

ISSN 2531-2189

Volumen 3, Número 11 — Julio — Septiembre - 2019

# Revista de Ingeniería Mecánica



## **ECORFAN-Spain**

### **Editor en Jefe**

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

### **Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

### **Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

### **Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Revista de Ingeniería Mecánica** Volumen 3, Número 11, de Julio a Septiembre - 2019, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Spain. Calle Matacerquillas 38, CP: 28411. Morzarzal -Madrid. WEB: [www.ecorfan.org/spain](http://www.ecorfan.org/spain), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editor en Jefe: SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC, ISSN: 2531-2189. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 30 de Septiembre de 2019.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Centro Español de Ciencia y Tecnología.

# **Revista de Ingeniería Mecánica**

## **Definición del Research Journal**

### **Objetivos Científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Construcción de puentes, Desarrollo de la ingeniería ambiental, Gestión en construcción de viviendas, Infraestructura hidráulicas Mecánica de suelos, Ingeniería sanitaria, Infraestructura vial

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

### **Alcances, Cobertura y Audiencia**

Revista de Ingeniería Mecánica es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Spain, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de Construcción de puentes, Desarrollo de la ingeniería ambiental, Gestión en construcción de viviendas, Infraestructura hidráulicas Mecánica de suelos, Ingeniería sanitaria, Infraestructura vial con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## **Consejo Editorial**

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD  
Universidad Politécnica de Madrid

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD  
University of Bristol

HERRERA - DIAZ, Israel Enrique. PhD  
Center of Research in Mathematics

MEDELLIN - CASTILLO, Hugo Iván. PhD  
Heriot-Watt University

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD  
University of Texas

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD  
University of South Florida

RODRIGUEZ - ROBLEDO, Gricelda. PhD  
Universidad Santander

TELOXA - REYES, Julio. PhD  
Advanced Technology Center

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD  
University of Alberta

VEGA - PINEDA, Javier. PhD  
University of Texas

## **Comité Arbitral**

ALVAREZ - SÁNCHEZ, Ervin Jesús. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada

CHÁVEZ - GUZMÁN, Carlos Alberto. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

ENRÍQUEZ - ZÁRATE, Josué. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

FERNÁNDEZ - GÓMEZ, Tomás. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GUDIÑO - LAU, Jorge. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

GUTIÉRREZ - VILLEGAS, Juan Carlos. PhD  
Centro de Tecnología Avanzada

MÉRIDA - RUBIO, Jován Oseas. PhD  
Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital

MORENO - RIOS, Marisa. PhD  
Instituto Tecnológico de Pachuca

PORTILLO - VÉLEZ, Rogelio de Jesús. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

SANDOVAL - GUTIÉRREZ, Jacobo. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Mecánica emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Spain considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra

## **Declaración de Autoría**

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORCID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

## **Detección de Plagio**

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

## **Proceso de Arbitraje**

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de América-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial-Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

## **Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación**

### **Área del Conocimiento**

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Bombas y equipos para manipulación de líquidos, cojinetes, compresores de aire, engranajes, equipo de refrigeración, equipo mecánico de transmisión de potencia, equipo neumático, equipó y maquinaria industrial, maquinaria agropecuaria, maquinaria de extracción de petróleo, maquinaria de impresión y reproducción, maquinaria de minería, maquinaria hidráulica, maquinaria industrial especializada, maquinaria nuclear, maquinaria para fabricar papel, maquinaria para la industria de la alimentación, maquinaria para manejo de materiales, maquinaria textil, maquinarias de vapor, máquinas expendedoras y distribuidoras, máquinas, herramientas y accesorios, material de calefacción, material de construcción, matrices, plantillas y calibres, motores de combustión interna(general), motores de gas, operaciones mecanizadas y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

## Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Controlador robusto para el seguimiento de trayectorias para un exoesqueleto de extremidades inferiores*, por BLANCO-ORTEGA, Andrés, PEREZ-VIGUERAS, Demetrio, ANTUNEZ-LEYVA, Edgar y COLIN-OCAMPO, Jorge, como siguiente artículo presentamos, *Diseño y Manufactura de un aislante para un Rotating Disc Electrode*, por DELGADO-HERNANDEZ, Alberto, GONZALEZ-VIZCARRA, Benjamín, AVILA-PUC, Miguel Ángel y SIQUEIROS-HERNANDEZ, Miriam, con adscripción en la Universidad Autónoma de Baja California, como siguiente artículo presentamos, *Manufactura y pruebas de una celda de carga para un banco de pruebas de aspas de turbinas eólicas de baja capacidad*, por ROMERO-FRANCO, Martín, LÓPEZ-GARZA, Víctor, MARÍN-TÉLLEZ, Paulina y PÉREZ-JUÁREZ, Erik, con adscripción en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, como último artículo presentamos, *Enseñanza del diseño mecánico mediante un proyecto CAD documentado*, por ZAMARRIPA-MUÑOZ, Miguel Ángel & OJEDA-ESCOTO, Pedro Agustín, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Aguascalientes.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Controlador robusto para el seguimiento de trayectorias para un exoesqueleto de extremidades inferiores</b> BLANCO-ORTEGA, Andrés, PEREZ-VIGUERAS, Demetrio, ANTUNEZ-LEYVA, Edgar y COLIN-OCAMPO, Jorge	1-8
<b>Diseño y Manufactura de un aislante para un Rotating Disc Electrode</b> DELGADO-HERNANDEZ, Alberto, GONZALEZ-VIZCARRA, Benjamín, AVILA-PUC, Miguel Ángel y SIQUEIROS-HERNANDEZ, Miriam <i>Universidad Autónoma de Baja california</i>	9-13
<b>Manufactura y pruebas de una celda de carga para un banco de pruebas de aspas de turbinas eólicas de baja capacidad</b> ROMERO-FRANCO, Martín, LÓPEZ-GARZA, Víctor, MARÍN-TÉLLEZ, Paulina y PÉREZ-JUÁREZ, Erik <i>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo</i>	14-23
<b>Enseñanza del diseño mecánico mediante un proyecto CAD documentado</b> ZAMARRIPA-MUÑOZ, Miguel Ángel & OJEDA-ESCOTO, Pedro Agustín <i>Universidad Tecnológica de Aguascalientes</i>	24-32



## Controlador robusto para el seguimiento de trayectorias para un exoesqueleto de extremidades inferiores

### Robust trajectory tracking controller for lower extremity exoskeleton

BLANCO-ORTEGA, Andrés<sup>1†\*</sup>, PEREZ-VIGUERAS, Demetrio<sup>1</sup>, ANTUNEZ-LEYVA, Edgar<sup>2</sup> y COLIN-OCAMPO, Jorge<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

<sup>2</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

ID 1<sup>er</sup> Autor: Andrés, Blanco-Ortega / ORC ID: 0000-0002-0088-6863, CVU CONACYT ID: 123590

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Demetrio, Pérez-Vigueras / ORC ID: 0000-0002-7232-2039, CVU CONACYT ID: 599637

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Edgar, Antúnez-Leyva / ORC ID: 0000-0001-9630-1614

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Jorge, Colín Ocampo / ORC ID: 0000-0001-5579-0175, CVU CONACYT ID: 121050

DOI: 10.35429/JME.2019.11.3.1.8

Recibido 08 Junio, 2019; Aceptado 30 Septiembre, 2019

#### Resumen

Actualmente, la robótica ha demostrado que puede incrementar la eficiencia en la rehabilitación de los miembros del cuerpo humano, en este caso auxiliando a personas que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV), mediante el uso de dispositivos como los exoesqueletos, para proporcionar movimientos suaves y controlados. El accidente cerebrovascular es el resultado de una escasez de flujo sanguíneo al cerebro que conduce en apenas unos minutos a la muerte celular, ocasionando daños severos al cuerpo humano, inclusive puede causar la muerte del paciente. Personas que han sufrido un ACV presentan dificultades para levantarse de una silla. Un exoesqueleto es una estructura mecánica diseñada para ser usada sobre el cuerpo humano como una prenda de vestir, sirve de apoyo y es usado para asistir movimientos o acentuar la fuerza como apoyo en una persona. En este artículo se propone el uso de un controlador Proporcional Integral Generalizado (GPI) robusto para el seguimiento de trayectorias en un exoesqueleto de seis grados de libertad, para asistir a pacientes al levantarse y sentarse de una silla. Se presentan resultados obtenidos de simulaciones con el prototipo virtual del exoesqueleto, bajo el ambiente del software MSC Adams en co-simulación con Matlab

**Exoesqueleto de extremidades inferiores, Control Robusto, Control GPI**

#### Abstract

Currently, robotics has shown that it can increase the efficiency in the specific rehabilitation of some of the limbs of the human body, in this case assisting people who have suffered a stroke, by using devices such as exoskeletons, to provide continuous, smooth and controlled movements. Stroke is the result of a shortage of the brain that leads in just a few minutes to cell death, causing severe damage to the human body, even death of the patient. People who have suffered a stroke have difficulty rising from a chair. An exoskeleton is a mechanical structure designed to be used on the human body as a garment, it serves as a support and is used to assist movements or accentuate strength as a support in a person. Lower extremity exoskeleton can assist patients with hemiplegia to get up or sit on a chair, thus avoiding muscle atrophy and possible spasticity. This paper proposes the use of a robust Generalized Proportional Integral (GPI) controller for trajectory tracking for controlling a six degrees of freedom exoskeleton, to assist patients when getting up and sitting down from a chair. Simulation results obtained with the virtual prototype of the exoskeleton, under the environment of the MSC Adams software in co-simulation with Matlab are presented.

**Lower extremity exoskeleton, Robust Control, GPI Control**

**Citación:** BLANCO-ORTEGA, Andrés, PEREZ-VIGUERAS, Demetrio, ANTUNEZ-LEYVA, Edgar y COLIN-OCAMPO, Jorge. Controlador robusto para el seguimiento de trayectorias para un exoesqueleto de extremidades inferiores. Revista de Ingeniería Mecánica. 2019. 3-11: 1-8

\* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: andres.blanco@cenidet.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

El accidente cerebrovascular (ACV) es el resultado de una reducción de flujo sanguíneo al cerebro que conduce a la muerte celular, ocasionando daños severos al cuerpo humano, inclusive puede ocasionar hasta la muerte del paciente. Un ACV ocurre cuando un coágulo bloquea el flujo de sangre al cerebro o cuando se rompe un vaso sanguíneo en el cerebro. Las enfermedades cardiovasculares (ECV) y los ACV producen inmensos gastos económicos y de salud en todo el mundo. En 2016 el ACV fue la segunda causa de mortalidad en los Estados Unidos, y son una causa importante de discapacidad que reducen la movilidad en más de la mitad de los sobrevivientes de 65 años y mayores (Benjamin, 2019) (Rehmat, 2018) (Zhi, 2018).

Los sobrevivientes que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV) generalmente sufren de hemiplejía (parálisis de un lado del cuerpo) o pérdida total de movimiento, llegando a ser hasta un 80% de los sobrevivientes de un ACV (Ochoa, 2015). El ACV afecta en gran medida la capacidad del paciente para realizar trabajos y actividades de la vida cotidiana (Zhi, 2018). Las personas con debilidad en las extremidades inferiores tienen dificultades para moverse o realizar actividades de la vida diaria sin el apoyo de un asistente. Ayudar a estas personas a ponerse de pie, sentarse y caminar es una tarea ardua y pone al asistente bajo presión, lo que puede provocar caídas y causar lesiones tanto al paciente como al asistente.

El ACV y otras enfermedades y lesiones (bursitis, osteoporosis, traumatismos óseos y musculares, entre otras) que afectan las extremidades inferiores provoca que el paciente se someta a un proceso de rehabilitación para evitar la rigidez, espasticidad, disminución del tono muscular, pérdida de extensibilidad y, en caso contrario, recuperar el rango de movimiento.

Mantener en movimiento el cuerpo o realizar alguna práctica deportiva presenta varios beneficios, entre ellos: la oxigenación del organismo, liberar energía, mejorar la circulación sanguínea, prevenir la obesidad, disminuir la tensión arterial, preservar el tono muscular y ayuda a combatir la depresión, entre otros beneficios.

Por eso es importante que el paciente, mediante un proceso de rehabilitación, recupere sus funciones normales que tenía antes de haber sufrido la lesión. Los especialistas en fisioterapia realizan un esfuerzo grande en el proceso de rehabilitación, ya que tienen que cargar la extremidad del paciente para realizar los movimientos. La calidad de los movimientos va decayendo conforme se atienden los pacientes. Además, cada sesión de rehabilitación es de media a 1 h.

Atendiendo a esta problemática, se han propuesto diversos dispositivos mecatrónicos para ayudar al paciente a realizar los movimientos básicos y vitales: levantarse, sentarse y caminar. Estos dispositivos, conocidos como exoesqueletos, permiten a sus usuarios superar las dificultades asociadas con los movimientos. Para realizar dichas actividades de forma independiente, estos sistemas deben ser robots portátiles que brinden potencia, soporte y equilibrio debido a la limitación o falta de control sobre sus miembros inferiores.

Un exoesqueleto es una estructura mecánica diseñada para ser usada sobre el cuerpo humano como una prenda de vestir, sirve de apoyo y es usado para asistir movimientos o aumentar la fuerza en un ser humano (Lee, 2014) (Marcheschi, 2011).

Los exoesqueletos robóticos constituyen formas semi-naturales de ejercitar el cuerpo y las extremidades afectadas. Proporcionan a sus usuarios muchos beneficios sobre la terapia de rehabilitación tradicional. Como se mencionan a continuación (Ghaddar, 2019):

- Los exoesqueletos brindan una marcha segura en entornos del mundo real que producen beneficios para la salud.
- El ejercicio de las extremidades afectadas conserva la masa muscular.
- Restauración de las funciones sensoriales y musculares.
- Son dispositivos factibles para mejorar las habilidades de caminar y mantener el equilibrio.
- Las demandas cardiorrespiratorias y metabólicas al usar un exoesqueleto son equivalentes a las actividades realizadas a una intensidad moderada.
- Aceleran el período de rehabilitación del paciente para obtener control y equilibrio del cuerpo.

- El sentido de independencia, que eleva la calidad de vida del paciente.
- La reducción de las complicaciones secundarias de salud que pueden producirse si el paciente sufre de movilidad, como la obesidad, la atrofia muscular y la osteoporosis.

A continuación, se mencionan algunos exoesqueletos enfocados a la asistencia de la acción de sentarse-levantarse. En (Qureshi, 2018) presentan un exoesqueleto robótico de miembros inferiores que puede ayudar a las personas paralizadas. El exoesqueleto proporciona 3 gdl por extremidad, de los cuales dos articulaciones están activas y una pasiva. Los autores implementan un control de par calculado – PID para los movimientos de estar sentado para estar de pie y de pie para estar sentado.

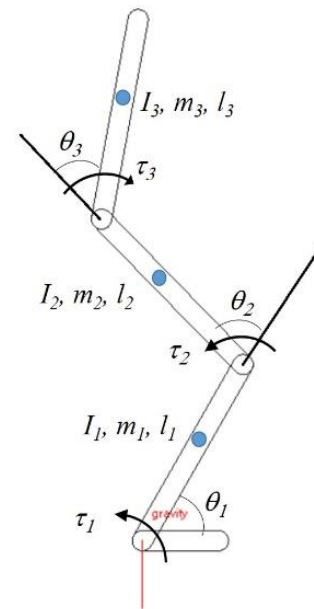
Las ganancias del controlador PID son diferentes en la acción de sentarse-pararse a la de pararse-sentarse. Aunque presentan un movimiento suave en el control del exoesqueleto, éste no está basado en la biomecánica del ser humano. No reportan el torque requerido. Otro exoesqueleto, para la transición de sentarse-levantarse, denominado H1 es presentado en (Rajasekaran, 2017). Los autores proponen un control basado en eventos (control acoplado de amortiguamiento-rigidez), con un perfil de velocidad trapezoidal para la transición. Reportan resultados de simulación sin considerar la biomecánica del ser humano en la transición de sentarse-levantarse, donde se requiere cerca de 40Nm en las uniones de la cadera y rodilla. También, reportan resultados del exoesqueleto con pacientes sanos, con un tiempo en la transición de 1 a 3s y torque máximo de 20Nm en la rodilla.

