia.

Tubo	Módulo de sección $mm^3$	Momento Nm
½ in	500.035	186.03
1 in	1365.3017	507.89

Tabla 8: Cálculo del momento

## Simulación de esfuerzo-deformación

Para hacer más entendible el proceso de la simulación se trabajó con las unidades en el sistema internacional (SI). Como se muestra en la sección anterior del cálculo de fuerzas para doblar los tubulares redondos, se busca por medio de las simulaciones que los componentes mecánicos no fallen para poder garantizar que la maquinaria cumpla su función principal.

### Análisis de esfuerzos

#### Sujeciones y cargas

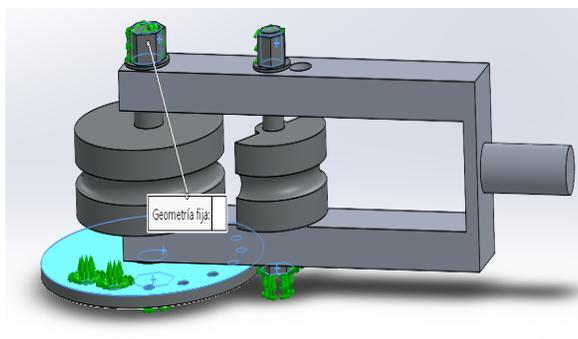


Figura 22: Fijaciones del análisis estático

Para el análisis primero se determinó en donde estarían las fijaciones de la máquina, debido a que funciona por medio de la palanca se requiere de un análisis de momentos en donde la matriz de doblado y la matriz de seguimiento donde cada componente reaccionara diferente a la fuerza aplicada debido a sus características físicas.

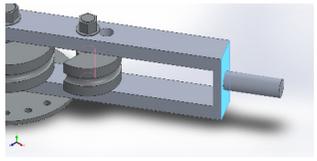
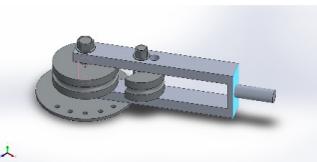
Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Torsión-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar momento torsor <b>Valor:</b> -508 N.m
Torsión-2		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar momento torsor <b>Valor:</b> -508 N.m

Tabla 9: Cargas en la máquina curvadora de tubo

Como se puede ver en la tabla número 9 se muestra en donde se está tomando la carga siendo está en la cara plana de la palanca, a su vez se establece como pivote las caras cilíndricas interiores de la matriz de seguimiento y doblado respectivamente.

#### *Fuerzas de reacción*

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	1,119.35	-1.6976	1,887.01	2,194.03

Tabla 10: Resultados de las fuerzas de reacción

Como se puede observar en la tabla 10, la mayor fuerza de reacción esta en el eje Z, esto debido a que en el eje z es el mayor rango de movimiento que tiene el diseño de la máquina.

#### *Fuerzas de cuerpo libre*

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.81487	-1.72479	-0.848851	2.08793

Tabla 11: Resultados de las fuerzas de cuerpo libre

En esta tabla 11, se puede apreciar como la mayor magnitud está en el eje de las Y debido a al peso de la máquina y a sus rangos de movimiento.

## Tensiones

Para realizar la prueba de tensiones en el diseño se requiere de un gráfico para el mayor entendimiento de las reacciones de la máquina, como se puede observar en la figura 21, está la relación de colores entre donde se tiene la mayor tensión con un valor de  $4.891e07$  Mpa. Teniendo estos datos los componentes que sufren un mayor esfuerzo por tensión es en el área de la matriz de doblado, esto se debe a que este componente es el que está en mayor movimiento durante todo el proceso del doblado de tubos.

Por otro lado, los demás componentes de la maquina no sufren un gran esfuerzo teniendo su valor mínimo en  $6.720e-03$  Mpa,

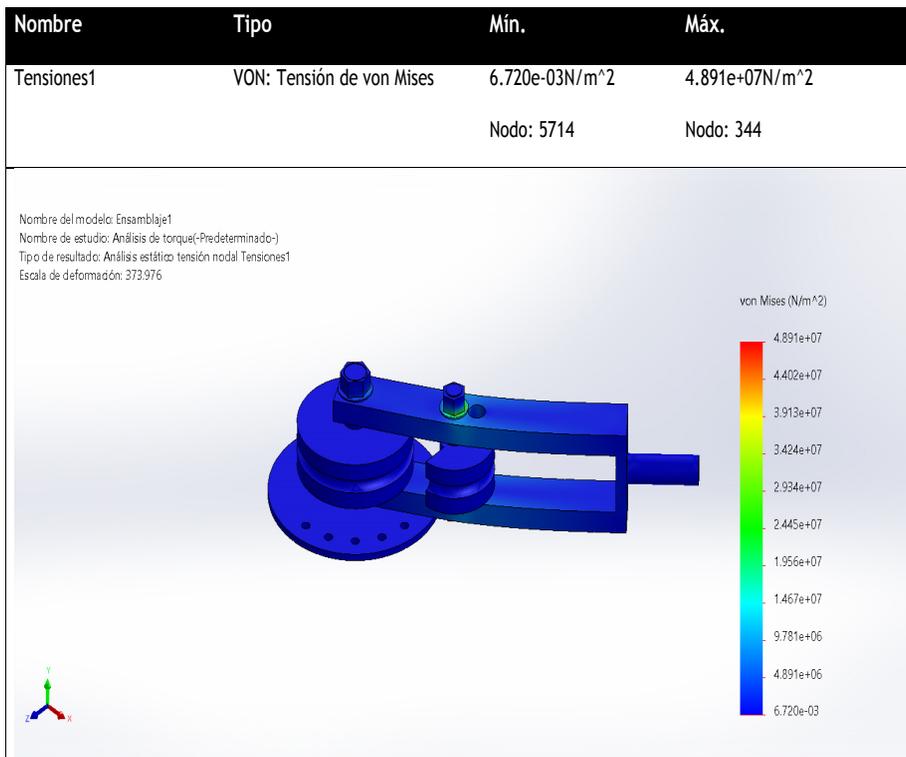


Figura 23: Von mises

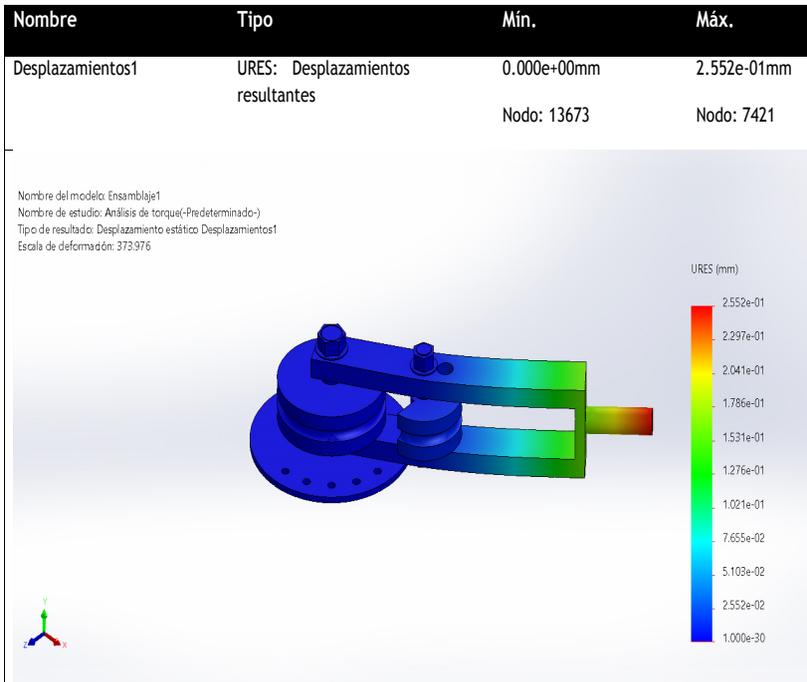


Figura 24: Desplazamiento

### *Desplazamientos*

En la figura 22 se puede apreciar como el mayor desplazamiento presentado en el diseño es de .255mm en donde este se presenta en la palanca, la cual está por color rojo, a partir de ese punto van disminuyendo los desplazamientos a lo largo de la palanca, esto manteniéndose invariable a partir de cierto punto en donde antes de llegar a las matrices de doblamiento se tiene un desplazamiento mínimo en la mayor parte de los componentes.