## Desarrollo

### Descripción del sistema

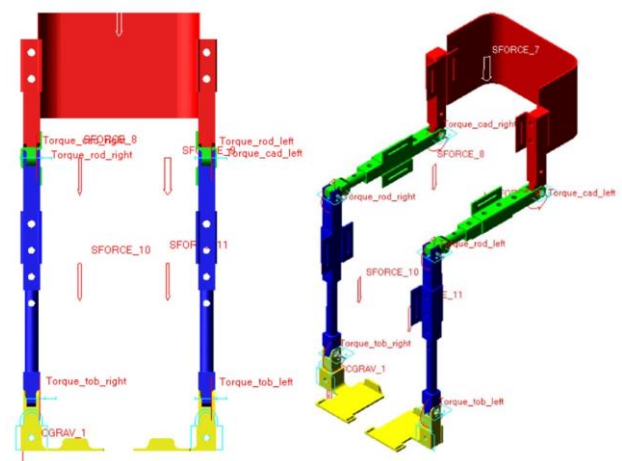
En la Fig. 1 se muestra el diagrama esquemático para representar la extremidad inferior mediante tres eslabones conectados en serie y un eslabón para representar el pie. Donde los ángulos para cada eslabón están denotados por  $\theta_1$  (pierna),  $\theta_2$  (muslo) y  $\theta_3$  (cadera). Las entradas de control están denotadas por  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  y  $\tau_3$ . Para cada segmento de la extremidad ( $i=1,2,3$ ) se considera su momento de inercia ( $I_i$ ), masa ( $m_i$ ) y longitud ( $l_i$ ).

El modelo dinámico fue reportado en (Pérez, 2018), así como un análisis de la biomecánica en la transición de sentarse-pararse.



**Figura 1** Diagrama esquemático del exoesqueleto  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

Para las simulaciones que se presentan en este artículo se considera el diseño de la estructura del exoesqueleto mostrado en la Fig. 2. Como se puede apreciar, se consideran las fuerzas que ejerce cada segmento de las extremidades inferiores del usuario, considerando el peso de un usuario de 80kg. El punto de aplicación de cada fuerza es considerando el centro de masa de cada segmento, y siempre actúa en la dirección vertical.

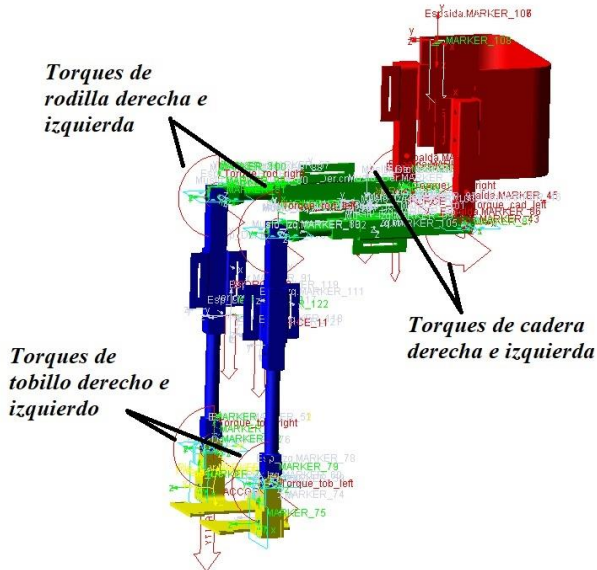


**Figura 2** Exoesqueleto con fuerzas denotando el peso de cada segmento de las extremidades del usuario  
Fuente: Elaboración Propia (2019)

Considerando la Fig. 1 y 2, los parámetros del exoesqueleto se muestran en la tabla 1. Donde  $l_{ig}$  ( $i=1,2,3$ ) es la longitud de la articulación  $i$  al centro de masa del eslabón  $i$ .

i	1	2	3
$I_i$ (kgm <sup>2</sup> )	$1.78 \times 10^{-2}$	$7.67 \times 10^{-3}$	$2.69 \times 10^{-2}$
$m_i$ (kg)	1.0	0.91	1.4
$l_i$ (m)	0.45	0.49	0.25
$l_{ig}$ (m)	0.25	0.32	0.15

**Tabla 1** Parámetros de simulación del prototipo virtual del exoesqueleto



**Figura 3** Entradas de control en cada eslabón del prototipo virtual

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Para las simulaciones con el prototipo virtual, se considera un paciente con peso promedio de 70kg. El peso de cada segmento se determinó con base en los porcentajes reportados por Dempster y Clauser (Diego-Mas, 2015).

Porcentajes de masa por segmento para un paciente de 70Kg		
Segmento	Masa (%)	Peso neto
Cabeza y cuello	6.94	4.858
Tronco	43.46	30.422
Brazo	2.71	1.897
Antebrazo	1.62	1.134
Mano	0.61	0.427
Muslo	14.17	7.0
Pantorrilla	4.33	3.26
Pie	1.37	0.959

**Tabla 2** Parámetros de simulación del prototipo virtual del exoesqueleto

### Diseño de controlador GPI robusto

Para el control del exoesqueleto, se implementa un control activo de uniones, debido a que diseñar una estrategia de control a partir del modelo matemático resulta complejo. Por lo que se controla de manera independiente cada segmento del exoesqueleto.

Para lograr el control y el seguimiento de una trayectoria suave se propone la implementación de un control robusto proporcional integral generalizado (GPI), de manera que compense las fuerzas acopladas de todo el sistema en la transición de sentarse-pararse. Para el diseño de la ley de control robusto PI generalizado, se plantea el modelo matemático (1) que representa un sistema de un grado de libertad (gdl). En este caso para el primer eslabón (pierna derecha o izquierda):

$$J_{e1}\ddot{\theta}_1 = \tau_1 + P_1(t) \quad (1)$$

Donde  $J_{e1}$  representa el momento de inercia que debe de mover el torque de control  $\tau_1$ ,  $P_1$  representa los términos acoplados y perturbaciones presentes en dicha articulación. La perturbación es desconocida pero acotada y en este caso se considera que puede ser aproximada mediante un polinomio de tercer grado, dado por:

$$P_1(t) = at^3 + bt^2 + ct + d \quad (2)$$

Se propone el siguiente controlador para el seguimiento de trayectorias y considerando la perturbación dependiente del tiempo tipo cúbica:

$$\tau_1 = \ddot{\theta}_{1d} - k_5(\hat{\theta}_1 - \theta_{1d}) - k_4(\theta - \theta_{1d}) - k_3 \int_0^t (\theta_1 - \theta_{1d}) d\sigma - k_2 \int_0^t \int_0^\sigma (\theta_1 - \theta_{1d}) d\lambda d\sigma - k_1 \int_0^t \int_0^\sigma \int_0^\lambda (\theta_1 - \theta_{1d}) d\xi d\lambda d\sigma - k_0 \int_0^t \int_0^\sigma \int_0^\lambda \int_0^\xi (\theta_1 - \theta_{1d}) d\eta d\xi d\lambda d\sigma \quad (3)$$

Donde (7) es el reconstructor integral de la velocidad del actuador.

$$\hat{\theta}_1 = \int_0^t \tau_1(\psi) d\psi \quad (4)$$

Sustituyendo (6) en (4), considerando el reconstructor integral y la perturbación tipo rampa, se tiene

$$J_{e1}\ddot{\theta}_1 = \ddot{\theta}_{1d} - k_5 \left( \int_0^t \tau_1(\psi) d\psi - \theta_{1d} \right) - k_4(\theta_1 - \theta_{1d}) - k_3 \int_0^t (\theta_1 - \theta_{1d}) d\sigma - k_2 \int_0^t \int_0^\sigma (\theta_1 - \theta_{1d}) d\lambda d\sigma - k_1 \int_0^t \int_0^\sigma \int_0^\lambda (\theta_1 - \theta_{1d}) d\xi d\lambda d\sigma - k_0 \int_0^t \int_0^\sigma \int_0^\lambda \int_0^\xi (\theta_1 - \theta_{1d}) d\eta d\xi d\lambda d\sigma + at^3 + bt^2 + ct + d \quad (5)$$

Definiendo el error como  $e = \theta_1 - \theta_{1d}$ , y derivando dos veces se obtiene la ecuación dinámica del error dada por:

$$e^{VI} + k_5 e^V + k_4 e^{IV} + k_3 \ddot{e} + k_2 \dot{e} + k_1 \dot{e} + k_0 e = 0 \quad (6)$$

Aplicando transformada de Laplace a (6), se obtiene la ecuación característica del sistema en lazo cerrado:

$$s^6 + k_5s^5 + k_4s^4 + k_3s^3 + k_2s^2 + k_1s + k_0 = 0 \quad (7)$$

Las ganancias del controlador ( $k_i$ ,  $i=0,1,\dots,5$ ) se determinan al igualar a un polinomio Hurwitz para que la dinámica del error sea asintóticamente estable, dado por:

$$(s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2)^3 = 0 \quad (8)$$

Para este caso se seleccionaron:

$$\zeta = 1.5 \text{ y } \omega = 8$$

### Trayectoria de referencia

Para evitar un movimiento brusco en las etapas de la transición sentado – levantarse, se utilizó un polinomio de Bézier, dado por (8). Para iniciar en un tiempo  $t_i$  desde un ángulo inicial  $\theta_i$ , para llevar el eslabón de manera suave a un valor final de  $\theta_f$  en un tiempo final  $t_f$ .

$$\theta_a(t) = \theta_i + (\theta_f - \theta_i)\sigma(t, t_i, t_f)\mu_p^5 \quad (8)$$

$$\sigma(t, t_i, t_f) = \gamma_0 - \gamma_1\mu_p + \gamma_2\mu_p^2 - \dots + \gamma_5\mu_p^5$$

$$\mu_p = \frac{t - t_i}{t_f - t_i}$$

Los parámetros del polinomio son  $\gamma_1=252$ ,  $\gamma_2=1050$ ,  $\gamma_3=1800$ ,  $\gamma_4=1575$ ,  $\gamma_5=700$  y  $\gamma_6=126$ .

Los tiempos y valores inicial y final para cada eslabón del exoesqueleto durante la transición de sentado-pararse, se muestran en la Tabla 3.

	$t_i$ (s)	$\theta_i$ (°)	$t_f$ (s)	$\theta_f$ (°)
Pierna	0	90	2	90
Muslo	0	90	0.3	85
	0.3	85	2	0
Cadera	0	90	0.4	107
	0.3	107	2	0

**Tabla 3** Parámetros de simulación del prototipo virtual del exoesqueleto

### Resultados

Los resultados que se presentan a continuación se realizaron en MSC Adams® en co-simulación con Matlab-simulink®. Como se mencionó anteriormente, se utilizará el polinomio de Bezier (ecuación (8)) para llevar el paciente-exoesqueleto desde una posición inicial de sentado a una final de parado.

Para las pruebas de validar el desempeño del controlador GPI robusto, en cada articulación del exoesqueleto, para realizar la transición de sentado-parado se considera siempre las fuerzas que ejerce el usuario en el exoesqueleto debido al peso de cada segmento, considerando los valores de masa indicados en la Tabla 2.

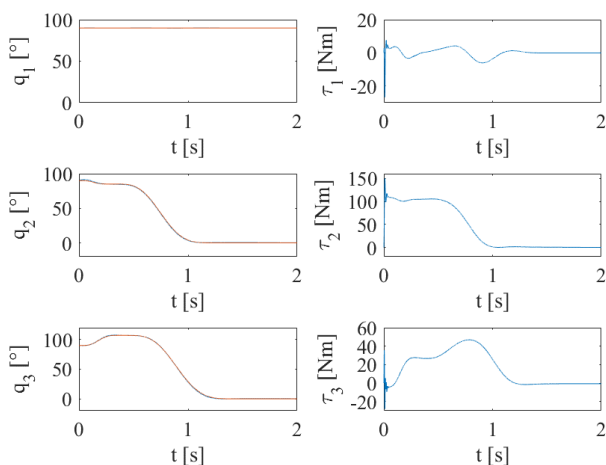
Se realiza una primera simulación (caso 1) en la que se considera una condición, donde el ángulo de la articulación de los tobillos ( $\theta_1$ ) siempre se mantiene en  $90^\circ$ . Además, se considera también que el peso de las manos, brazo, antebrazo, tronco, cabeza y cuello actúan en centro de masa del tronco.

En la segunda simulación (caso 2) se considera un movimiento natural del humano, es decir, se consideran los valores obtenidos del análisis biomecánico reportado en (Demetrio, 2018). En este caso, se puede observar que los centros de masa de los eslabones tratan de actuar directamente en el punto de apoyo para evitar momentos que requieran un mayor esfuerzo en las entradas de control (torques en articulaciones).

### Caso 1

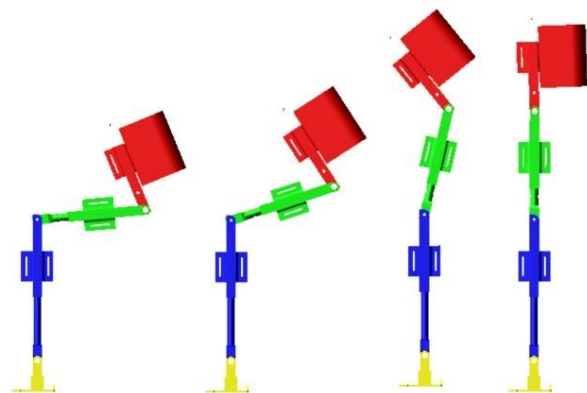
Para el primer caso, se muestra en la Figura 4 los ángulos de cada uno de los eslabones. Considerando que el movimiento es simétrico, se tiene la misma respuesta para ambas piernas (derecha e izquierda), por lo que solo se presenta la respuesta para cada ángulo de la pierna ( $q_1=\theta_1$ ), muslo ( $q_2=\theta_2$ ) y cadera ( $q_3=\theta_3$ ). En la respuesta de las posiciones angulares se presenta tanto la trayectoria deseada como la obtenida con el controlador GPI robusto, como se aprecia, se tiene un buen desempeño en el seguimiento de las trayectorias. El tiempo en que se realiza la transición de sentado-parado es de 2s, como se indica en la Tabla 3 y se muestra en la Figura 4.

Los tiempos reportados en la literatura (Mughal, 2010) para la transición de sentado-parado  $1.907 \pm 0.0507s$  y de 1.7 a 2.3s. Se puede observar que el control  $\tau_1$  mantiene el eslabón de la pierna en  $90^\circ$ . También, se puede apreciar que en el torque aplicado en la rodilla es el más grande, aproximadamente 150Nm, similar al reportado por (Mughal, 2010) de 180Nm. Es importante mencionar que el peso del paciente se considera como si no aportará fuerzas adicionales para ayudar en la transición de sentado-parado, es decir, como si se dejará caer para que el exoesqueleto lo levante de la silla hasta ponerlo de pie.



**Figura 4** Respuesta de las posiciones angulares y toques requeridos en cada uno de los eslabones del exoesqueleto  
 Fuente: *Elaboración Propia (2019)*

En la Fig. 5 se muestra la secuencia de la transición del exoesqueleto de sentado a parado. La secuencia de cada imagen es de 0.3s, aproximadamente. Se puede notar que el eslabón de la pierna se mantiene siempre a  $90^\circ$ , un caso inusual en el movimiento natural del humano, sin embargo, con el exoesqueleto es posible realizarlo; mostrando que bajo esta condición puede levantar al paciente con los torques resultantes mostrados en la Fig. 4.



**Figura 5** Secuencia de la posición angular en la transición de sentado-parado para posicionar verticalmente el exoesqueleto  
 Fuente: *Elaboración Propia (2019)*

## Caso 2

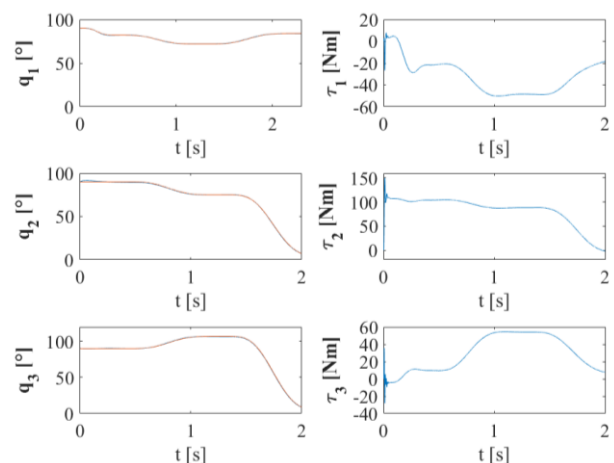
En la segunda simulación, se consideran los tiempos y posiciones angulares obtenidos del análisis biomecánico (Pérez, 2018), ver Tabla 3, considerando una posición inicial de sentado, posteriormente, pasar a una posición para iniciar el levantamiento hasta llegar a una posición de parado.