### *Deformación unitaria*

Para el análisis de la deformación unitaria se puede observar en la figura 23 que los componentes de la máquina no presentan un rango alto de deformaciones que considerando que este tipo de deformaciones se refiere a un cambio de longitud debido a una carga normal sobre algún material.

Las mayores deformaciones unitarias se presentan en la parte central de la palanca, estas siendo representadas con un color amarillo alrededor de la arandela y unos puntos rojos en la misma arandela.

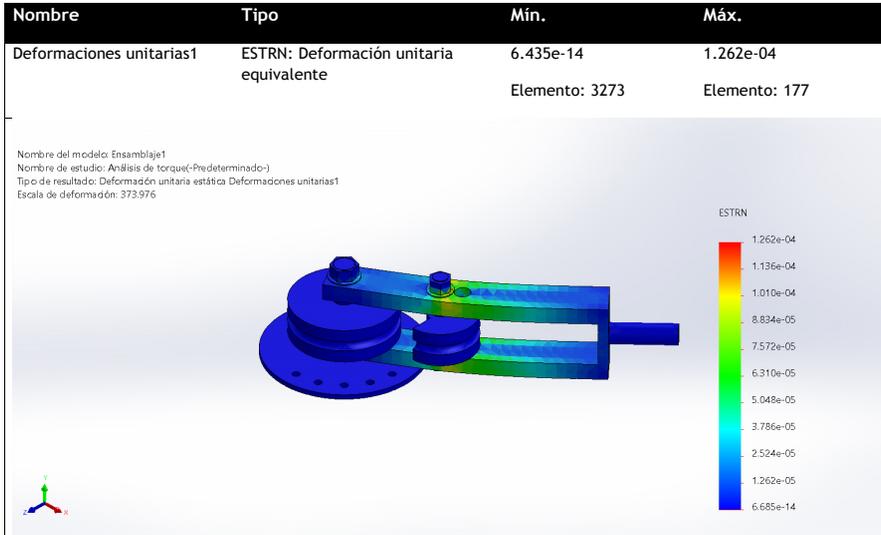


Figura 25: Deformación unitaria

### Factor de seguridad

Para este punto se debe indagar en que es el factor de seguridad, que siendo su función principal el garantizar que los componentes no fallen, siendo así el mínimo valor está presente en la mayor parte de la maquinaria siendo su valor mínimo de 3.52.

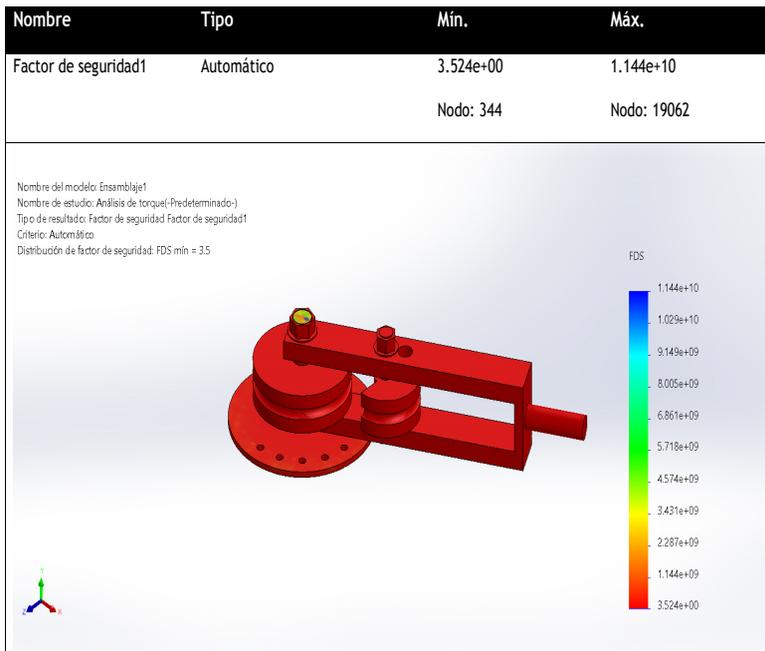


Figura 26:Factor de seguridad

### Análisis de impacto

Para el análisis de impacto se tomó como referencia menos componentes de la máquina, esto debido a que no son necesarios al momento de analizar el comportamiento debido a que no sufren este tipo de deformación, por lo que para este tipo de simulación es necesario tomar menos componentes como se muestra en la figura 25.

### Sujeciones y cargas

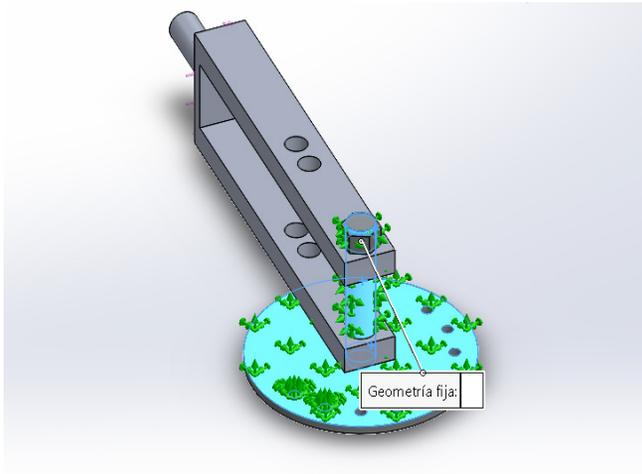


Figura 27: Sujeciones para impacto

En este ensamble es necesario analizar en donde se estará las fijaciones de los componentes, siendo así en el plato, el tornillo guía que es donde está el mayor soporte de la máquina.

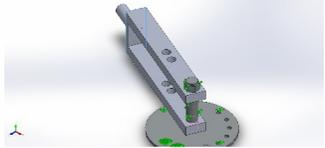
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Torsión-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar momento torsor <b>Valor:</b> -508 N.m

Tabla 12: Cargas del subensamble

### Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-323.555	0.417799	783.759	847.919

Tabla 13: Fuerzas de reacción del subensamble

En este análisis estático se tiene registrado la mayor fuerza de reacción en el eje de las Z siendo este por el movimiento en el sentido de las manecillas del reloj.

*Fuerzas de cuerpo libre*

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.207491	-0.418374	0.0615632	0.471041

Tabla 14: Fuerzas de cuerpo libre del subensamble

La mayor fuerza registrada está en el eje de las Y, siendo en sentido negativo debido al rango de movimiento de la máquina considerando también que está actuando la gravedad de la misma.

*Tensiones del subensamble*

Como en esta simulación se quieren tomar en cuenta las reacciones del tope siendo este el que está sometido al mayor impacto, se consideraron ejecutar un momento en donde este componente actuaría como un componente de fijación puesto en el orificio del plato.

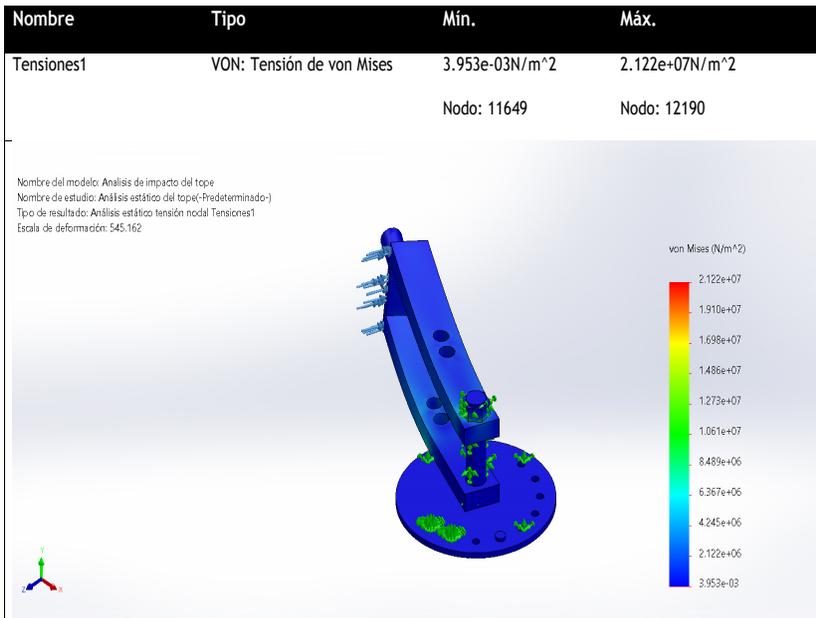


Figura 28: Tensiones del subensamble

## Desplazamientos del subensamble

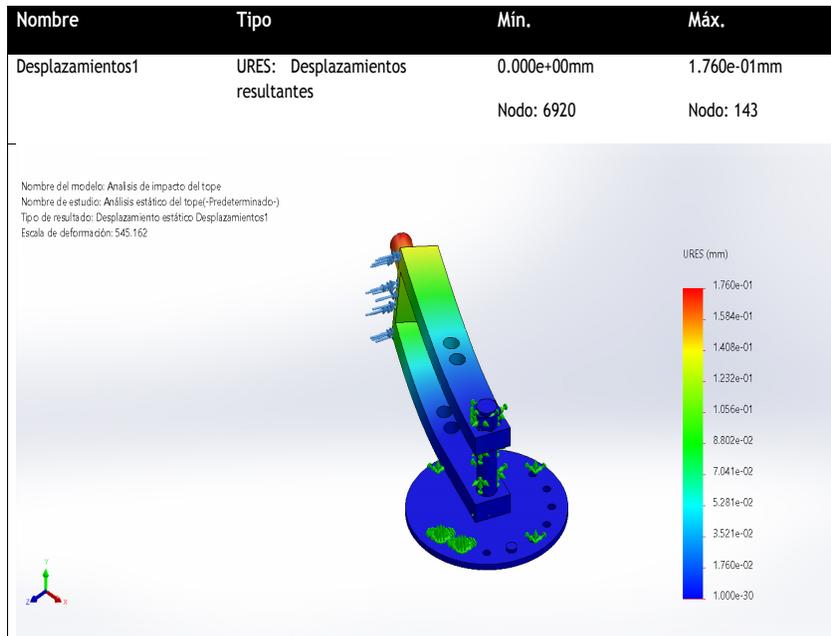


Figura 29: Desplazamientos del subensamble

Al igual que en la simulación de los componentes completos de la máquina, el desplazamiento mayor se presenta en la palanca, esto debido a que es principalmente donde se ejerce la fuerza y por el movimiento al que está sometida.

## Deformaciones del subensamble

Siendo este el análisis de un subensamble se puede mostrar en la figura 28, como las mayores deformaciones presentadas en los componentes se presentan en la parte central de la palanca, registrándose el valor máximo de  $9.463e-5$  y el valor mínimo de  $1.50e-14$  en la mayoría de los componentes.

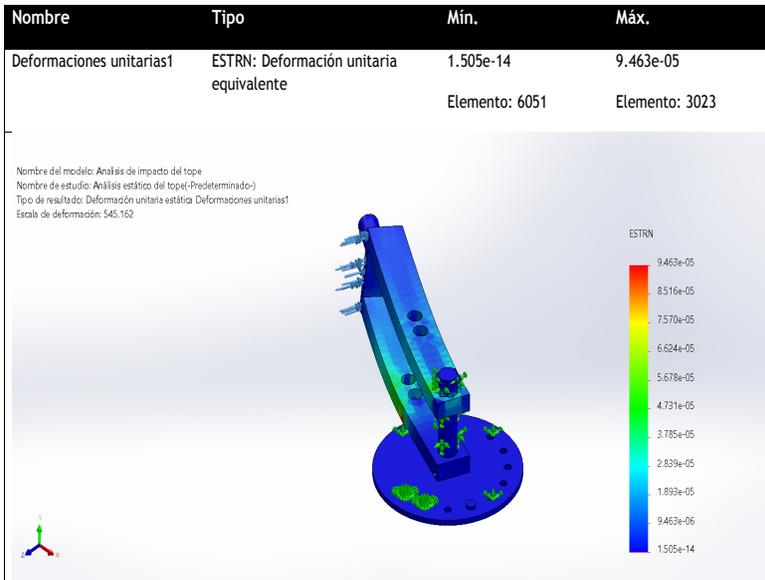


Figura 30: Deformaciones del subensamble

### Factor de seguridad del subensamble

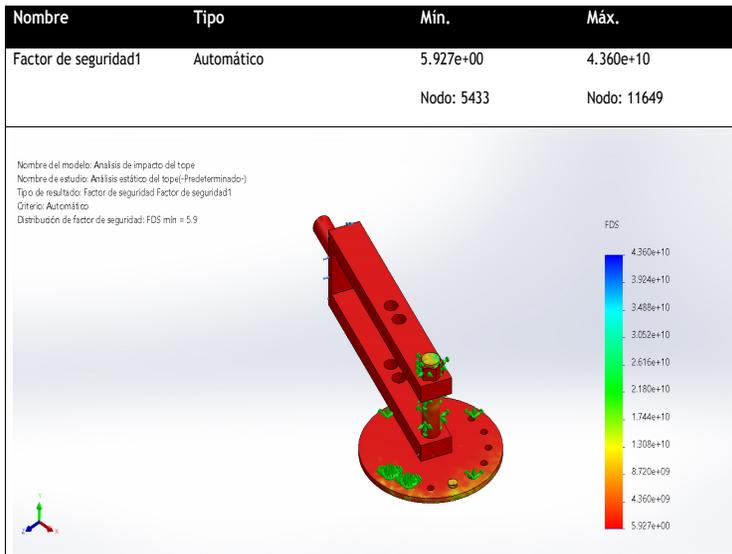


Figura 31: Factor de seguridad del subensamble

Teniendo un valor mínimo del factor de seguridad de 5.927 representado en la mayoría de la estructura de la máquina, también se tiene como resultado en el tope un valor máximo registrado de 17, en donde se toman como referencia las tonalidades en la cara plana del tope.

## Simulación de movimiento

Para este tipo de proceso, es necesario saber que los movimientos de la máquina son en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido antihorario, de esta forma tomando como referencia la matriz de fijación, al momento de hacer la curvatura del tubo se tomó en consideración un sentido antihorario, pero eso podría cambiar dependiendo de qué lado se instale la matriz de fijación del diseño.