Para lograr este movimiento más natural, se propone utilizar 3 polinomios para la pierna, muslo y cadera, considerado los tiempos y ángulos indicados en la Tabla 3. Para esta transición se observa que se realizará en 2.3s.

	$t_i$ (s)	$\theta_i$ ( $^\circ$ )	$t_f$ (s)	$\theta_f$ ( $^\circ$ )
Pierna	0	90	0.4	82
	0.4	82	1.3	72
	1.3	72	2.3	84
Muslo	0	90	0.4	90
	0.4	90	1.3	75
	1.3	75	2.3	4
Cadera	0	90	0.4	107
	0.4	90	1.3	107
	1.3	107	2.3	4

**Tabla 3** Parámetros de simulación del prototipo virtual del exoesqueleto

En la Figura 6, se muestra la respuesta utilizando el controlador GPI robusto, se aprecia un buen desempeño en el seguimiento de las trayectorias deseadas. En este caso, se observa que se requiere un mayor par en el tobillo comparado al caso anterior, Figura 4.

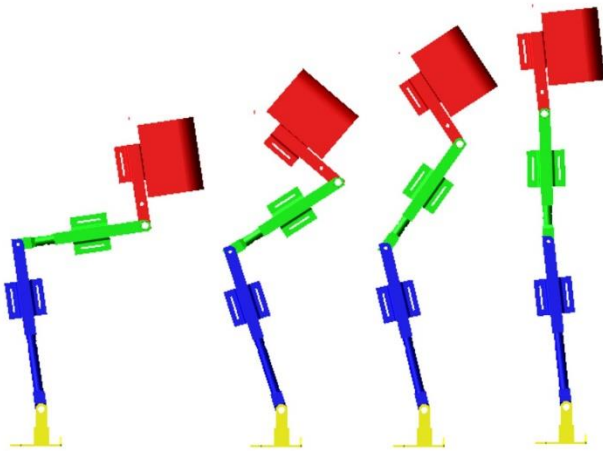


**Figura 6** Respuesta de las posiciones angulares y toques requeridos en cada uno de los eslabones del exoesqueleto basado en tiempos de un movimiento natural  
 Fuente: *Elaboración Propia (2019)*



En la Fig. 7 se muestra la secuencia de movimientos en la transición de sentado-parado. Se puede observar que en la primera etapa se pone en posición inicial ( $\theta_1=82^\circ$ ) para iniciar el levantamiento. En esta etapa la pierna no se encuentra a  $90^\circ$ . Se inclina la cadera-tronco y se inicia el movimiento en la articulación de las rodillas. Se observa en las siguientes etapas que, si se considera una resultante de todos los pesos, está actúa directamente en la dirección de la articulación de los tobillos, evitando así generar momentos que pudieran requerir una compensación.

La ventaja de este controlador GPI robusto (3) es que solo requiere de mediciones de la salida, es decir, solo mediciones del ángulo a controlar. Por lo que, para su implementación se requiere de 6 sensores de posición angular.



**Figura 7** Secuencia de la posición angular en la transición de sentado-parado siguiendo trayectorias naturales  
 Fuente: *Elaboración Propia (2019)*

Como se observa en la Figura 7, los eslabones no quedan totalmente verticales como se muestra en la Figura 5, esto es debido a la posición natural del humano. Esta secuencia se puede apreciar de manera similar a la reportada en (Rajasekaran, 2017), donde un usuario utiliza un exoesqueleto de extremidades inferiores. También, es importante mencionar que los valores obtenidos en estas simulaciones, son similares a los reportados por otros autores al analizar los torques en las articulaciones de una persona, cuando realiza la transición de sentado-parado, como se menciona en (Lara, 2015).

Se construyó el prototipo físico del exoesqueleto de extremidades inferiores, ver Figura 8, para validar los resultados obtenidos, faltando instrumentar para realizar las pruebas con el controlador GPI robusto.

### Agradecimiento

Este trabajo ha sido realizado al amparo del Programa de Maestría en Ciencias de Ingeniería Mecánica, del Tecnológico Nacional de México/ CENIDET.



**Figura 8** Prototipo físico de exoesqueleto de extremidades inferiores  
 Fuente: *Elaboración Propia (2019)*

### Conclusiones

En este artículo se propone un controlador GPI robusto para el control de un exoesqueleto de extremidades inferiores en la transición de sentado-parado. El controlador tiene como objetivo el seguimiento de trayectorias, las cuales están basados en el análisis biomecánico (ángulos y tiempos) de la transición de levantarse y sentarse del ser humano. Los resultados de simulación muestran un buen desempeño de este controlador considerando las fuerzas que puede generar un usuario dejando caer su peso en el exoesqueleto. Como trabajo futuro se contempla su validación experimental.

### Referencias

- Benjamin E. J. et al., (2019). Heart Disease and Stroke Statistics 2019 Update. A Report from the American Heart Association. *Circulation*;139: e56–e528.
- Diego-Mas, J. A. (2015). Análisis biomecánico estático coplanar. *Ergonautas*, Universidad Politécnica de Valencia. Disponible online: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>

- Ghaddar R. and Mohammad A.S. (2019). A Review of Lower Limb Exoskeleton Assistive Devices for Sit-To-Stand and Gait Motion. *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol.9, No.1.
- Lara-Barrios, C. M. Blanco-Ortega, A. Abúndez-Pliego, A. and Colín-Ocampo, J. (2015). Sit-to-Stand Simulation for Torque Estimation on Lower Limb Joints, 2015 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering ICMEAE 2015, Prague, 116-121.
- Lee H., Lee B., Kim W., Han J., Shin K., Han C. (2014). Human-robot cooperation control based on a dynamic model of an upper limb exoskeleton for human power amplification. *Mechatronics*, 24: 168-76.
- Mughal, A. M. and Iqbal, K. (2010). 3D bipedal model for biomechanical sit-to-stand movement with coupled torque optimization and experimental analysis, 2010 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Istanbul, 568-573.
- Ochoa Luna C, Habibur Rahman M, Saad M, Archambault P. S, & Bruce Ferrer S (2015). Admittance-based upper limb robotic active and active-assistive movements. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 12(9), 117.
- Rehmat, N., Zuo, J., Meng, W., Liu, Q., Xie, S.Q., Liang, H. (2018). Upper limb rehabilitation using robotic exoskeleton systems: a systematic review. *Int J Intell Robot Appl.* 2 (3), 283-295.
- Marcheschi, S., Salsedo, F., Fontana, M. and Bergamasco, M. (2011). Body Extender: Whole body exoskeleton for human power augmentation," 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Shanghai, 2011, 611-616.
- Pérez-Vigueras, D., Blanco-Ortega, A., Guzmán-Valdivia, C. H., Alcocer-Rosado, W. M. (2018). Análisis biomecánico de la acción sentarse-levantarse para el control de exoesqueletos. *Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología.* 2-4: 34-44.
- Qureshi, M. H. Masood, Z. Rehman, L. Owais, M. and Khan, M. U. (2018). Biomechanical Design and Control of Lower Limb Exoskeleton for Sit-to-Stand and Stand-to-Sit Movements, 14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), Oulu, 1-6.
- Rajasekaran, V., Vinagre, M. and Aranda, J. (2017). Event-based control for sit-to-stand transition using a wearable exoskeleton, 2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), London, 400-405.
- Zhi, Y. X., Lukasik, M., Li, E. Dolatabadi, M. H. Wang, R. H. and Taati, B. (2018). Automatic Detection of Compensation During Robotic Stroke Rehabilitation Therapy, in *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, vol. 6, 1-7.



**Diseño y Manufactura de un aislante para un Rotating Disc Electrode****Design and Manufacture of an insulation for a Rotating Disc Electrode**

DELGADO-HERNANDEZ, Alberto†\*, GONZALEZ-VIZCARRA, Benjamín, AVILA-PUC, Miguel Ángel y SIQUEIROS-HERNANDEZ, Miriam

*Universidad Autónoma de Baja California*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Alberto, Delgado-Hernandez* / ORC ID: 0000-0003-2132-9377, CVU CONACYT ID: 989649

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Benjamín, González-Vizcarra* / ORC ID: 0000-0003-2143-8725, CVU CONACYT ID: 101772

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Miguel Angel, Ávila-Puc* / ORC ID: 0000-0003-0324-7888, CVU CONACYT ID: 990219

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Miriam, Siqueiros-Hernandez* / ORC ID: 0000-0001-5694-8923, CVU CONACYT ID: 404951

DOI: 10.35429/JME.2019.11.3.9.13

Recibido 25 Abril, 2019; Aceptado 25 Junio, 2019

**Resumen**

El desarrollo de nuevos materiales es impulsado por la búsqueda de mejorar y hacer más práctica la vida del hombre. Uno de los métodos implementados es la técnica electroquímica, en la cual tener la capacidad de sellar herméticamente las herramientas de trabajo para la prueba de nuevos materiales es muy importante. Para evaluar la efectividad del sellado es necesario la realización de ensayos que evalúen el flujo electroquímico, que permitan relacionar el mismo con el comportamiento del material a analizar. El objetivo de este proyecto es diseñar y manufacturar un dispositivo aislante (acoplador o porta electrodos) de teflón, que pueda ser colocado en el eje de ensayo de la máquina Rotating Disc Electrode, Princeton Applied Research; de los planteamientos anteriores se deduce la necesidad de desarrollar un prototipo que ayude a evaluar el potencial eléctrico de un material, utilizando dicho equipo y que este asegure diversos aspectos como funcionalidad y facilidad de uso.

**Electroquímico, Aislante, Teflón**

**Abstract**

The development of new materials is driven by the search to improve and make more practical the life of man. One of the methods implemented is the electrochemical technique, in which having the ability to hermetically seal the working tools for testing new materials is very important. To evaluate the effectiveness of the seal it is necessary to carry out tests that evaluate the electrochemical flow, which allow to relate it to the behavior of the material to be analyzed. The objective of this project is to design and manufacture a Teflon insulating device (coupler or electrode holder), which can be placed on the test axis of the Rotating Disc Electrode machine, Princeton Applied Research; From the previous approaches, it is deduced the need to develop a prototype that helps to evaluate the electrical potential of the material in said equipment to be analyzed and that this assures various aspects such as functionality and ease of use.

**Electrochemical, Teflon, Insulator**

**Citación:** DELGADO-HERNANDEZ, Alberto, GONZALEZ-VIZCARRA, Benjamín, AVILA-PUC, Miguel Ángel y SIQUEIROS-HERNANDEZ, Miriam. Diseño y Manufactura de un aislante para un Rotating Disc Electrode. Revista de Ingeniería Mecánica. 2019. 3-11: 9-13

\* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: delgado.alberto@uabc.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

La manufactura es importante en lo tecnológico, económico e histórico. La tecnología se define como la aplicación de la ciencia para proporcionar a la sociedad y a sus miembros aquellos objetos que necesitan o desean. [1].

El proceso de rediseño o reingeniería es la reconfiguración detallada del proceso aplicado inicialmente, esto con la finalidad de lograr mejoras en el rendimiento cíclico, disminución de costos, incremento de calidad, etc. En el área de ingeniería se tienen 3 categorías básicas de materiales:

1. **Metales:** Los metales que se emplean en la manufactura, por lo general son aleaciones, que están compuestos de dos o más elementos, lo al menos uno en forma metálica. Los metales se dividen en dos grupos básicos: ferrosos (se basan en el hierro) y no ferrosos (incluyen los demás elementos metálicos y sus aleaciones)
2. **Cerámicos:** Estos se definen como un compuesto que contiene elementos metálicos (o semimetálicos) y no metálicos. Los cerámicos incluyen una variedad de materiales tradicionales y modernos. Algunos productos cerámicos tradicionales son la arcilla, sílice, alúmina y carburo de silicón. Los cerámicos modernos incluyen alúmina, cuyas propiedades se mejoran en varios modos a través de métodos modernos de procesamiento. Los más nuevos incluyen carburos y nitruros.
3. **Polímeros:** Un polímero es un compuesto formado por unidades estructurales repetidas denominadas meros, cuyos átomos comparten electrones que forman moléculas muy grandes. Por lo general los polímeros consisten en carbono más uno o más elementos tales como hidrogeno, nitrógeno, oxígeno y cloro. Los polímeros se dividen en tres categorías:
  - a. **Polímeros termoplásticos o termo-variables:** Los polímeros termoplásticos pueden sujetarse a ciclos múltiples de calentamiento y enfriamiento sin que se altere en forma sustancial la estructura molecular del polímero.

- b. **Polímeros termoestables o termófilos:** Los polímeros termoestables sufren una transformación química (curado) hacia una estructura rígida después de haberse enfriado a partir de una condición plástica calentada; de ahí el nombre de “termoestables”.
- c. **Elastómeros:** Los elastómeros son polímeros que muestran un comportamiento muy elástico; de ahí el nombre de elastómero. Incluyen caucho natural, neopreno, silicón y poliuretano. [1]

El torneado es un proceso de maquinado en el cual una herramienta de una sola punta remueve material de la superficie de una pieza de trabajo cilíndrica en rotación; la herramienta avanza linealmente y en una dirección paralela al eje de rotación, como se muestra en la Figura 1. El torneado se lleva a cabo normalmente en una máquina herramienta llamada torno, la cual suministra la potencia para tornear la pieza a una velocidad de rotación con avance de la herramienta y profundidad de corte especificados. [2]

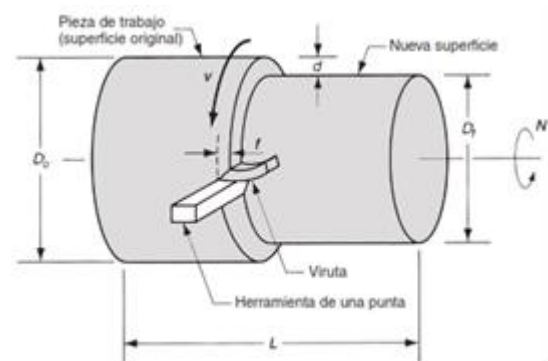


Figura 1 Operación de torneado

## Condiciones de corte en el torneado

La velocidad de rotación en el torneado se relaciona con la velocidad de corte requerida en la superficie cilíndrica de la pieza de trabajo por la ecuación:

$$N = v/\pi D_0 \quad (1)$$

Donde:

N= velocidad de rotación, rev/min;  
 v= velocidad de corte, m/min (ft/min); y  
 D<sub>0</sub>= diámetro original de la pieza, m(ft).

La operación de torneado reduce el diámetro del trabajo  $D_o$  al diámetro final  $D_f$ . El cambio de diámetro se determina por la profundidad de corte  $d$ :

$$D_f = D_o - 2d \quad (2)$$

El avance en el torneado se expresa generalmente en mm/rev (in/rev). Este avance se puede convertir a velocidad de avance lineal en mm/min (in/min) mediante la fórmula:

$$f_r = Nf \quad (3)$$

Donde:

$f_r$  = velocidad de avance, mm/min (in/min) y  
 $f$  = Avance, mm/rev (in/rev).

El tiempo para maquinar una pieza de trabajo cilíndrica de un extremo a otro está dado por:

$$T_m = L/f_r \quad (4)$$

Donde:

$T_m$  = tiempo de maquinado en min; y  
 $L$  = longitud de pieza cilíndrica en mm (in).

Un cálculo más directo del tiempo de maquinado lo proporciona la ecuación siguiente:

$$T_m = \frac{\pi D_o L}{f v} \quad (5)$$

Donde:

$D_o$  = diámetro del trabajo, mm (in);  
 $L$  = longitud de la pieza cilíndrica en mm(in);  
 $f$  = avance, mm/rev (in/rev); y  
 $v$  = velocidad de corte, mm/min (in/min).

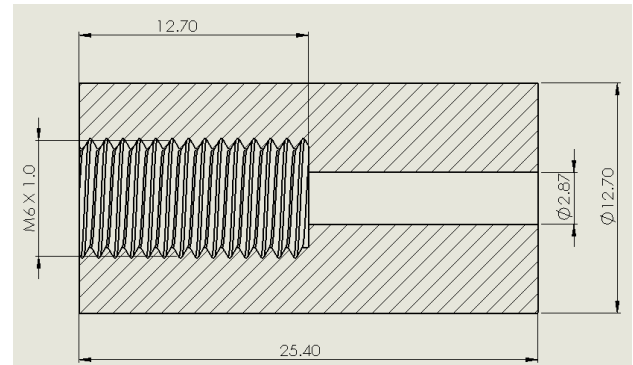
Como practica general, se añade una pequeña distancia a la longitud al principio y al final de la pieza de trabajo para dar margen a la aproximación y al sobre recorrido de la herramienta.