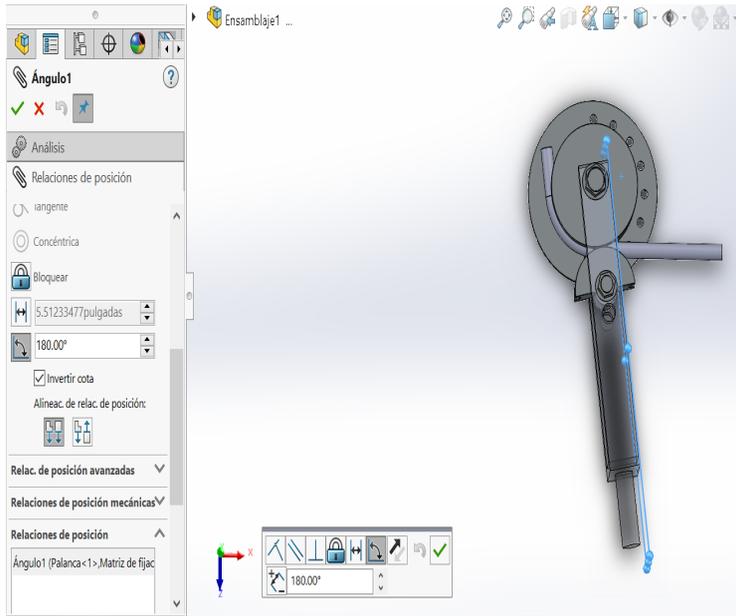


Figura 32: Rangos de movimiento

El Sistema de doblado tiene un rango de 180 grados en donde para se realizaron los movimientos teniendo como referencia la palanca y el tornillo guía. Por otro lado, se le realizó varias relaciones de posición para poder lograr el movimiento de la palanca acorde con el doblado del tubo.

Por otro lado, cabe aclarar que, para poder simular el movimiento de la máquina, en este caso a 90 grados el tubo se mueve junto con la palanca teniendo en cuenta su avance y retroceso.

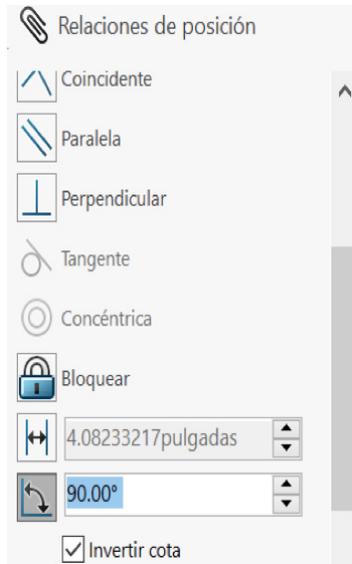


Figura 33: Relaciones de posición

Para poder realizar el movimiento se realizó un estudio de movimiento, proporcionado por SolidWorks en donde aquí se estableció un motor rotatorio en la palanca del mecanismo, con un movimiento oscilante a 90 grados como se muestra en la figura 33.

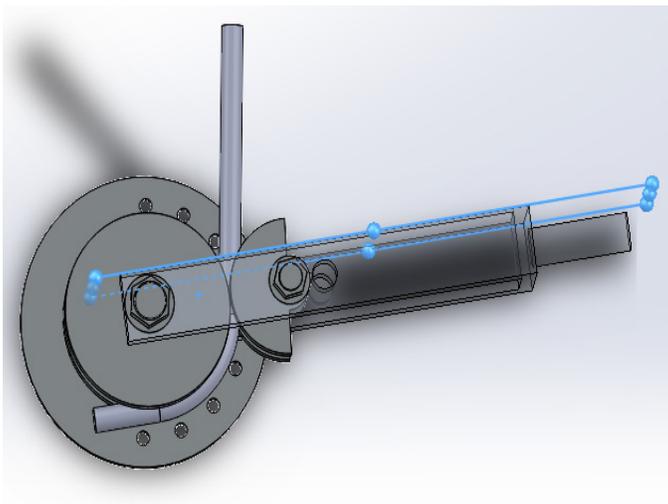


Figura 34: Movimiento a 90 grados

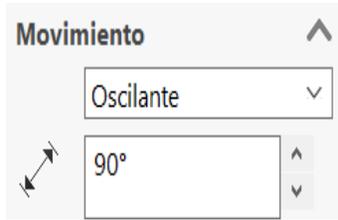


Figura 35: Movimiento oscilante

De esta forma se puede tener una moderación de movimiento, en este caso se puede ver representado en la figura 34 como avanza la palanca y en relación con ella se está generando un doblado del tubo a la par por el movimiento de la misma.

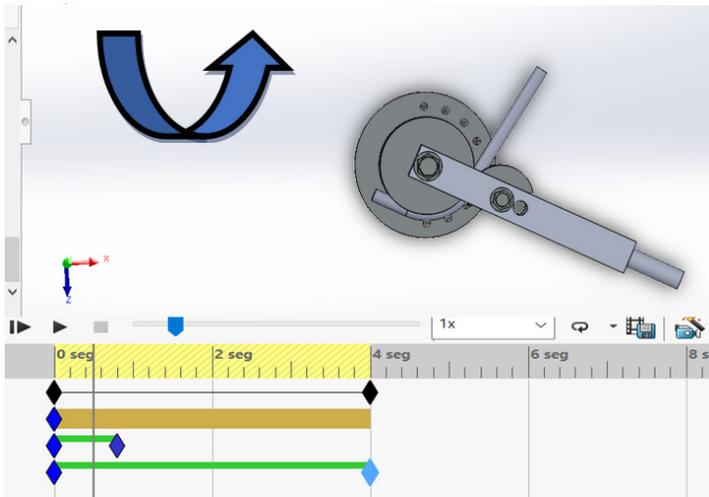


Figura 36: Estudio de movimiento

De esta forma, tomando en cuenta el movimiento rotatorio del motor que se le aplico a la cara de la palanca, con respecto al tornillo guía y haciendo sus respectivas relaciones de posición queda demostrado como conforme avanza la palanca, el tubo va generando un doblado a 90 grados.

## RESULTADOS

Después de toda la información recabada para llevar a cabo el diseño de la máquina curvadora de tubo redondo, es un hecho que el diseño funciona puesto que al realizar las simulaciones de torsión tomando como referencia la mayor carga para poder doblar el tubo de acero redondo A36, el factor de seguridad del ensamble y las simulaciones de esfuerzo-deformación dieron como resultado un buen valor manteniendo las deformaciones de la maquina al mínimo.

En cada uno de los estudios se experimentó con la mayor carga que debería soportar los componentes, y, aun así, analizando los datos se obtiene como resultado que todos los componentes resisten cargas elevadas tomando en consideración el material que se propuso para la simulación y el material del tubular a doblar.

Se alcanzaron los objetivos propuestos en el capítulo 1, por otro lado, también se logró que el diseño no fuera muy complejo lo cual por los materiales escogidos y la manera en que están ensamblados los componentes se viera bastante estético y sobre todo duraderos, esto comprobado por el factor de seguridad en donde teniendo el máximo valor en 5.9, se demuestra que no es una maquina sobre diseñada.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

En definitiva con una máquina manual como esta en las instalaciones del instituto tecnológico de ciudad Juárez será de bastante beneficio, teniendo en cuenta las carreras que se imparten en esta institución se tendrán alternativas para experimentos con lo cual el estudiante será beneficiado al obtener el aprendizaje no solo teórico, si no también empírico puesto que en la actualidad a un nivel de ingeniería, el tener conocimientos sobre la manufactura de este tipo de procesos de trabajo le otorgara una ventaja académica y profesional.

La máquina que se diseñó es un mecanismo fácil de utilizar por lo cual no requeriría de mucho gasto debido a que fue diseñado por el alumnado. El aprendizaje obtenido por el desarrollo de este proyecto se ve reflejado en el manejo de materiales, mediciones, estructuras y análisis en donde se comprobó la eficacia de la herramienta al estar sometida a la mayor carga para curvar el tubo, que son los puntos más importantes para garantizar que el diseño funciona.

### **Recomendaciones**

Mi recomendación sería que a futuro que se planea manufacturar esta máquina se tenga en consideración que la matriz de fijación debe ser soldada o bien podría ponerse con un tornillo fijada al plato, también considerar los materiales de la máquina, que si bien con este diseño funcionan teóricamente podría a llegar funcionar mejor con otras propuestas como en el caso de los tornillos que sean más resistentes.