## Metodología.

### Diseño del aislante de Teflón.

El aislante de teflón fue diseñado como accesorio para la maquina Rotating Disc Electrode, de la marca Princeton Applied Research, cumpliendo con los requerimientos de la ASTM-G03; cuenta con una longitud de 25.40 mm, un diámetro de 12.70 mm y con una sección porta electrodo de un diámetro de 2.87 mm, con una profundidad de 12.70 mm.

Para ser colocado en la maquina tiene una rosca interna de 6 mm con una separación de hilos de 1.0. Tal y como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2** Diseño del aislante de teflón (diámetros, longitudes, profundidad y roscado)

### Fabricación del Aislante de Teflón

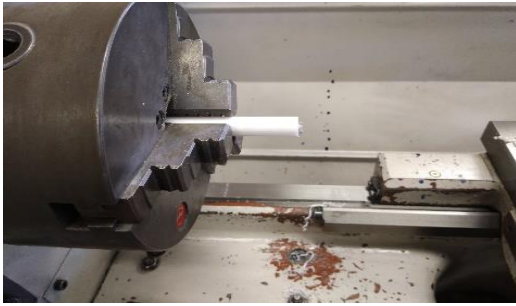
Para fabricar el prototipo aislante (acoplador) de teflón mostrado en la Figura 2, es necesario seguir las instrucciones establecidas en la hoja del proceso de manufactura, donde están establecidas las operaciones a realizar, herramientas, parámetros de corte, y material por mencionar solo algunos. Para que el Aislante de Teflón brinde un sello hermético adecuado se desarrollaron los siguientes pasos.

- Careado a la sección de transversal de la barra de teflón, esto para asegurar que la superficie sea completamente ortogonal a la longitud de la barra, mostrado en la Figura 3.



**Figura 3** Careado de sección transversal

- Cilindrado de barra de teflón a un diámetro de 12.70 mm y con una longitud de 25.40 mm (figura 4).



**Figura 4** Cilindrado de barra de teflón

- c. Se barreno con una broca de 2.87 mm. Para realizar la cuerda, se realizó un barrenó con una profundidad de 12.70 mm, con una broca de 5.1054 mm (figura 5).



**Figura 5** Barrenado de barra

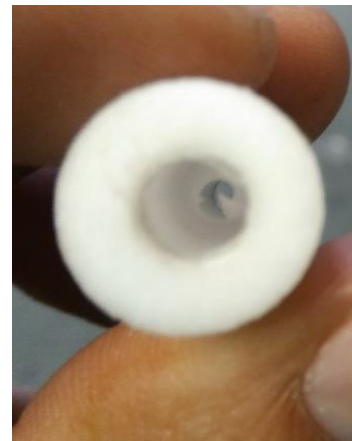
- d. Y se finalizó con un machuelo a 12.70 mm de profundidad (figura 2.5). Utilizando un machuelo M6x1.0, se realiza la rosca interna del prototipo (haciendo avances con pequeños retrocesos del maneral, con la finalidad de no sobrellenar la garganta de la barra de teflón), tal y como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6** Roscado en barra de teflón

## Resultados

En la figura 7 se aprecia el prototipo terminado cumpliendo con las dimensiones expresadas en el diseño. Finalmente, el aislante fue rectificado a las medidas correspondientes, en la Figura 8 se observa el prototipo del aislante de porta electrodo finalizado y en la Figura 9 se aprecia el montaje del prototipo en el eje de trabajo de la máquina Rotating Disc Electrode, de la marca Princeton Applied Research.



**Figura 7** Roscado en barra de teflón



**Figura 8** Prototipo Aislante de Teflón finalizado



**Figura 9** Prototipo Aislante de Teflón instalado en el eje de trabajo de la máquina

## Conclusión

El prototipo del aislante (acoplador) de teflón brinda un mayor tiempo de vida cíclica proporcionando un adecuado sellado hermético en cada una de las pruebas y en las repeticiones realizadas; esto brinda la posibilidad de realizar mayor número de ciclos con menor desgaste del aislante, siendo una considerable disminución en los costos para la realización de pruebas electroquímicas en el Rotating Disk Electrode, de la marca Princeton Applied Research.

Es importante destacar que los parámetros de maquinado deben seguir estrictamente ( $N=150$  rev/min,  $f_r = 0.381$  mm/rev). La zona más crítica de manufactura fue la del diámetro interno y roscado ya que estos son los responsables de garantizar el sello hermético entre el vástago y el electrodo de grafito debido a que las pruebas electroquímicas se realizan en un ambiente acuoso, por lo que la predicción dimensional es imprescindible en este tipo de accesorios.

Si bien es cierto que el diseño y manufactura del acoplador de electrodos no son muy complejos, el diámetro, la diversidad de materiales y el constante cambio de los electrodos utilizados en las pruebas con estos equipos, son determinantes si solo se cuenta un acoplador (portaelectrodos). Una falla frecuente, es el abocardado en la zona del “porta electrodos” ya que implica el cambio de los electrodos de mayor diámetro o comprar nuevos accesorios. Otro detalle de estos accesorios es la disponibilidad, ya que tardan hasta dos meses para la entrega de los remplazos. Con el diseño propuesto, se pueden manufacturar 3 acopladores por hora con el electrodo insertado pulido y listo, cuyos resultados fueron satisfactorios ya que presentaron hermeticidad en la interfase vástago – acoplador – electrodo de grafito, es decir no hubo fugas por lo que se obtuvieron lecturas correctas.

## Agradecimientos

Quiero agradecer al CA de "Optimización de sistemas Mecánicos" por haberme apoyado en el desarrollo de dicho artículo mediante el apoyo por medio del proyecto financiado de la 20a. Convocatoria Interna de apoyo a Proyectos de Investigación de la Universidad Autónoma de Baja California con clave 351/6/C/35/20.

## Referencias

- [1] W. D. Callister. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Barcelona España: Revert. (2007).
- [2] Kalpakjin, S y Schmid, R. Manufacturing Processes for Engineering Materials, 4a. ed., Prentice Hall/Pearson, Upper Saddle River, N.J. (2003).
- [2] D. R. Askeland. Ciencia de los materiales. Madrid España; Thompson. (1998).
- [3] Mikell P. Groover Fundamentos de manufactura moderna. México D. F. McGraw-Hill. (2007).
- [4] J. R. Zeleny Vázquez, C. González González. Metrología Dimensional. México D. F. McGraw Hill. (1999).
- [5] Budynas Jr, Richard G. Diseño en ingeniería mecánica, 9na edición, McGraw Hill, 2012, página 53.
- [6] Callister Jr, William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales 2, segundo volumen, Editorial Reverté, 2007, página 532
- [7] ASTM G03 Weathering and Durability, 2018
- [8] Steeds, W., A History of Machine Tools-1700-1910, Oxford University Press, Cambridge, Londres, 1969.

## Manufactura y pruebas de una celda de carga para un banco de pruebas de aspas de turbinas eólicas de baja capacidad

### Manufacturing and testing of a load cell for a bank of low capacity wind turbine test blocks

ROMERO-FRANCO, Martín†\*, LÓPEZ-GARZA, Víctor, MARÍN-TÉLLEZ, Paulina y PÉREZ-JUÁREZ, Erik

*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Martín, Romero-Franco* / ORC ID: 0000-0001-6494-9344, CVU CONACYT ID: 994229

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Víctor, López-Garza* / ORC ID: 0000-0001-9090-9119, Researcher ID Thomson: H-6969-2018, CVU CONACYT ID: 554311

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Paulina, Marín-Téllez* / ORC ID: 0000-0003-2966-3409, Researcher ID Thomson: G-2113-2019, CVU CONACYT ID: 730422

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Erik, Pérez-Juárez* / ORC ID: 0000-0003-3069-7198, Researcher ID Thomson: G-4108-2018, CVU CONACYT ID: 815741

DOI: 10.35429/JME.2019.11.3.14.23

Recibido 20 Abril, 2019; Aceptado 30 Junio, 2019

#### Resumen

En el presente trabajo, se muestra el diseño, manufactura y pruebas mecánicas de una celda de carga para aplicación en un banco de pruebas de aspas de turbinas eólicas de baja capacidad. El banco de pruebas, está diseñado para soportar cargas de hasta 3000 Nw y álabes de hasta 2.5 m de longitud. La metodología general de diseño de la celda consiste en, primero determinar las cargas de operación del banco, la selección del tipo de celda de carga, la manufactura de ésta, la selección de las galgas extensométricas para la medición, la colocación de las galgas extensométricas en la celda de carga y finalmente las pruebas mecánicas de la celda en el banco de pruebas. El material de la celda es aluminio 6061 y la configuración es tipo "S". Como conclusiones se menciona que técnicas de extensométrica permiten caracterizar la celda de carga mediante pruebas en laboratorio cumpliendo con las especificaciones deseadas con el diseño.

**Celda, Galga, Carga**

#### Abstract

In the present work, it is shown the design, manufacture and mechanical tests of a load cell for application in a turbine test bench of low capacity wind turbines are shown. The test bench is designed to withstand loads up to 3000 Nw and vanes up to 2.5 m in length. The general methodology of the cell design consists of, first, determining the operating loads of the bank, the selection of the type of load cell, the manufacture of this, the selection of the strain gauges for the measurement, the placement of the strain gauges in the load cell and finally the mechanical tests of the cell in the test bench. The material of the cell is aluminum 6061 and the configuration is type "S". As conclusions, it is mentioned that extensometric techniques allow to characterize the load cell by means of laboratory tests fulfilling the desired specifications with the design.

**Cell, Gauge, Load**

**Citación:** ROMERO-FRANCO, Martín, LÓPEZ-GARZA, Víctor, MARÍN-TÉLLEZ, Paulina y PÉREZ-JUÁREZ, Erik. Manufactura y pruebas de una celda de carga para un banco de pruebas de aspas de turbinas eólicas de baja capacidad. Revista de Ingeniería Mecánica. 2019. 3-11: 14-23

\* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: onizukadragon@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.



## Introducción

Mediante el uso de galgas extensiométricas se pretende manufacturar una celda de carga tipo "S" para usarse en un banco de pruebas para aspas de turbinas eólicas de baja capacidad.

Haciendo uso de consideraciones de diseño se optó por la celda de carga de carga tipo "S" ya que nos permite obtener mediciones tanto a tensión como a compresión, para la cual se seleccionó la aleación de aluminio 6061.

Antes de su construcción se realizó un modelo en 3D, luego utilizando un software de elemento finito para obtener los datos de deformación y de esa manera hacer una comparación con los datos obtenidos mediante la medición de las galgas extensiométricas.

## Objetivos

El objetivo principal es el diseño, simulación y manufactura de una celda de carga tipo "S" para poder medir fuerzas en aspas eólicas montadas en un banco de pruebas.

## Metodología

Para crear el modelo en 3D se hará uso del software SOLIDWORKS para su construcción, después para realizar la simulación se usará un software de elemento finito con el cual se obtendrán datos de deformación bajo diferentes cargas simuladas, de forma similar se realizará la manufactura de la celda de carga en aluminio 6061, posteriormente se le colocarán las galgas extensiométricas y conectará al equipo de medición P3, se le agregarán pesos, registrando los datos obtenidos.

## Contribución

Este proyecto contribuye al área de investigación científica ya que se tomaron en cuenta las especificaciones de diseño y el modelo de la celda de carga para su uso en un banco de pruebas para aspas de baja capacidad, lo que significa que es una celda de carga personalizada para un uso en específico, la cual se puede ir adaptando según sea conveniente.

## Consideraciones de Diseño

Para la creación del modelo en 3D, primero se tuvo que hacer una investigación acerca de la celda de carga tipo "S", para lo que nos basaremos en la hoja de especificaciones para celdas de carga tipo "S" *DFY-A/-ASS* publicado por la empresa *KOLI* y seleccionando las especificaciones correspondientes para pesos entre 2klb y 3klb.

En la Figura 1 se muestra el diagrama con las especificaciones para una celda de carga tipo "S".

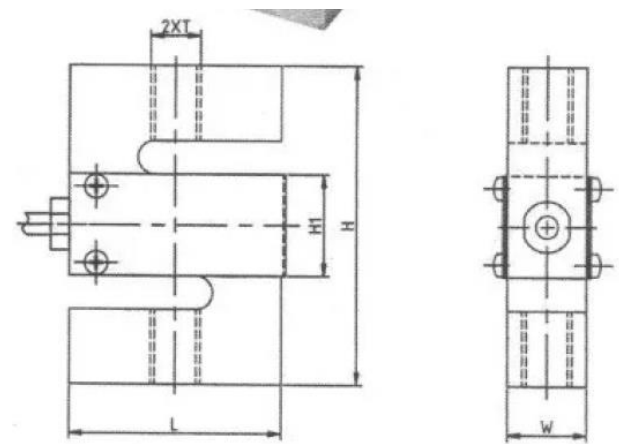


Figura 1 Dimensiones para una celda de carga tipo "S"

Siendo las dimensiones correspondientes:

L: 51mm

W: 19.1mm

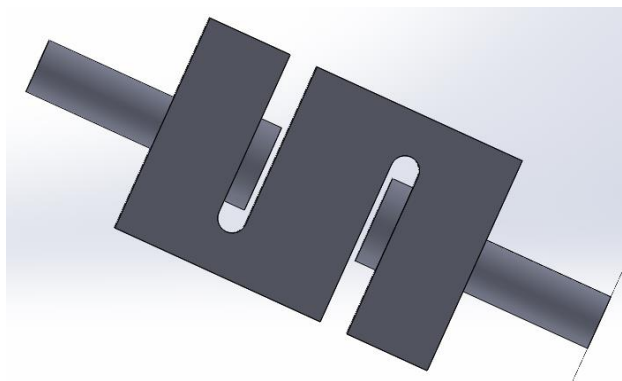
H: 76.2mm

H1: 24 mm

T: 1/2-24 UNF

## Construcción del Modelo Digital en 3D, Mediante el Uso de Software de Diseño SOLIDWORKS

Ya teniendo las dimensiones necesarias se prosiguió a realizar al modelo en 3D de la celda de carga tipo "S", para lo que utilizó el software de diseño SOLIDWORKS, en la Figura 2 se muestra el modelo en 3D de la celda de carga tipo "S" terminado.

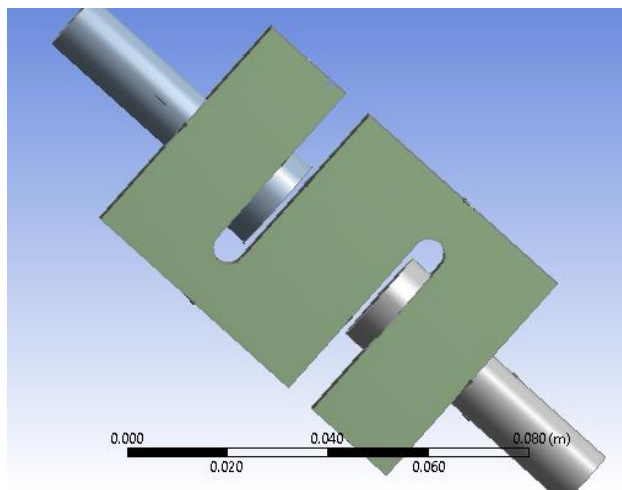


**Figura 2** Modelo en 3D de la celda de carga construido en solidworks

Se debe señalar que no es necesario hacer las roscas de los barrenos y los tornillos ya que solo interesa la deformación en la superficie de la celda de carga, por lo que se decidió colocar pernos con un tope para que sirvan como soportes.

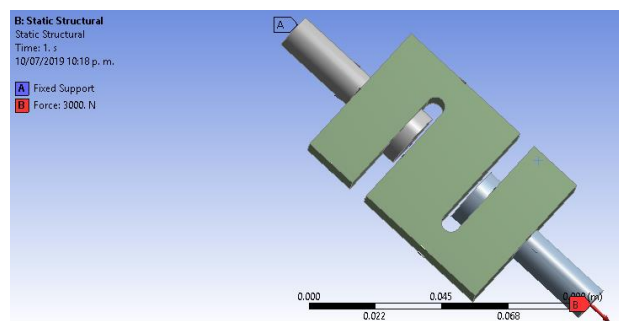
### Simulación en Software de Elemento Finito.

Para poder realizar la simulación con el software de elemento finito se debe de cargar el modelo en 3D hecho anteriormente, en la *Figura 3* se muestra el modelo 3D cargado en el software de elemento finito, así también se deben agregar los valores correspondientes para el material de aluminio 6061.



**Figura 3** Modelo 3D cargado en el software de elemento finito

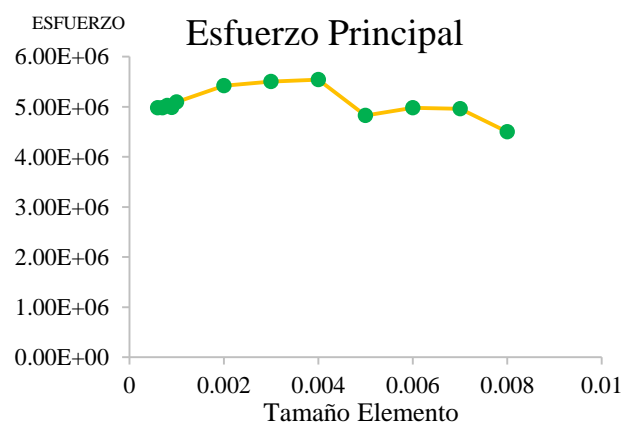
Una vez que el modelo 3D está cargado y los datos del material han sido ingresados, se pasa a colocar las restricciones y las cargas sobre el modelo sólido, esto se muestra en la *Figura 4*.



**Figura 4** Aplicación de soportes y cargas en el modelo 3D

En el perno superior se colocó un soporte axial para evitar el desplazamiento, mientras que en el perno inferior se aplicó una fuerza de 294 N.

Para el mallado del modelo 3D es necesario hacer un análisis de convergencia, este empezará en un tamaño de elemento de la malla de 0.008m y por limitaciones de la máquina con que se está trabajando el tamaño de elemento final fue de 0.0006m, en el gráfico 1 se muestran los datos obtenidos entre el tamaño de elemento y el esfuerzo principal.



**Gráfico 1** Gráfica correspondiente al tamaño de elemento vs esfuerzo principal

Con los datos de la convergencia se puede apreciar que ya no existe mucha diferencia entre los últimos valores, quedando la malla como se muestra en la *Figura 5*, *Figura 7* y *Figura 8*.

En la *Figura 5* se muestra la malla resultante sobre el modelo en 3D, mientras que en la *Figura 6* y *Figura 7* se muestran acercamientos a la malla.



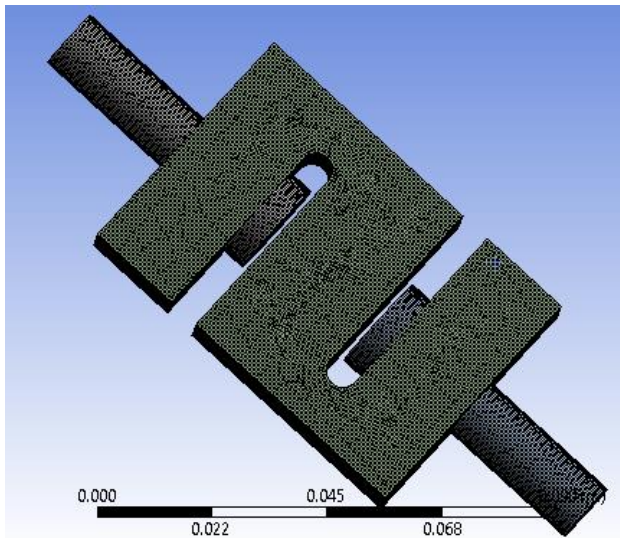


Figura 5 Modelo con la malla aplicada.

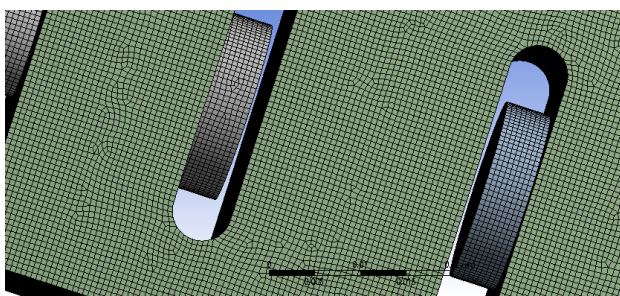


Figura 6 Acercamiento a la malla

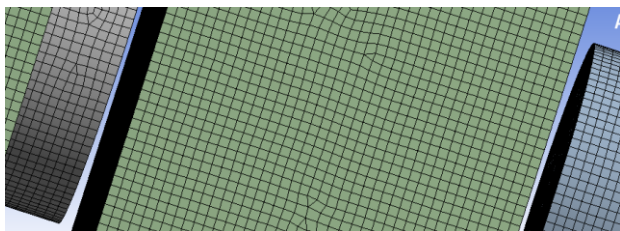


Figura 7 Acercamiento mayor a la malla

Los datos que se quieren obtener con la simulación son: la deformación total que se muestra en la *Figura 8*, deformación en el eje X mostrada en la *Figura 9*, deformación en el eje Y representada en la *Figura 10*, el esfuerzo equivalente de von-mises visto en la *Figura 11* y el esfuerzo principal observado en la *Figura 12*.

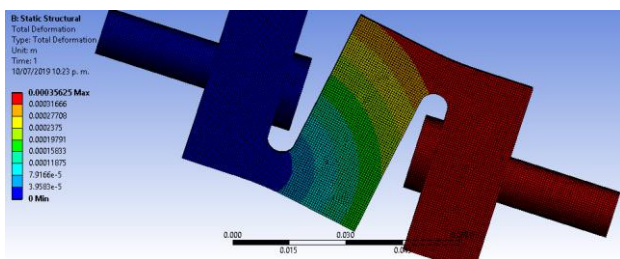


Figura 8 En esta imagen se aprecia la deformación total de la celda, siendo el valor mínimo de 0 m y máximo de 0.00035625 m

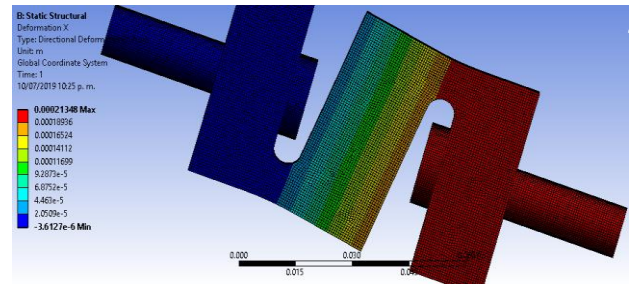


Figura 9 En esta imagen se aprecia la deformación en X de la celda, siendo el valor mínimo de  $-3.6127 \times 10^{-6}$  m y máximo de 0.00021348 m.

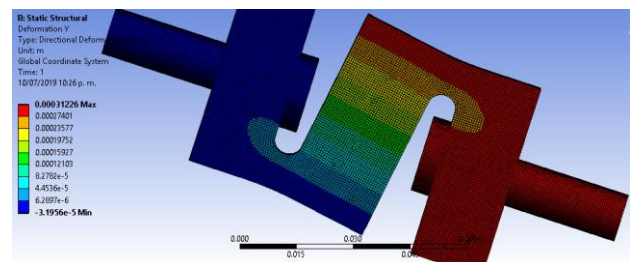


Figura 10 En esta imagen se aprecia la deformación en Y de la celda, siendo el valor mínimo de  $-3.1956 \times 10^{-5}$  m y máximo de 0.00031226 m.

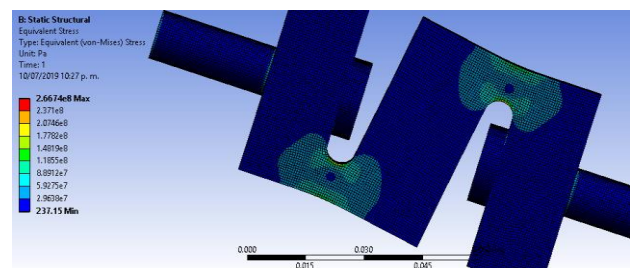


Figura 11 En esta imagen se aprecia el esfuerzo equivalente de Von-Mises en la celda, siendo el valor mínimo de 237.15 pa y máximo de  $2.6674 \times 10^8$  pa.

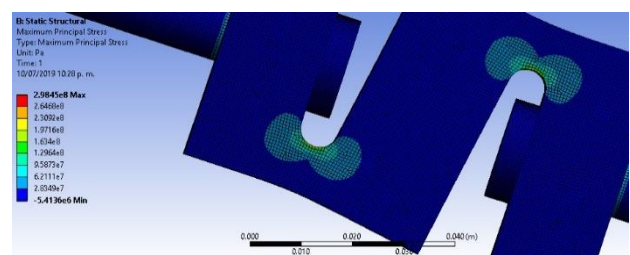
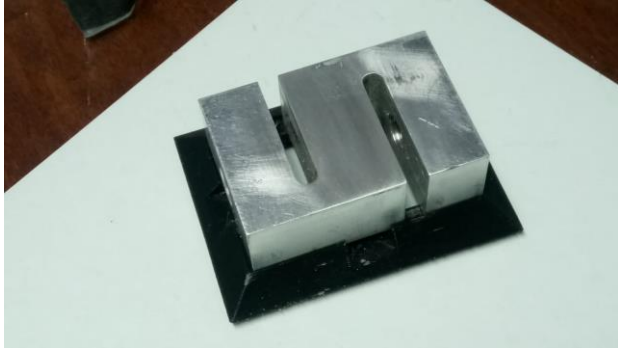


Figura 12 En esta imagen se aprecia el esfuerzo principal en la celda, siendo el valor mínimo de  $-5.4136 \times 10^6$  pa y máximo de  $2.9845 \times 10^8$  pa.

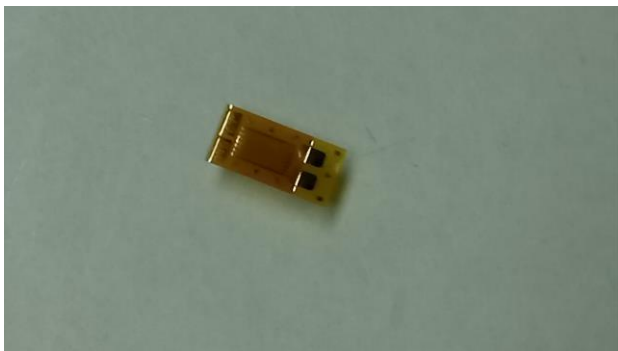
### Modelo Físico

Ya teniendo el modelo en 3D con los resultados pertinentes, ahora es necesario comparar los resultados obtenidos contra un modelo físico. Para esto se tuvo que manufacturar el perfil de una celda de carga tipo “S” con las especificaciones antes mencionadas.

Como se muestra en la Figura 13, para posteriormente hacer uso de galgas extensiométricas, vista en la Figura 14, que se colocaran en su superficie como en la Figura 15 y Figura 16, posteriormente se le agregaran cargas obteniendo y recolectando las mediciones necesarias.



**Figura 13** Celda de carga manufacturada.



**Figura 14** Galga extensiométrica modelo EA-06-120LZ-120/E.

A continuación, se lista el material necesario para la colocación de las galgas extensiométricas:

- Papel de lija de grano 320.
- Desengrasante en spray.
- Gasas sin esterilizar.
- Cotonetes.
- Líquido para condicionar superficies.
- Líquido para neutralizar superficies.
- Cinta para instalar galga.
- Cinta para proteger galga.
- Pinzas antiestáticas.
- Centro de soldadura.
- Soldadura.
- Cable conductor de tres hilos.
- Regla con escuadra.
- Lápiz 4 - H.
- Adhesivo con catalizador.
- Líquido solvente.
- Líquido de recubrimiento.

Para la colocación de las galgas extensiométricas se seguirán los siguientes pasos:

### Preparación de la superficie

Primero se trabajará sobre una superficie de vidrio, la cual se le verterá un poco del líquido neutralizante y se seca con una gasa limpia (las gasas solo se usarán una vez y se desecharan). Después se utilizará el desengrasante sobre la superficie de la zona de la celda de carga donde se colocará la galga y limpiará con una gasa limpia.

Ahora se lijará la superficie de la celda de carga utilizando la lija de grano 320 y el líquido acondicionador como lubricante, limpiando al final con una gasa limpia.

Lo siguiente es trazar una línea guía usando el lápiz 4-H guiándose con la regla, posteriormente limpiar la línea trazada con un cotonete empapado con el líquido acondicionador y secar con una gasa limpia. Para iniciar se limpiará la superficie con el líquido neutralizador y un cotonete para después secar con una gasa limpia.

### Colocación de la galga extensiométrica

Limpiar nuevamente la superficie de trabajo con líquido neutralizante y secar con una gasa limpia, usando esa misma gasa para limpiar las pinzas antiestáticas.

Con cuidado y usando las pinzas antiestáticas se retira el folder plástico donde se encuentra la galga extensiométrica en el empaque, luego se saca del folder plástico con mucho cuidado y se coloca en la superficie del vidrio previamente neutralizada con las terminales viendo hacia arriba.

Con ayuda de la cinta para instalar la galga está se recogerá del vidrio y transportará a la superficie de la celda de carga, donde se colocará guiándose por la marca hecha previamente con el lápiz 4-H.

Haciendo un dobladillo la cinta, se dará media vuelta a la galga extensiométrica, quedando las terminales viendo hacia abajo, se le aplicará una ligera capa de catalizador a la superficie expuesta de la galga y se dejará pasar un minuto.



Después del minuto se colocará una gota de pegamento en el área donde quedará la galga y se deshará el dobladillo a la cinta para volver a posicionar la galga, con ayuda de una gasa limpia se dará una pasada de abajo hacia arriba de la cinta para eliminar posibles burbujas de aire.

Inmediatamente se debe colocar el pulgar sobre la galga y esperar un minuto, para poder retirar el pulgar, se deberá girar mientras se levanta y esperar dos minutos.

Después de los dos minutos se podrá retirar la cinta de la galga extensiométrica.

### **Soldado de cables a la galga extensiométrica.**

Primero se cortará un tramo de cable de tres hilos de aproximadamente 40cm de largo.

Luego se deben pelar los extremos del cable aproximadamente a 3cm de la punta, en un extremo se separarán los hilos negro, blanco y rojo, en el otro extremo se juntarán los hilos negro y blanco, el rojo permanecerá solo, ya separados se deben torcer los cables.

Ya separados y torcidos los hilos del cable, se les aplicará soldadura, esto se logra pasando los cables por la punta del cautín del centro de soldadura y agregando soldadura como se vaya necesitando.

Lo siguiente es colocar soldadura en las terminales de la galga extensiométrica, para esto se coloca un poco de soldadura en la punta del cautín, se presiona contra la terminal de la galga agregando un poco más soldadura, se debe de tener cuidado de no crear un puente entre las terminales.

El extremo del cable donde se juntaron los hilos negro y blanco, es el que se soldará a la galga extensiométrica, para esto se presentará el extremo del cable a las terminales de la galga, luego se abrirá o cerrará la separación del extremo del cable de ser necesario.

Se cortarán las puntas del extremo del cable casi al raz.

Se tomará un pedazo de cinta para proteger la galga; y se pegará en el extremo del cable, dejando suficiente espacio antes de la punta a soldar.

Tomado el cable por la cinta, se acomodará de tal forma que el extremo del cable a soldar quedé haciendo contacto con las terminales de la galga.

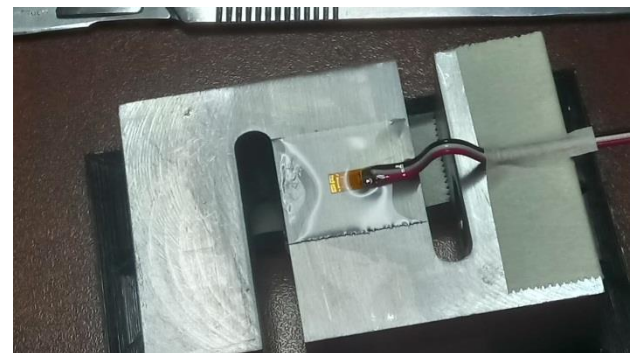
Ya colocado se pasa a soldar presionando el cautín contra el cable y el terminal agregando soldadura, repetir lo mismo con el otro terminal.

Lo siguiente es limpiar la galga y retirar la cinta utilizando solo la brocha del líquido solvente.