## REFERENCIAS

Baddoo, N. (9 de Octubre de 2019). *Estructurando*. Obtenido de Manual de Diseño para Acero Inoxidable Estructural: <http://www.steel-stainless.org/media/1462/dmsss-4th-ed-spanish.pdf>

Calderon, E. A. (2019). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20823>

Flores, G. P. (Agosto de 2013). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de Diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos hidráulica con accionamiento automático: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5995>

Galbarro, H. R. (2022). *Ingemecanica* . Obtenido de Ingemecanica: <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html#tabla8>

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* . Mc Graw Hill.

Hibbeler, R. (2006). *Mecanica de materiales* . PEARSON PRENTICE HALL.

Hurtado , J., Santana, R., & Arzola , J. (Noviembre de 2012). *ResearchGate*. Obtenido de DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE LAS VARIABLES DE CARGAS EN EL PROCESO DE DOBLADO DE TUBOS POR ARRASTRE: [https://www.researchgate.net/publication/273763212\\_DETERMINACION\\_DE\\_LOS\\_INTERVALOS\\_DE\\_LAS\\_VARIABLES\\_DE\\_CARGAS\\_EN\\_EL\\_PROCESO\\_DE\\_DOBLADO\\_DE\\_TUBOS\\_POR\\_ARRASTRE](https://www.researchgate.net/publication/273763212_DETERMINACION_DE_LOS_INTERVALOS_DE_LAS_VARIABLES_DE_CARGAS_EN_EL_PROCESO_DE_DOBLADO_DE_TUBOS_POR_ARRASTRE)

R.S. , K., & J.K GUPTA. (2005). *A Textbook of Machine Design*. NEW DELHI: EURASIA PUBLISHING HOUSE (PVT.) LTD.

Rosillon, K. (01 de Julio de 2014). *Revecitec Urbe*. Obtenido de Revista electronica Venezolana de ciencia y Tecnologia : <http://ojs.urbe.edu/index.php/revecitec/article/view/1498>

Rossello, N. M. (2007). *Estudio de las propiedades mecánicas y microestructurales de una aleación de aluminio 6061 sometida a un proceso de soldadura GMAW* . Obtenido de <http://documents.famaf.unc.edu.ar/institucional/biblioteca/trabajos/621/13641.pdf>

Rubio Tomalacelio , A., & Molina Leon, E. R. (Diciembre de 2012). *Universidad Tecnica de COTOPAXI*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1347>

URIBE, E. A. (2003). *Universidad de los andes Colombia*. Obtenido de Repositorio insitucional Seneca : <http://hdl.handle.net/1992/20798>

Zapata, J. A. (2019) . *Manual de Diseño para Acero Inoxidable Estructural*. Cataluña: Acerinox.

# ANEXOS

Precio de máquinas manuales comerciales proporcionados por Amazon.



Pasa el mouse encima de la imagen para aplicar zoom



Woodward Fab Tube and Pipe Bender, Model# WFB2 by Woodward Fab

Marca: Woodward Fab

\$16,066<sup>51</sup>

Hasta 6 meses sin intereses de \$2,677.76. Ver mensualidades ▾



Pagos y Seguridad



Política de devoluciones

- Woodward Fab Tube and Pipe Bender, Model# WFB2
- 29 Inch

**Bocinas Inteligentes**

Todo para tu Smart Home

Ver más ▶



Nuevo

**Dobladora De Tubo Manual De Banco 1-3 Pulgadas, 7 Troqueles**

\$ 4,999

en 12x \$ 416<sup>58</sup> sin interés

IVA incluido

[Ver los medios de pago](#)

**Envío gratis a todo el país**

Conoce los tiempos y las formas de envío.

[Calcular cuándo llega](#)

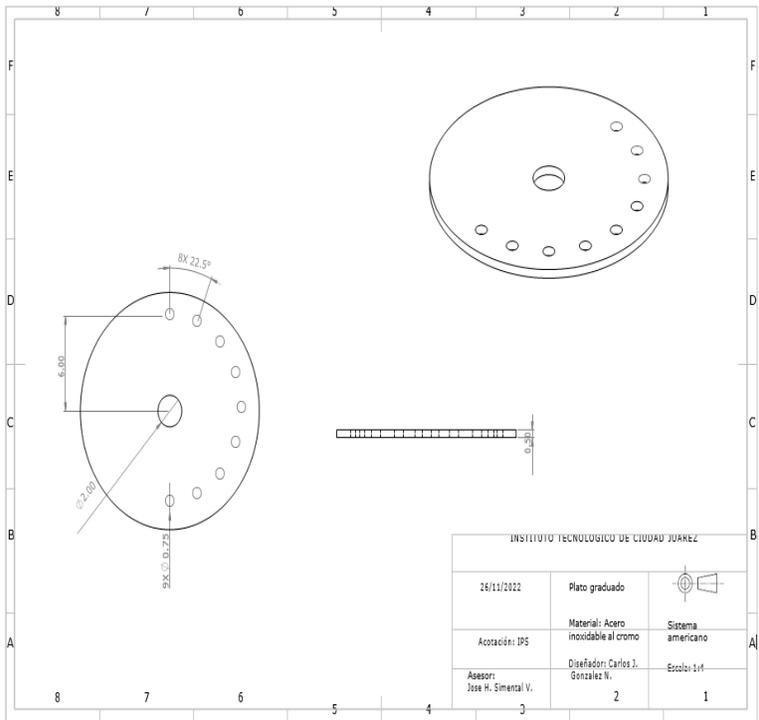
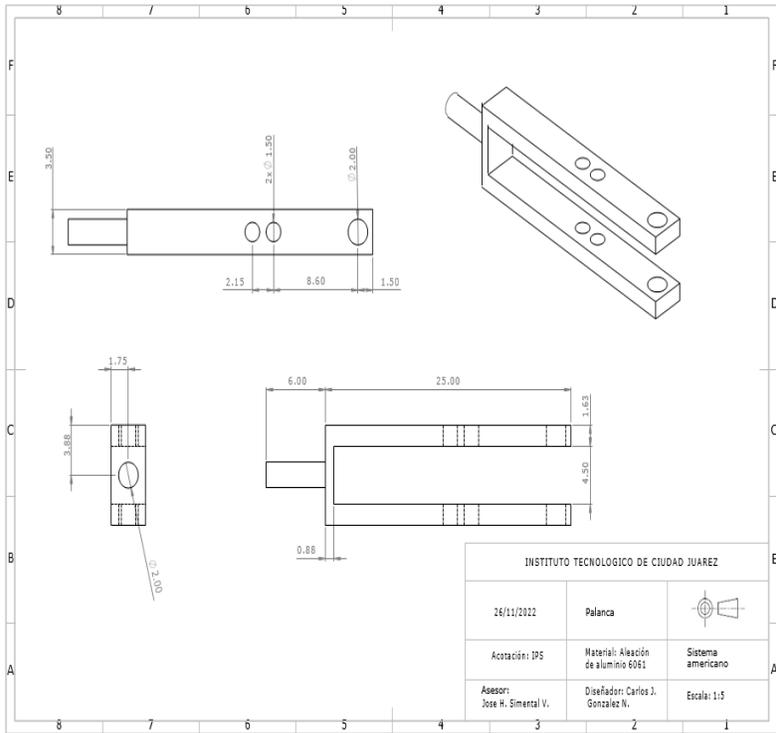
**Devolución gratis**