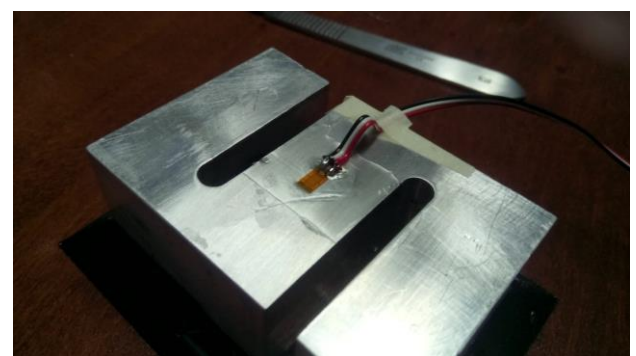
Ahora con cuidado se hará un arco al cable y colocará cinta después del arco, esto es para evitar el daño de la galga por algún tirón del cable.

Para terminar, se aplicará líquido de recubrimiento a la galga extensiométrica y en la superficie alrededor de esta, cuando se seque se generará una capa que protegerá la galga.

A continuación, en la *Figura 15* y *Figura 16* se muestra la posición de como quedaron colocadas las galgas extensiométricas para medir deformación en el eje X y el eje Y.



**Figura 15** Galga posicionada para obtener lecturas en el eje X



**Figura 16** Galga posicionada para obtener lecturas en el eje Y

### Conexión con el equipo de medición P3

En la Figura 17, Figura 18 y Figura 19 se muestra el equipo de medición P3, el cual se conectará a las galgas extensiométricas para obtener los datos de la deformación.



Figura 17 Equipo de medición P3 cerrado

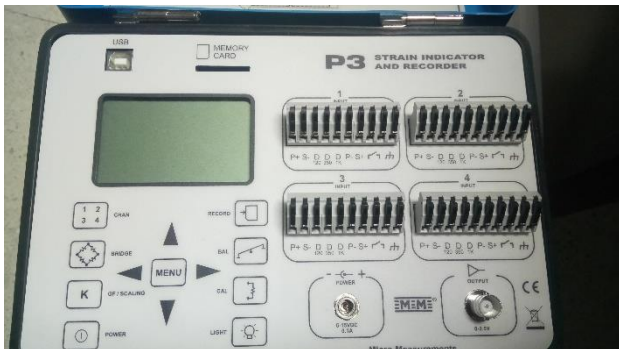


Figura 18 Tablero de control del equipo de medición P3

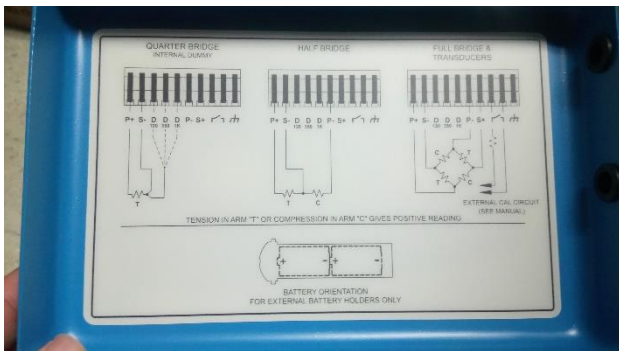


Figura 19 Diagrama de puente de Wheatstone impreso al reverso de la tapa del equipo de medición P3

Antes de hacer las conexiones se debe tener en cuenta que el puente de Wheatstone se compone de cuatro resistencias, como se usarán dos resistencias (galgas) una para medir la deformación en el eje X y otra para la deformación en el eje Y, se programará el equipo de medición para medio puente.

Se usarán las entradas 1 y 2 del equipo de medición P3 para conectar las galgas extensiométricas, la entrada 1 para medir el eje X y la entrada 2 para el eje Y.

El orden de los cables será rojo, negro y blanco ordenados de izquierda a derecha para conectarlos en ese mismo orden de las entradas del equipo de medición P3 desde el extremo izquierdo, las conexiones del equipo P3 se muestran en la Figura 20.

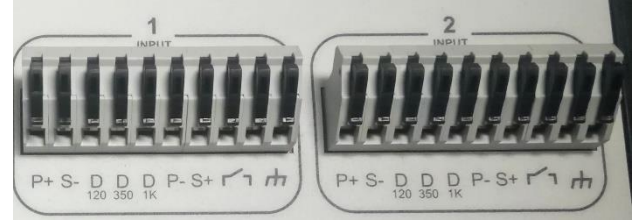


Figura 20 Conexiones de las entradas 1 y 2 del equipo de medición P3

Ya habiendo conectado las galgas al equipo de medición P3, se oprimirá el botón de “POWER” para encender el equipo.

Después se oprimirá el botón de “CHAN” y se revisa que los canales 1 y 2 estén activados y los canales 3 y 4 estén desactivados, si no es así corregir los canales correspondientes.

Para empezar a obtener datos se oprimirá el botón “BAL” balanceando así las galgas extensiométricas dejándolas con valor de 0.

Se agrega el peso correspondiente, se espera a obtener la medición y se registra.

Se debe de repetir la operación “BAL” para realizar cada medición.

Las mediciones se llevaron a cabo en un taller de maquinado, esto por el espacio y el material que se puede usar como peso que se encuentra en dicho taller. En la Figura 21 se puede ver el equipo de medición P3 conectado a las galgas mientras se realiza la medición,



Figura 21 Equipo de medición P3 conectado a las galgas extensiométricas



En la Figura 22 se aprecia el arreglo final de la celda de carga con todos los pesos finales sumando 30kg en total.



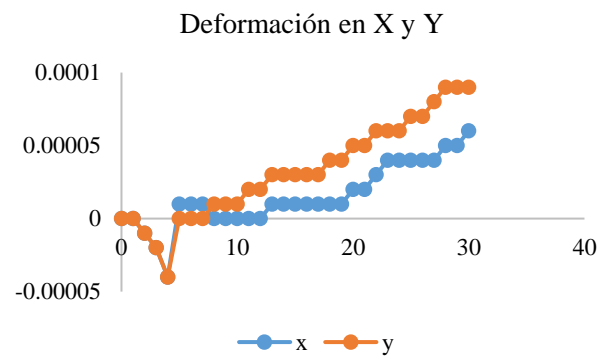
**Figura 22** Arreglo de pesos añadido a la celda de carga para realizar la medición

A continuación, se muestra la *tabla 1*, la cual contiene los datos obtenidos en relación de peso–deformación de las pruebas que se realizarán utilizando la celda de carga.

Dichos datos están representados gráficamente en la *gráfica 2*, donde se puede apreciar la tendencia de la deformación respecto con el aumento del peso sobre la celda de carga.

Peso Kg	Deformacion X	Deformacion Y
0	-0.00000	-0.00000
1	-0.00000	-0.00000
2	-0.00001	-0.00001
3	-0.00002	-0.00002
4	-0.00004	-0.00004
5	+0.00001	+0.00000
6	+0.00001	+0.00000
7	+0.00001	+0.00000
8	+0.00000	+0.00001
9	+0.00000	+0.00001
10	+0.00000	+0.00001
11	+0.00000	+0.00002
12	+0.00000	+0.00002
13	+0.00001	+0.00003
14	+0.00001	+0.00003
15	+0.00001	+0.00003
16	+0.00001	+0.00003
17	+0.00001	+0.00003
18	+0.00001	+0.00004
19	+0.00001	+0.00004
20	+0.00002	+0.00005
21	+0.00002	+0.00005
22	+0.00003	+0.00006
23	+0.00004	+0.00006
24	+0.00004	+0.00006
25	+0.00004	+0.00007
26	+0.00004	+0.00007
27	+0.00004	+0.00008
28	+0.00005	+0.00009
29	+0.00005	+0.00009
30	+0.00006	+0.00009

**Tabla 1** Datos obtenidos por la medición en la celda de carga



**Gráfica 2** Tendencia de la deformación en el eje X y Y.

**Resultados**

Ya teniendo los valores tanto de la simulación del modelo matemático, así como las mediciones obtenidas del modelo físico, ahora es posible la comparación entre ambos.

Para realizar esta comparación solo se tomarán en cuenta los valores finales, los cuales son:

Modelo	Def. X	Def. Y
Matemáti-Co	0.00021348	0.00031226
Físico	0.00006	0.00009
Diferencia	0.00015348	0.00022226

**Tabla 2** Valores finales de la simulación y medición de la celda de carga

## Conclusiones

Con los datos obtenidos de la simulación y las mediciones tomadas mediante el equipo de medición P3 y las galgas extensiométricas colocadas en una celda de carga de aluminio 6061, se puede observar que existe una diferencia notable en los resultados ya que la simulación del modelo 3D muestra una mayor deformación que el modelo físico, también se debe mencionar que en el modelo físico en las primeras mediciones se registraron valores negativos de deformación, es hasta después de los 5kg que las mediciones se desplazan en sentido positivo, pero pasa de -0.00004 a +0.00000, lo cual puede indicar que se debe a una contracción del material por temperatura, alguna contaminación en la superficie de la galga extensiométrica o que no este bien pegada la galga.

## Agradecimientos

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Facultad de Ingeniería Mecánica.

Taller de maquinado y mantenimiento industrial SILVER.

## Referencias

[20] Monje, C. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa, guía didáctica, Neiva, Colombia: Universidad Surcolombiana.

AMDEE (Asociación Mexicana de Energía Eólica) (2018), "El viento en números", <https://www.amdee.org/el-viento-en-numeros>, 20 de febrero del 2019.

Anup KC, Jonathan Whale y Tania Urmee (2019). Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review,131, 268-283.

Clemence Rubiella, Cyrus A. Hessabi y Arash SoleimanFallah (2018). State of the art in fatigue modelling of composite wind turbine blades. Elsevier,117, 230-245.

D.J. Willis, C. Niezrecki, D. Kuchma, E. Hines y S.R. Arwade (2018). Wind energy research: State-of-the-art and future research directions. Elsevier,125, 133-154.

David Wood, Small Wind turbines, Analysis, Design, and Application. Springer-Verlag London Limited 2011.

Erich Hau, Fundamentals, Technologies, Application, Economics, Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

Erick Pérez Juárez (2019). Construcción de una máquina de ensayo a fatiga para álabes de aerogeneradores de baja capacidad (tesis de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Erick Yuvaniel Gómez Urieta (2012). Diseño y manufactura del Hub y álabes de una turbina de viento (tesis de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

Ferrero, José María. Guijarro, E. Instrumentación Electrónica. Sensores. España, servicio de publicaciones UPV, 1994.

Germanischer Lloyd, Hamburg, Germany: "the new guideline for the certification of wind turbines", Edition 2010.

H. J. Sutherland, On The Fatigue Analysis of Wind Turbines. United States, 1999.

Hak GuLee y JungwanLee (2018). Measurement theory of test bending moments for resonance-type fatigue testing of a full-scale wind turbine blade. Elsevier,200, 306-312.

Hong-Kwan Kim, Jang-Ho Lee, Se-Myong Jang y Ki-Weon Kang (2013). Structural Analysis and Testing of 1.5kW Class Wind Turbine Blade. Journal of Fluid Machinery,13, 37-44.

IEC 61400-2 "Wind Turbines - Part2: Design requirements of small wind turbines", Edition 2015.

IRENA (2017), REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

J.H. Wu y F.M. Lai (2014) Fatigue Life Analysis of Small Composite Sandwich Wind Turbine Blades, 14, 2014-2020.

Jean-Daniel Pitteloud and Stefan Gsänger. World Wind Energy Association. (2017). Small Wind World Report small wind reportw. WWEA, Bonn, Germany.

L.Menegozzo, A. Dal Monte, E. Benini y A. Benato (2018) Fatigue Small wind turbines: A numerical study for aerodynamic performance assessment under gust conditions, 121, 123-132. Leyva Huitrón, R. (2019). Investigación de materiales para celdas solares sensibilizadas por colorante.

Mejía López, J. A., Ruiz Guzmán O. A., Gaviria Ocampo, I. N., & Ruiz Guzmán, C. P. (2019). Aplicación de metodología “DESING THINKING” en el desarrollo de cortadora automática CNC para MIPYMES de confección. *Revista UIS Ingenierías*, 18(3), 157-168.

Phellan, S., & Kevin, W. (2019). Ingeniería inversa y diseño de la automatización de un dosificador de polvos, utilizando celda de carga a través de microcontrolador atmega para la empresa Jacs.

Quintero Marín, M. (2019). Análisis pesadoras dinámicas.

REN21, 2018, Renewables 2018 Global Status Report, (Paris: REN21 Secretariat) ISBN 978-3-9818911-3-3.

Rosel-Solís, M. J., Molina-Salazar, J., Dávalos-Ramírez, J. O., Pimentel-Mendoza, A. B., & Vega, Y. (2019). Análisis de características de materiales compuestos construidos sobre núcleos de ABS preparados por fabricación aditiva. *DYNA-Ingeniería e Industria*, 94(3).

Sina Yasin Erturk (2014). Tower design load verification of 3.5 kW wind turbine (tesis de maestría). University of Wyoming.

Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Boss Anyi (2001). Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons, Ltd.

Yuan-KangWua, Huei-JengLinb y Jhih-HaoLinb (2019). Certification and testing technology for small vertical axis wind turbine in Taiwan. Elsevier,31, 34-42.

Z. Pan and J. Wu, A Novel Multi-Point Excitation Fatigue Testing Method for Wind Turbine Rotor Blades, vol. 10. 2017.

## Enseñanza del diseño mecánico mediante un proyecto CAD documentado

### Mechanical design teaching through documented CAD project

ZAMARRIPA-MUÑOZ, Miguel Ángel†\* & OJEDA-ESCOTO, Pedro Agustín

*Universidad Tecnológica de Aguascalientes*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Miguel Ángel, Zamarripa-Muñoz* / ORC ID: 0000-0002-4589-1455, CVU CONACYT ID: 647582

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Pedro Agustín, Ojeda-Escoto* / ORC ID: 0000-0001-7282-4672, CVU CONACYT ID: 50027

DOI: 10.35429/JME.2019.11.3.24.32

Recibido 28 Junio, 2019; Aceptado 30 Septiembre, 2019

#### Resumen

En el desarrollo de un proyecto del área metal-mecánica existen dos vertientes de conocimientos, los teóricos, que se imparten de acuerdo a un plan de estudios en las universidades y por otro lado los prácticos, que normalmente se adquieren en el campo laboral. Para los ingenieros recién egresados, esto significa una desventaja al momento de competir por un puesto. Buscando lograr mejores resultados en el desempeño de los alumnos desde un plano real de diseño, se definió una estrategia para poder potenciar el aprendizaje de ambos conocimientos aplicándolos a un proyecto desarrollado de manera didáctica, cubriendo así temas que normalmente en un programa de estudios no se ven y generando toda la información necesaria para el diseño y fabricación del proyecto. En este artículo se reporta, como caso de estudio, el diseño de una grúa telescópica que integra las etapas desde la ingeniería conceptual hasta la ingeniería de detalle analizando toda la información que se genera entre éstas. Finalmente, se presentan los resultados preliminares de la información desarrollada para las diferentes etapas del proyecto ayudando así a los estudiantes en el proceso de toma de decisiones y organización de la información al desarrollar un proyecto de principio a fin.

**Conocimientos teóricos, Conocimientos prácticos, proyecto**

#### Abstract

In mechanical project development, there are two kind of knowledge, theoretical, taught according on syllabus at universities, and in the other hand, practical, usually learned in the working environment. For graduated recently engineers, it means a disadvantage once they are trying to get a job. Seeking to achieve better results on student performance from a real design plane, learning strategy is presented to enhance both knowledges applying them to an educational project completed, learning topics that normally is not covered on syllabus and generating all information required about design and manufacturing project. This paper shows a case of study about a telescopic crane design, analyzing all information generated from conceptual to detail engineering. Finally, preliminary results about all information generated through the different project stages is presented, helping in this way the decision-making process of the students and the information management when developing project from the beginning to the end.

**Theoretical knowledge, Practical knowledge, project**

**Citación:** ZAMARRIPA-MUÑOZ, Miguel Ángel & OJEDA-ESCOTO, Pedro Agustín. Enseñanza del diseño mecánico mediante un proyecto CAD documentado. *Revista de Ingeniería Mecánica*. 2019. 3-11: 24-33

\* Correspondencia del Autor ( miguel.zamarripa@utags.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor



## Introducción

Para desarrollar proyectos en el área metal-mecánica se emplean una cantidad muy grande de variables que se tienen que controlar, organizar y documentar, la base fundamental de la resolución de problemas y realización del proyecto se puede resumir en los conocimientos teóricos y prácticos de los integrantes del equipo de trabajo. Los conocimientos teóricos, normalmente se aprenden de acuerdo a un plan de estudios en las universidades, y los prácticos normalmente se adquieren en el campo laboral. Para los estudiantes recién egresados esto significa un problema al momento de competir por un puesto, ya que la mayoría de las empresas solicitan experiencia (“conocimientos prácticos”). Sabiendo que la práctica no se puede separar de la teoría, se tiene que visualizar una solución global abarcando ambos temas y llevar a los estudiantes a un ambiente real de trabajo.