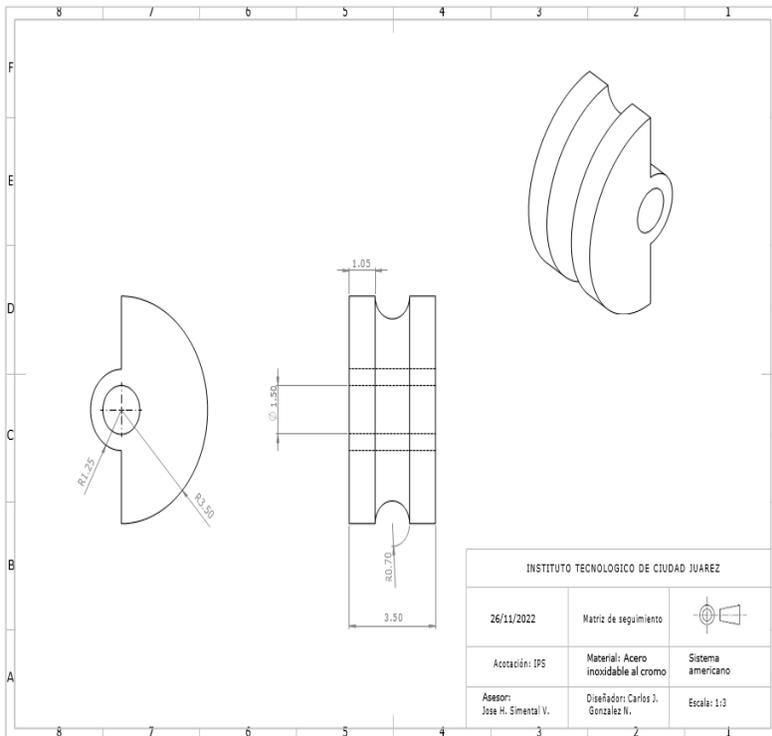
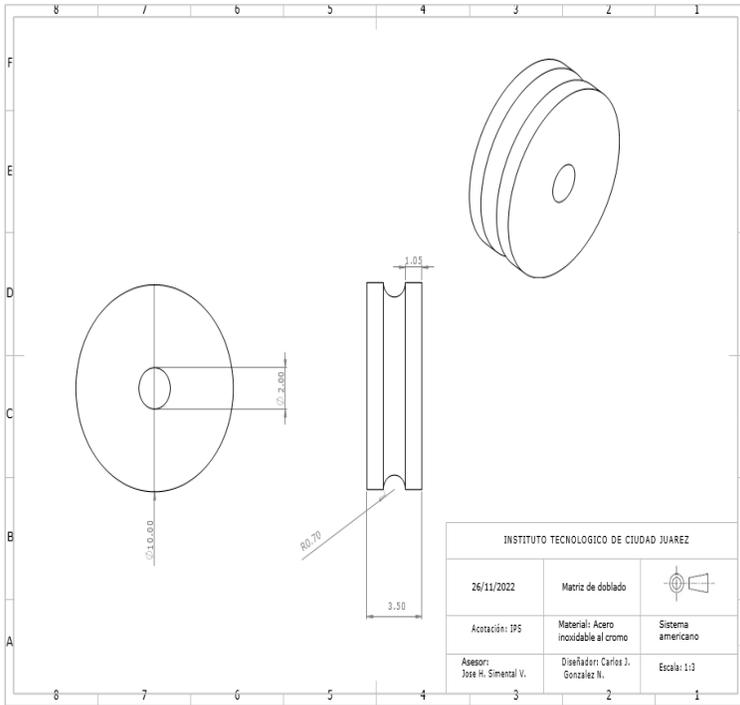
Tienes 30 días desde que lo recibes.

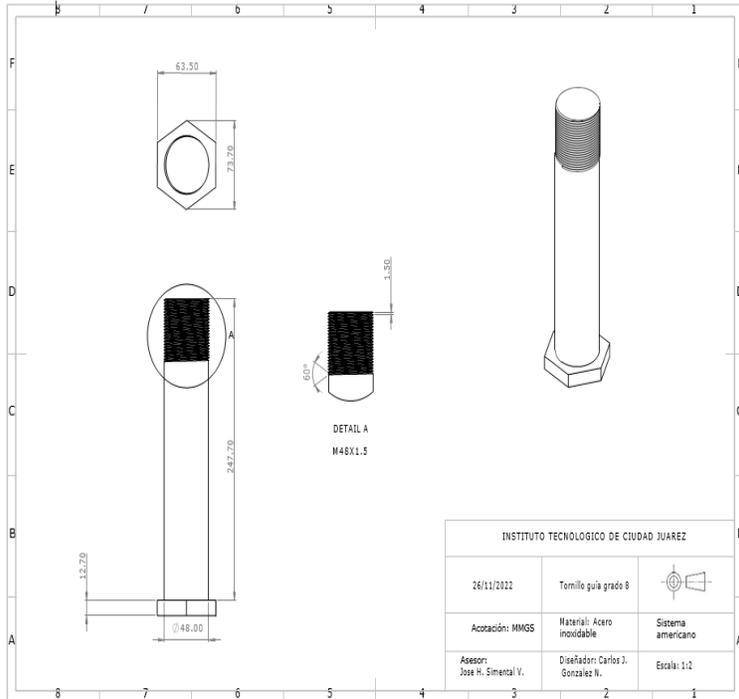
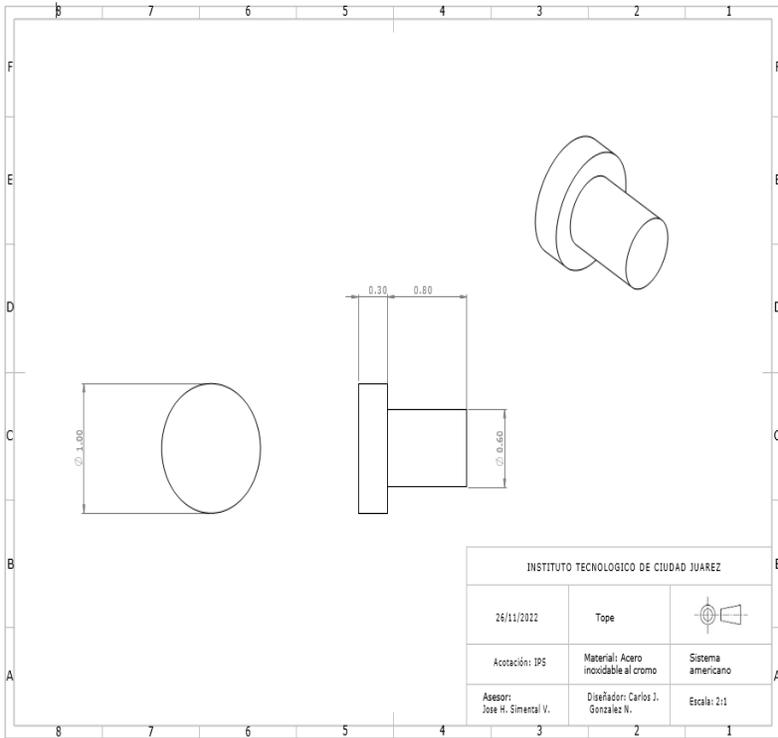
[Conocer más](#)

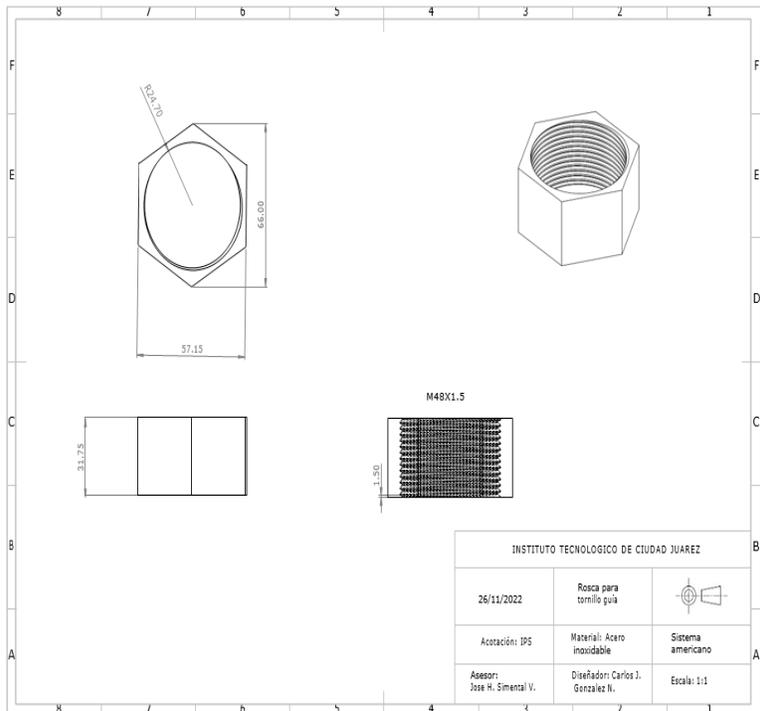
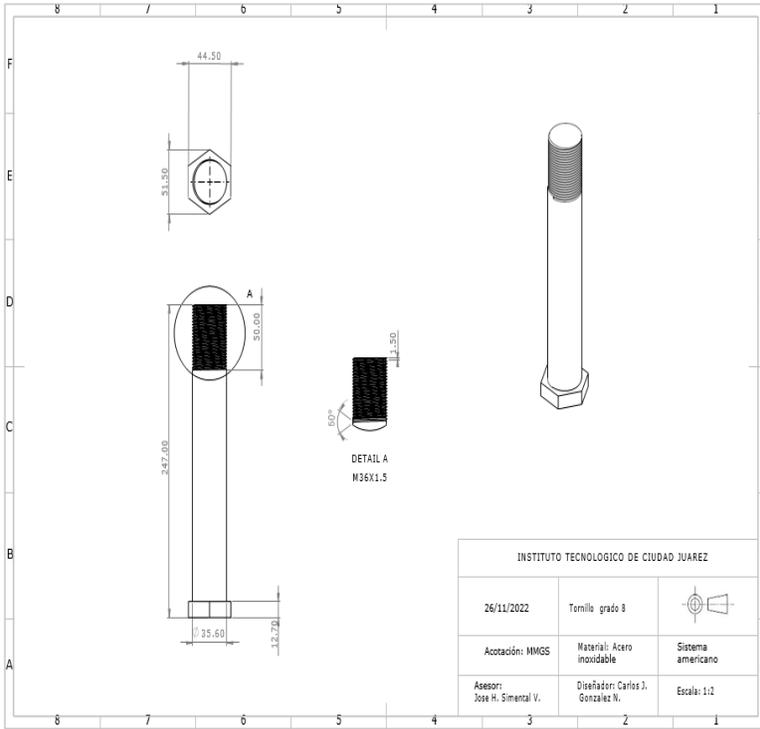
**Disponible 10 días después de tu compra**

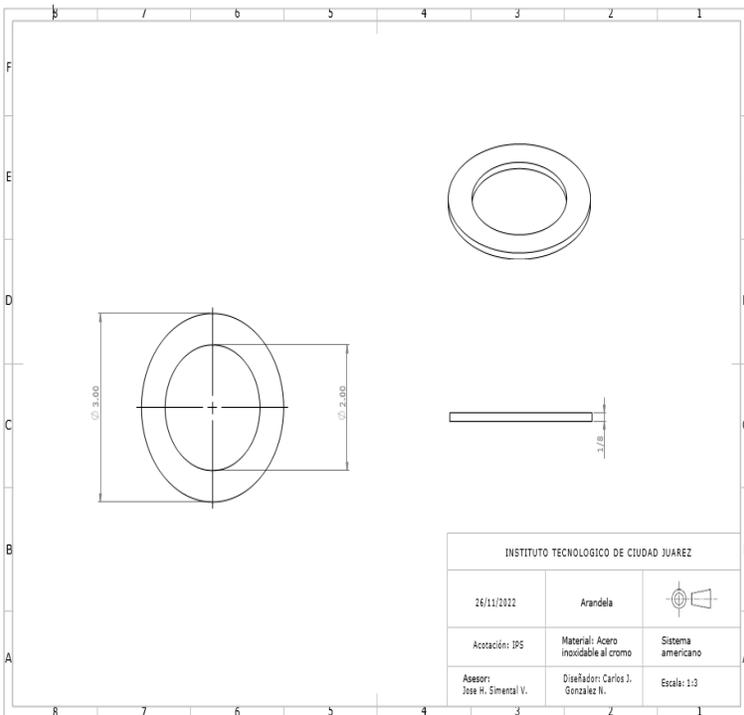
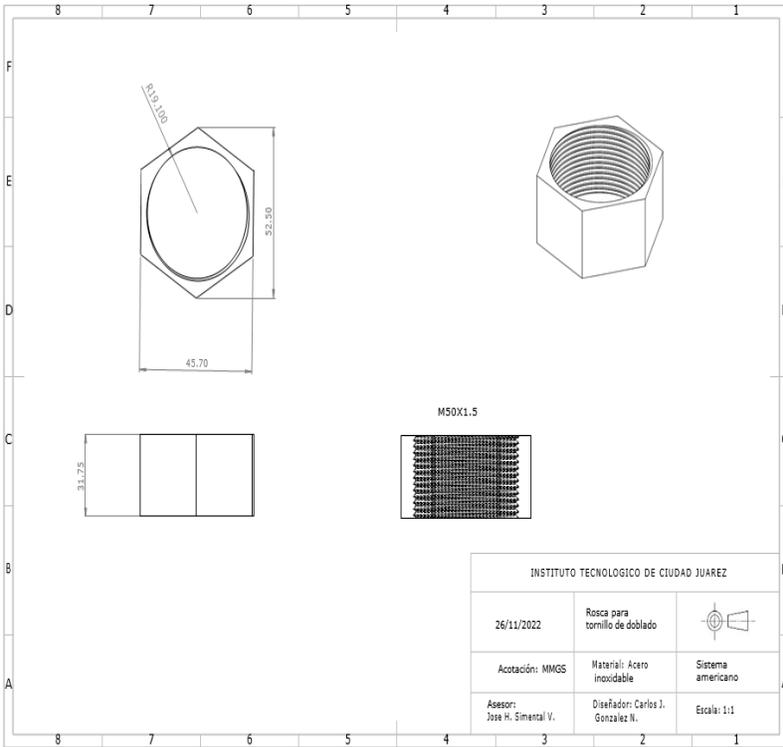
Cantidad: **1 unidad** ▾ (1000 disponibles)