Con el objetivo de llevar al alumno a un plano real de diseño y realización de las actividades que se llevan a cabo en el desarrollo de un proyecto, se plantea el interactuar con la documentación realizada de un diseño de una grúa telescópica abordando temas desde la conceptualización del diseño, hasta los dibujos de fabricación de la misma, explicando así temas como: Organización de la información, filosofía de diseño, prácticas de manufactura, cálculos, materiales, técnicas de modelado 3D, dibujo de fabricación, consumo de materiales, etc.

En el ambiente laboral, normalmente la experiencia es lo que te ayuda a reducir tiempos en el desarrollo de un proyecto, por tal motivo, se plantea esta técnica enfocada a reducir tiempos de diseño y manufactura y ayudar así a las personas recién egresadas para que no les sea tan difícil colocarse en un puesto de trabajo.

Las etapas de desarrollo de un proyecto se pueden mencionar como: Definición de objetivos, ingeniería conceptual, ingeniería básica, ingeniería de detalle, manufactura y pruebas. En el apartado de “Procedimiento de diseño”, se contempla ir analizando de manera cronológica los temas abordados en cada una de ellas. En un segundo apartado llamado “Caso de estudio” se analizan las diferentes etapas aplicadas al desarrollo del diseño de la grúa telescópica.



**Figura 1** Desarrollo de proyecto  
 Fuente: *Elaboración Propia*

## Objetivos

El propósito principal de la investigación radica en incrementar los conocimientos prácticos del estudiante mediante el desarrollo de un proyecto real y de magnitudes poco alcanzables en los planes de estudios debido al tiempo, ayudándolo a interactuar con grandes contenidos de información y saber documentarlo.

## Metodología

Uno de los grandes problemas a la hora de diseñar, es el fundamentar los diseños en base a la manufactura, es muy recurrente el diseñar sin considerar el ¿cómo lo voy a fabricar?, esto ocasiona muchas pérdidas de tiempo trabajando las piezas más de una vez para corregir los errores o incluso realizar un rediseño de componentes y maquinar nuevas piezas. Bajo esta condición, se considera el uso de un proceso denominado como “Diseño para X”, el cual reúne una serie de técnicas de diseño que se introducen en la fase preliminar con el objeto de que el producto final cumpla una serie de características deseables durante el ciclo de vida del desarrollo del producto para garantizar su calidad. Dentro de las técnicas que comprende este proceso, se puede identificar la de “Diseño para manufactura” (DFM), el cual se emplea como línea principal en este proceso de enseñanza.

Para el desarrollo de toda esta información se utilizó como base principal el software de diseño Solidworks desarrollado por Dassault Systemes.

## Procedimiento del diseño

### Definición de objetivos

La claridad y precisión en la definición de estos objetivos son fundamentales en el desarrollo del proyecto, ya que de esto depende la evaluación de los resultados que se obtengan al final. Cabe mencionar que en el desarrollo del proyecto se está expuesto a perder el sentido de los objetivos planteados desde el inicio, por lo que se debe tener un constante monitoreo y no perder la focalización de éstos.

### Ingeniería conceptual

Generalmente un equipo de diseño está integrado por personal de varias disciplinas, esta situación ayuda a ver el problema desde varias perspectivas y a la vez se pueden ver diferentes escenarios para realizar el diseño conceptual. Para la realización de esta etapa se considera abordar temas teóricos como: Procesos de manufactura disponibles, estudio del arte, lluvia de ideas, seguridad y filosofía de diseño. Estos temas nos apoyan para marcar el camino en la toma de decisiones.

Por la parte práctica, se requiere considerar los temas referentes a la viabilidad del diseño, generalmente las personas con más experiencia en el equipo de trabajo son los que tienen un panorama más amplio para acotar estos criterios, mencionándolos por prioridad tenemos lo siguiente:

1. Funcionalidad: Es el tema primordial, ya que de aquí parte el objetivo planteado en la primera etapa del proyecto y define la necesidad que se tiene que resolver.
2. Costo de manufactura: Es fundamental el considerar como se va a fabricar, para solventar la necesidad con el presupuesto asignado.
3. Costo de materiales: Es crítico el análisis de los materiales, ya que están ligados con el tema de disponibilidad del material y costos.
4. Exceso de dimensiones: El realizar un diseño modular es fundamental para no caer en problemas de movilidad.
5. Estética: Por último y como tema también relevante es un producto que tiene que ser atractivo al cliente para poder comercializarlo.

A manera complementaria de estos temas, y considerando la esencia de esta etapa del proyecto que es conceptual, se consideran los temas de: manejo de la información que nos proporciona un orden y rastreabilidad de la información y el modelado rápido en 3D que nos permite analizar diferentes soluciones de manera conceptual.

### Ingeniería básica

Esta ingeniería es una profundización del análisis realizado en la ingeniería conceptual previa, cuyo resultado son los datos de entrada para esta etapa del diseño. En el desarrollo de la ingeniería básica se analizan los siguientes temas considerados como conocimientos teóricos: trigonometría, análisis de fuerzas, momentos, elemento finito, resistencia de materiales, modelado 3D, hidráulica, neumática, selección de equipo comercial, etc.

Siendo esta una de las etapas más nutridas en cuanto a conocimiento práctico para aplicar, ya que la experiencia es la que abre la perspectiva para la toma de decisiones al momento de estar diseñando, los temas abordados en esta etapa son:

**Materiales:** Selección de materiales comerciales existentes y con disponibilidad.

**Prácticas en tecnología láser:** Consideraciones para el corte laser de placas aprovechando todas las ventajas que nos proporciona este proceso de manufactura tales como: uso de ranuras y protuberancias en piezas para su armado, etc.

**Prácticas de doblez:** Consideraciones para el doblez de chapa metálica, entre las que se pueden mencionar: relación entre espesores y radios de doblez, configuraciones de dados, etc. Esto con el objetivo de reducir tiempos de diseño y manufactura.

**Transporte:** Validación de las dimensiones generales de lo desarrollado para garantizar su movilidad sin problemas, y de ser necesario plantear un diseño modular.

**Manejo de la información:** Nomenclatura de componentes utilizados en el proyecto, organización de carpetas para la clasificación de la información, respaldos de información, etc.

## Ingeniería de detalle

Es la etapa en la cual se analizan todos y cada uno de los componentes del diseño minuciosamente mediante el dibujo de fabricación, el análisis de los temas para esta etapa se pueden abordar como:

1. Teóricos:
  - 1.1) Tolerancias dimensionales y geométricas: Empleo de tablas de ajustes recomendados ISO, y análisis de las tolerancias geométricas requeridas para el diseño, garantizando su correcto ensamble.
  - 1.2) Acotación funcional: Análisis de acotación bajo un concepto funcional de las piezas y ensambles para reducir costos de manufactura.
  - 1.3) Dibujo de mecánico: Normatividad de dibujo (vistas, cortes, secciones, escalas, revisiones, listas de partes, etc.). Dibujo de fabricación de componentes y ensambles.
2. Prácticos:
  - 2.1) Técnicas para reutilización de dibujos y modelos 3D: El empleo de un software de diseño tiene muchas ventajas y un factor principal es tener bien clara la forma como funciona y las ventajas que nos brinda para la reutilización de dibujos y modelos 3D para ahorrar tiempo de diseño.

## Manufactura

En la etapa de ingeniería conceptual se definieron los procesos de manufactura disponibles para el proyecto, por lo que esta etapa estará totalmente ligada a lo que se planteó de forma conceptual.

En cuanto a los conocimientos teóricos para esta etapa se abordan temas de soldadura, tratamientos superficiales, metrología y procesos de mecanizado.

Por la parte práctica se pretende concientizar al alumno de los procesos de manufactura más habituales tales como el uso de las máquinas-herramientas y abordar temas como:

- 1) Clasificación de los materiales para el procesado: Dentro del taller se debe de tener bien identificado el flujo de los materiales y en qué orden procesarlos, para poder aprovechar todos los recursos en el menor tiempo posible.
- 2) Consumo de materiales: Proveer al alumno de técnicas para identificar rápidamente el consumo de material de fabricación que se va a consumir en el proyecto, ya que en ocasiones este análisis toma mucho tiempo para realizar las compras de lo que se requiere para el proyecto.

## Pruebas

Esta etapa se centra en la validación de los resultados del diseño realizado, evaluando así, que lo desarrollado cumpla con los objetivos definidos en la etapa 1. Para ello se tiene que ser muy puntual en la evaluación de los resultados y validar el correcto funcionamiento de lo diseñado. Como parte del conocimiento práctico de esta etapa y a su vez fundamental para el equipo de trabajo es la aplicación de una práctica conocida como “lecciones aprendidas”, en la que se les da respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué hicimos bien?
- ¿Qué cosas podemos mejorar?
- ¿Qué errores se pueden evitar?
- ¿Qué problemas podríamos haber evitado?

Documentando estas acciones se tiene como resultado:

- No cometer los mismos errores.
- No “reinventas la rueda” en cada proyecto nuevo.
- Repites los éxitos.

Y todo esto se traduce a un aprendizaje del equipo. Siendo esto un enriquecimiento fundamental en cada integrante del equipo.

## Caso de estudio

Una vez analizados los temas que se emplean en cada una de las etapas de diseño de un proyecto, toca el turno de estudiar las diferentes etapas aplicadas a un proyecto documentado, para ello se plantea el diseño de una grúa telescópica con el fin de ejemplificar de una manera puntual las consideraciones antes mencionadas.

## Definición de objetivos

Para el caso de estudio se define como objetivo: Realizar el diseño de una grúa telescópica con capacidad de carga de 3,000 kg y un alcance de vertical de izaje de 6 m.

## Ingeniería conceptual

Definición de procesos de manufactura disponibles: Para la realización de la grúa se definen los siguientes procesos de manufactura:

- Corte segueta cinta
- Torneado
- Taladrado
- Fresado
- Corte laser
- Doble de chapa
- Soldadura
- Pintura

Mediante una lluvia de ideas (brainstorm) se exponen los factores a considerar para el diseño, exponiendo temas como:

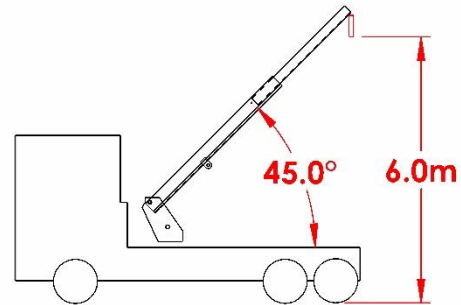
Estudio del arte, que consiste en la revisión de los modelos existentes de grúas en el mercado y analizar las configuraciones existentes tomando en cuenta sus ventajas y desventajas.

En la filosofía de diseño se analizan los 10 aspectos vulnerables particularmente para cada proyecto que no pueden ser ignorados sin riesgo de fracaso:

- Clarificar la tarea.
- Trabajo de diseño en equipo.
- Comunicación entre todos los compañeros.
- Tener el concepto correcto.
- Herramientas correctas, forma correcta.
- Mantener el diseño sencillo.
- Hacer las funciones claras.
- Factores de seguridad.
- Seleccionar materiales y partes.
- Documentar la información.

Una vez analizados estos temas se procede a modelar en 3D un diseño conceptual rápido, el cual ayudará a comenzar el análisis de alcances y longitudes de los componentes de la grúa.

Dicho modelo, debe garantizar la funcionalidad de la grúa, que los componentes sean factibles de fabricarlos bajo los procesos de manufactura mencionados anteriormente, verificar que los componentes sean de materiales comerciales (no fabricación especial) y con disponibilidad, que el ensamble(s) no exceda dimensiones de transporte para garantizar su movilidad y que sea atractivo visualmente para comercializarlo.



**Figura 2** Ingeniería conceptual

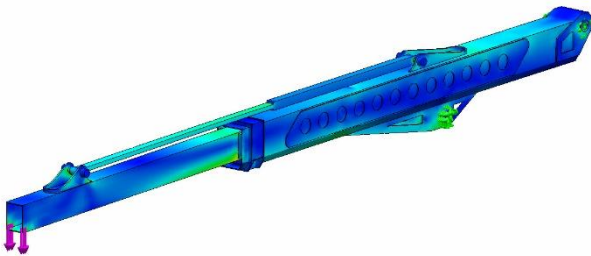
Fuente: *Elaboración Propia*

## Ingeniería básica

Después de analizar los alcances de la grúa en la etapa anterior, se procede a identificar la configuración del brazo y la selección de materiales para la construcción del mismo. El brazo se diseñará bajo las consideraciones siguientes:

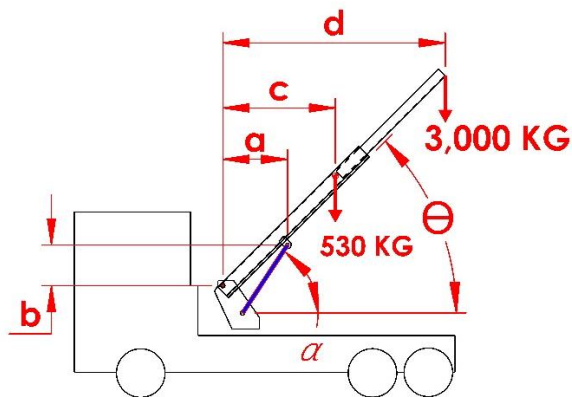
- Se considera el uso de material acero estructural rectangular (PTR) para la extensión de la grúa tratando de reducir costos de manufactura.
- El uso de placas dobladas para la construcción del brazo principal ayudará a controlar geometría, tolerancias, distribución de esfuerzos y sujeciones de los componentes.
- La altura promedio de la plataforma de un camión se considera de 50 pulgadas con respecto al nivel del piso.

- Realizar el diseño 3D de forma simplificada con el objetivo de realizar un análisis de elemento finito considerando las dimensiones y cargas definidas en las etapas anteriores obteniendo así la geometría que nos proporcionará la resistencia necesaria del brazo, considerando un factor de seguridad de 3 aplicado como una carga repetida en una dirección basado en el límite de fluencia del material [2], y el uso de un material común como el ASTM A36 con un límite de fluencia de 36,300 psi [12], y de esta forma se realiza la evaluación del diseño (ver figura 3).



**Figura 3** Análisis de elemento finito  
Fuente: Elaboración Propia

Una vez encontrando los valores óptimos de esfuerzos y reforzando las partes críticas en el diseño, se procede a obtener el peso total del brazo, el cual nos servirá para el cálculo del cilindro de levante [1], que es el componente medular del funcionamiento de la grúa.



**Figura 4** Cálculo cilindro de levante  
Fuente: Elaboración Propia

Considerando un peso aproximado del brazo de 530 kg y considerando que el ángulo más crítico para la fuerza del brazo es  $\theta=0^\circ$  (ver figura 4), se tiene lo siguiente:

$$\sum_{MA} = 0 = (a)(F_{CIL} \text{Sen } \alpha) + (b)(F_{CIL} \text{Cos } \alpha) - (c)(530 \text{kg}) - (d)(3000 \text{kg}) = 0 \quad (1)$$

$$F_{CIL} = 20573.6 \text{ kg} = 45261.9 \text{ lbs}$$

Encontrando el diámetro del cilindro tenemos:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (2)$$

Considerando que el sistema hidráulico funcione a una presión de 2450 psi tenemos:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi P}} = \sqrt{\frac{4(45261.9 \text{ lbs})}{\pi(2450 \text{ lbs/plg}^2)}} \quad (3)$$

$$d = 4.84 \text{ plg} \approx 5 \text{ plg}$$

Una vez evaluado el brazo bajo los criterios mencionados en el análisis de elemento finito y el cálculo del cilindro, se realizan las consideraciones para la manufactura:

**Materiales:** Se requiere tener conocimiento de las medidas de materiales comerciales con disponibilidad, ya que a menudo encontramos en catálogos de proveedores materiales que no son comunes de comercializar y tienen tiempos de entrega largos.

**Corte laser:** Este proceso está acotado al corte de piezas que se obtienen a partir de hojas de lámina o placa con un espesor preferentemente de hasta 5/8 pulgadas. En este proceso se tiene que hacer una serie de consideraciones, ya que se pueden obtener muchas ventajas para el ensamble de los componentes haciendo uso de ranuras y protuberancias en las piezas para facilitar los escuadres de las piezas, sobretodo en ensambles de soldadura, evitando así el uso de escantillones.