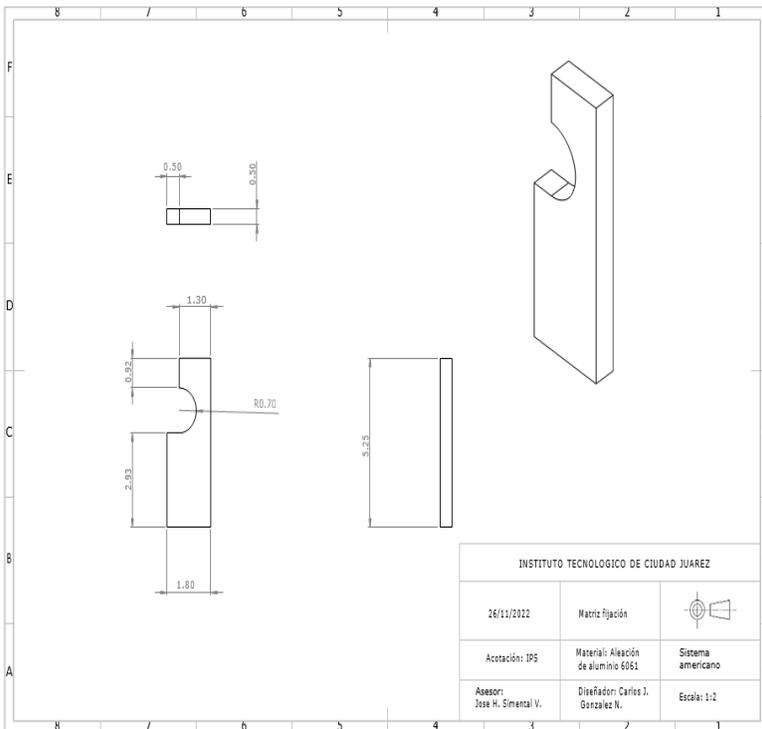
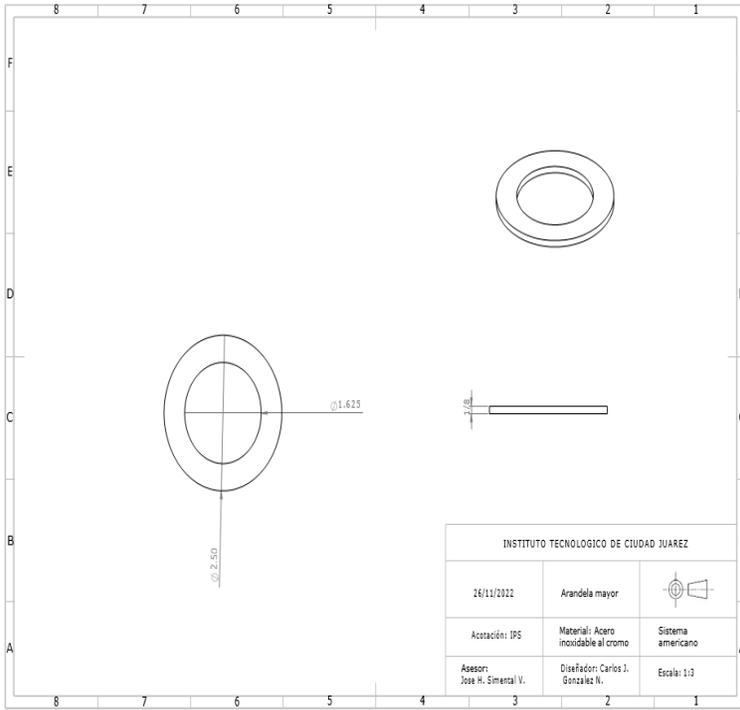


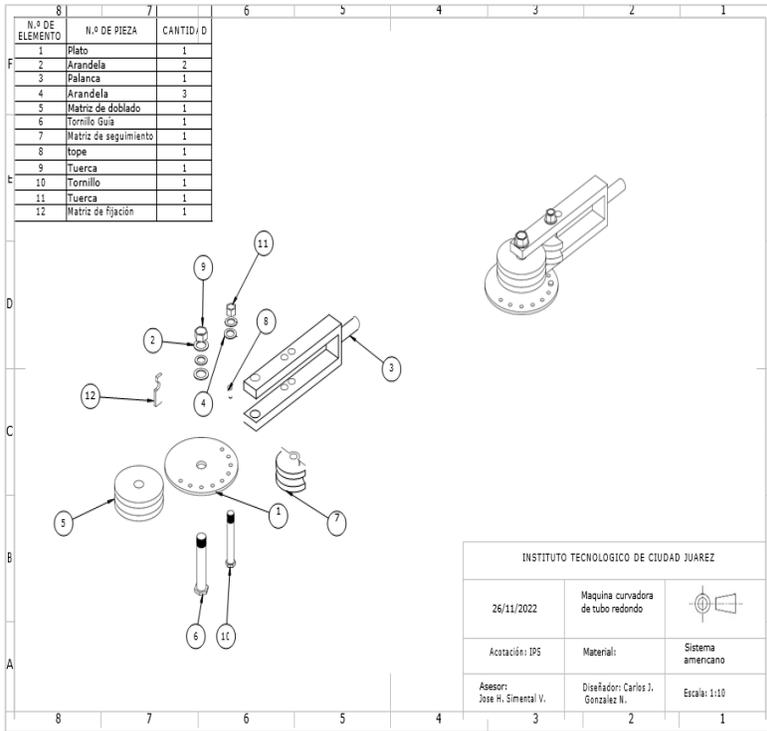












**LEONARDO FRANÇA DA SILVA:** Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal De Minas Gerais (UFMG). Engenheiro Segurança do Trabalho, especialista em Engenharia de Produção. Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista -UNESP. Doutor em Engenharia Agrícola (Construções Rurais e Ambiência) pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente atua como membro como membro colaborador dos grupos de pesquisa vinculado ao CNPq: Núcleo em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais - AMBIAGRO- UFV, Ergonomia e segurança industrial, Ergonomia e Segurança do Trabalho, Segurança e Saúde do Trabalho, Ergonomia Florestal - LABOERGO - UFV . Atuou como Professor Substituto de Magistério Superior na Universidade Federal de Viçosa, campus Florestal, lecionando as disciplinas de Desenho Técnico e Construções Rurais. Possui experiência nas áreas de Engenharia agrícola, com ênfase em Engenharia de Construções Rurais, Desenho técnico e Assistido por computador, Sustentabilidade em sistemas de produção (Agrícola / Animal), Segurança do trabalho e Ergonomia, Desenvolvimento rural, Energia renováveis na agricultura.

**JOSIANE ROSA SILVA DE OLIVEIRA:** Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa - UFV (2007), mestre e doutoranda em Engenharia Agrícola, na área de Recursos Hídricos e Ambientais pela UFV. Membro do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. Tem experiência na área de planejamento e gestão de recursos hídricos e ambientais e manejo de bacias hidrográficas, com ênfase em estudos hidrológicos e conservação de solo e água. Atualmente é professora da Universidade Federal de Viçosa - Campus Florestal

**JÉSSICA MANSUR SIQUEIRA FURTADO CRUSOÉ:** Zootecnista formada pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), com mestrado e doutorado em Zootecnia na área de nutrição e produção de animais monogástricos pela mesma instituição. Atualmente atua como professora substituta na UFV – Campus de Florestal, é coordenadora da Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão – Aves e Suínos da UFV e atua também como instrutora do Sistema FAEMG Senar Minas nas áreas de avicultura e suinocultura. Possui experiência em produção, nutrição e alimentação de aves e suínos, bioclimatologia, avicultura com foco em produção de ovos em sistemas alternativos, nutrição e alimentação de poedeiras e desenvolvimento sustentável da avicultura e suinocultura familiar.

**A**

Ambiente 14, 21, 32, 33, 36

Análisis técnico 1, 2, 3, 13

**C**

Calidad 4, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 49

Centro de carga 1, 2, 3, 4, 5, 9, 12, 13

Código de red 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13

**D**

Deformación 38, 41, 50, 59, 60, 62, 63, 73, 74, 75, 78, 79, 80, 86

**E**

Estrés térmico 38, 39

**G**

Generación directa de vapor 38, 39, 42, 47

**M**

Mejora continua 14, 18, 20, 21, 26, 33, 35, 37

**R**

Receptor tubular 38, 40

**S**

Sistema eléctrico 1, 2, 6, 7, 11, 13

Sistema integrado de gestión 14, 15, 16, 30, 32, 33, 34, 36, 37

**T**

Torre solar 38

Tubo ranurado 38, 40, 44, 45, 46, 48, 50, 51

# INGENIERÍAS EN PERSPECTIVA

ciencia, tecnología e innovación

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# INGENIERÍAS EN PERSPECTIVA

ciencia, tecnología e innovación

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)