Otra consideración importante es acerca del barrenado de las piezas, no se puede cortar un barreno más pequeño que el espesor de la placa, estas prácticas nos ayudarán a reducir tiempos de manufactura en gran medida.

**Doble:** Para facilitar el proceso de doblez, se puede hacer uso una ventaja muy importante que nos proporciona el corte laser, ya que el diseñador puede colocar marcas en el material en los lugares donde va a doblarse, ayudando así a reducir tiempos en el proceso de doblez convencional, ya que en muchas ocasiones el operador de la dobladora tiene que marcar la pieza para posteriormente colocar la pieza para doblarla.

**Transporte:** En esta etapa se procede a la validación del dimensionamiento de los ensambles diseñados para evitar tener problemas de movilidad.

**Manejo de la información:** Es de vital importancia la clasificación de la información generada. De forma general para un proyecto podemos realizar la siguiente clasificación:

- Administración
- Respaldos
- Cálculos
- Catálogos
- Información de control (electrónica)
- Datos de entrada
- Modelos 3D
- Imágenes y videos

Es de gran importancia generar una nomenclatura adecuada a los documentos generados, modelos 3D (tornillería, partes comerciales, elementos para manufactura, etc.), catálogos, respaldos, órdenes de compra, etc. con la finalidad de tener un control de manufactura y a su vez la rastreabilidad de la información.

### Ingeniería de detalle

En esta etapa se realiza el dibujo de fabricación de la grúa, desnudando así el diseño a su máxima expresión, ya que de los temas principales para esta etapa son las tolerancias asignadas para el correcto ensamble de los componentes teniendo bien claro que el *acotado funcional* es el que nos provee el mayor beneficio, ya que nos permite reducir costos de fabricación haciendo énfasis en los puntos críticos para el ensamble. Es fundamental el dominio del dibujo mecánico como lenguaje universal, ya que el objetivo del dibujo es documentar toda la ingeniería desarrollada.

En cuanto a los conocimientos *prácticos* aplicados en esta etapa, se debe tocar el tema de tener buen dominio del software utilizado para realizar el diseño y saber el vínculo que existe entre los dibujos generados y los modelos 3D, ya que esto nos permite manipular la información de tal forma que se puede reutilizar la información generada para crear nuevos componentes con cierta similitud tales como pernos, bujes, etc. Y extrapolando éste criterio a cualquier ensamble o pieza.

Normalmente un alumno durante su carrera no le es posible aplicar todas las consideraciones necesarias en el diseño de un proyecto de esta magnitud, bajo esta iniciativa se pretende aplicar los conocimientos en un proyecto ya desarrollado como lo es el diseño de la grúa telescópica.

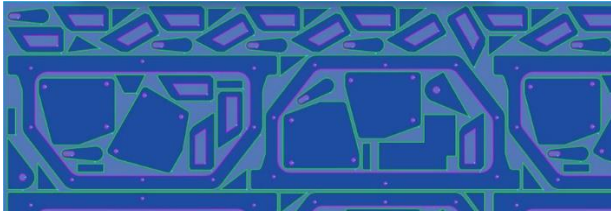
### Manufactura

Como anteriormente se mencionó, el factor crítico es el flujo de material en el taller de manufactura ya que se pueden realizar procesos en paralelo y que al final converjan en el ensamble de los mismos. Para la manufactura de la grúa, hay dos vertientes de tipos de material, los que se obtienen a partir de placas (hojas de lámina) y los materiales que se compran por longitud (acero estructural, material redondo, tubo, etc.) y los dos procesos fundamentales al inicio de la fabricación son: corte laser (para el procesado de la placa) y el proceso de corte por segueta (para el procesado del material como acero estructural, etc.), de ésta forma se puede comenzar la clasificación del material para procesarlo en paralelo, ya que los procesos no dependen uno del otro.

Estos dos procesos son el punto de partida de la materia prima, y a su vez, están surtiendo de material a los demás procesos como doblez, torneado, fresado, soldadura, etc. Por otro lado, es de vital importancia el enfatizar en concientizar al alumno acerca del uso de herramientas para identificar el consumo de material, bajo las consideraciones que se está trabajando con placas surtidas por pieza (largo por ancho), se requiere definir la cantidad de placas que se requiere comprar. Para identificar el consumo de placas se procede a realizar un anidado (manual o automático en software especializado) realizando el acomodo óptimo de las piezas dentro de la placa comercial (ver figura 5).

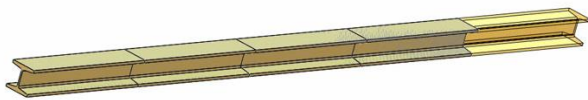


El punto de partida para este proceso es la generación de archivos “.dxf” (archivo 2D) de las piezas que van a fabricarse a partir de placas, posteriormente se utilizarán estos archivos para su anidado correspondiente.



**Figura 5** Anidado de chapa metálica. [13]Sigmanest.

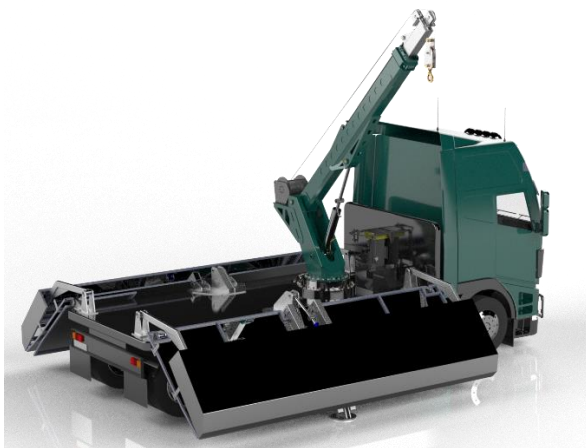
Por otro lado, se encuentran los materiales que se obtienen a partir de tramos de material, dentro de los que podemos mencionar son acero estructural como PTR, ángulos, vigas, redondos, etc. Para calcular el consumo de materiales de este tipo, existen softwares que calculan el consumo óptimo, para que no haya desperdicios considerables, sobre todo cuando se trata de un producto fabricado en serie (ver figura 6).



**Figura 6** Anidado de cortes por longitud. [13]Sigmanest.

## Pruebas

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de esta metodología es involucrar al alumno con un diseño real y llevarlo a considerar todos los factores al diseñar un proyecto y como resultado del mismo se muestra el diseño de la grúa desarrollada como un proyecto de análisis para los alumnos (ver figura 7).



**Figura 7** Diseño final de prototipo

Fuente: *Elaboración Propia*

## Resultados

Como resultado de la información generada, se presenta el diseño preliminar de la grúa desarrollada para que funcione como banco de análisis para los alumnos, y de esta forma fortalezcan sus conocimientos y les ayude para la solución de problemas y organización de la información generada en el proyecto, planteándose la información de manera genérica para aplicarla a cualquier proyecto del área metal-mecánica.

Es de vital importancia proveer a los alumnos estrategias para desarrollar sus ideas y documentarlas de forma correcta, incentivando la innovación y fortaleciendo las oportunidades de los estudiantes.

A continuación, se describe una breve reseña de los resultados obtenidos para cada una de las etapas del estudio:

1. Definición de objetivos: Planteamiento de los diferentes escenarios o perspectivas que se pueden ver al iniciar un proyecto.
2. Ingeniería conceptual: Involucrar al alumno con los conceptos importantes en la toma de decisiones para trazar el rumbo del proyecto.
3. Ingeniería básica: En esta etapa se tiene una gran influencia en los conocimientos prácticos y es donde se obtienen los mayores beneficios de esta metodología, ya que se abordan consideraciones de manufactura que ayudarán en gran medida al proceso de fabricación y tiempos del proyecto.
4. Ingeniería de detalle: Es de gran importancia el saber documentar de forma detallada toda la información generada en un proyecto ya que esto es lo que le da valor al diseño de ingeniería, la información tiene que ser controlada y resguardada de forma correcta para poder replicar o reutilizar esta información posteriormente, ya sea para mejorar el diseño, o bien, para utilizarla en otro proyecto posterior. El alumno deberá comprender la importancia de esta etapa.
5. Manufactura: Cuando sabemos con cuantas máquinas contamos para realizar el trabajo, es vital saber darle el flujo al material de forma correcta para que no se produzcan cuellos de botella y de esta forma agilizar el proceso de fabricación.

6. Pruebas: Sabiendo de antemano que el proyecto está enfocado a la docencia, esta etapa se tiene que llevar de manera teórica esperando contar posteriormente con recurso para la validación del diseño.

### Contribución de la investigación

En el proceso de aprendizaje de los alumnos en las universidades, normalmente se interactúa con proyectos pequeños que pueden desarrollar durante una asignatura, pero pocas veces interactúan con un proyecto de mayor magnitud como el que se plantea en este artículo. Este método de enseñanza contribuye a ampliar el panorama del estudiante acerca de todas las variables que debe de considerar al realizar un diseño en sus diferentes etapas de una manera más amplia, clara y palpable.

### Agradecimiento

Los autores del presente artículo agradecen el apoyo brindado por la Universidad Tecnológica de Aguascalientes para realizar este estudio.

### Conclusiones

Generalmente los estudiantes recién egresados buscan oportunidades en el campo laboral para aprender los conocimientos que nos da la práctica (experiencia), la metodología descrita en este artículo está enfocada para poder brindar al alumno fortalezas para la toma de decisiones en el desarrollo de un proyecto abordando tanto los conocimientos teóricos como prácticos.

Un factor fundamental en un equipo de diseño es el trabajo y la interacción del equipo para obtener los resultados esperados, cada uno de los integrantes del equipo debe mantener su mente abierta y libre de prejuicios, ya que la generación de ideas es fundamental para encontrar la solución correcta al reto de cada proyecto.

El conocimiento adquirido por los estudiantes bajo esta metodología, les ha servido a visualizar el diseño desde una perspectiva de manufactura, considerando los procesos de fabricación definidos desde el inicio del proyecto y proponer soluciones viables y reales. Sin duda, esto es una aportación a sus conocimientos prácticos para enfrentarse a la vida laboral.

### Referencias

- [1] Beer F., Johnston R. & Eisenberg E. (2007). *Mecánica Vectorial para ingenieros. Estática*. México D.F.: McGraw-Hill.
- [2] Faires V. (1997). *Diseño de elementos de máquinas*. México D.F.: Limusa.
- [3] Pugh, S. (1990). *Total Design*. Great Britain: Addison Wesley.
- [4] Ullman, D. G. (1992). *The Mechanical Design Process*. New York: Mc. Graw-Hill.
- [5] Ulrich K. T. & Eppinger S.D. (1995). *Product design and development*. International Editions: Mc. Graw-Hill.
- [6] Hubka, V. & Eder, W.E. (1992). *Engineering Design – General Procedural Model of Engineering Design*. Zürich: Edition Heurista.
- [7] Pahl, G. & Beitz, W. (1996). *Engineering Design – A Systematic Approach*. Great Britain: Springer-Verlag.
- [8] Evbuomwan, N.F.O., Sivaloganathan, S. & Jebb, A. (1996). A Survey of Design Philosophies, Models, Methods and Systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 210, 301–320.
- [9] Ullah, I., Tang, D. & Yin, L. (2016). A literature overview, 9th International Conference on Digital Enterprise Technology - DET 2016 – “Intelligent Manufacturing in the Knowledge Economy Era”, *Procedia CIRP*, 56, 25–33.
- [10] Finger, S. & Dixon, J. (1989). A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I: Descriptive, Prescriptive, and Computer-Based Models of Design Processes, *Research in Engineering Design*, Springer-Verlag New York Inc., 1, 51-17.



- [11] Finger, S. & Dixon, J. (1989). A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part II: Representations, Analysis, and Design for the Life Cycle, Research in Engineering Design, Springer-Verlag New York Inc., 1, 121–137.
- [12] <http://www.matweb.com>
- [13] <https://www.sigmanest.com/features/>

# Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

---

## [Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor

*Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)*

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1<sup>er</sup> Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2<sup>do</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2<sup>do</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3<sup>er</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

---

### Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos  
Metodología  
Contribución

**Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)**

### Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos  
Metodología  
Contribución

**Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)**

---

**Citación:** Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Ingeniería Mecánica. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

---

---

\* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

## Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

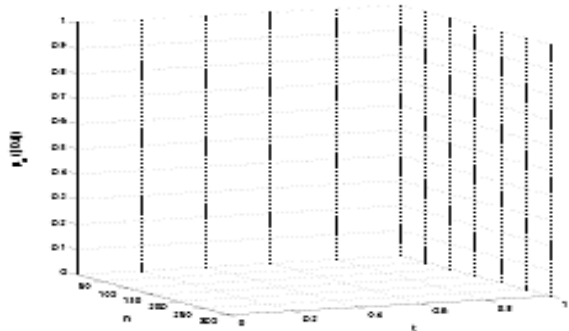
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

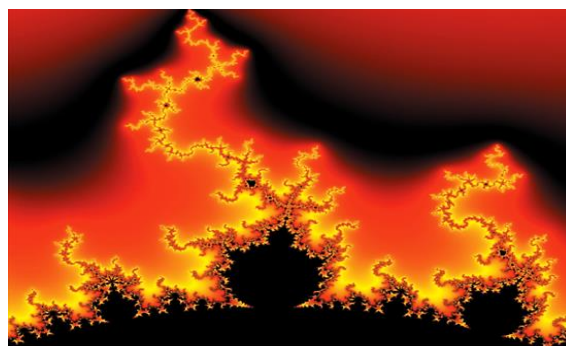
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]



**Gráfico 1** Titulo y Fuente (en cursiva)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



**Figura 1** Titulo y Fuente (en cursiva)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.


**Tabla 1** Titulo y Fuente (en cursiva)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

**Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:**

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

## Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

## Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

## Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

## Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

## Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

## Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

## Ficha Técnica

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

## Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

## **Reserva a la Política Editorial**

Revista de Ingeniería Mecánica se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

## **Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales**

### **Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución**

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Mecánica emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Spain considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

## Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-México, S.C en su Holding Spain para su Revista de Ingeniería Mecánica, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

## Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

### Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

### Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

### Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

### **Responsabilidades de los Autores**

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

### **Servicios de Información**

#### **Indización - Bases y Repositorios**

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

#### **Servicios Editoriales:**

Identificación de Citación e Índice H.

Administración del Formato de Originalidad y Autorización.

Testeo de Artículo con PLAGSCAN.

Evaluación de Artículo.

Emisión de Certificado de Arbitraje.

Edición de Artículo.

Maquetación Web.

Indización y Repositorio

Traducción.

Publicación de Obra.

Certificado de Obra.

Facturación por Servicio de Edición.

#### **Política Editorial y Administración**

38 Matacerquillas, CP-28411. Moralarzal –Madrid-España. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**ECORFAN®**

**Editor en Jefe**

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

**Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

**Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

**Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

**Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

**Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

**Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

**Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN® Spain), [sponsorships@ecorfan.org](mailto:sponsorships@ecorfan.org)

**Licencias del Sitio**

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. [financingprograms@ecorfan.org](mailto:financingprograms@ecorfan.org)

**Oficinas de Gestión**

38 Matacerquillas, CP-28411. Moralarzal –Madrid-España.



# Revista de Ingeniería Mecánica

“Contrucción de un prototipo de banco para el estudio de las Vibraciones Mecánicas”

**CÓRDOVA-LOPEZ, José Miguel, BÁEZ-MORATILLA, Pedro y HERNÁNDEZ-MORALES, Irma**

*Universidad Tecnológica de Oriental*

“Controlador robusto para el seguimiento de trayectorias para un exoesqueleto de extremidades inferiores”

**BLANCO-ORTEGA, Andrés, PEREZ-VIGUERAS, Demetrio, ANTUNEZ-LEYVA, Edgar y COLIN-OCAMPO, Jorge**

“Diseño y Manufactura de un aislante para un Rotating Disc Electrode”

**DELGADO-HERNANDEZ, Alberto, GONZALEZ-VIZCARRA, Benjamín, AVILA-PUC, Miguel Ángel y SIQUEIROS-HERNANDEZ, Miriam**

*Universidad Autónoma de Baja california*

“Manufactura y pruebas de una celda de carga para un banco de pruebas de aspas de turbinas eólicas de baja capacidad”

**ROMERO-FRANCO, Martín, LÓPEZ-GARZA, Víctor, MARÍN-TÉLLEZ, Paulina y PÉREZ-JUÁREZ, Erik**

*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*

“Enseñanza del diseño mecánico mediante un proyecto CAD documentado”

**ZAMARRIPA-MUÑOZ, Miguel Ángel & OJEDA-ESCOTO, Pedro Agustín**

*Universidad Tecnológica de Aguascalientes*

