

Científica

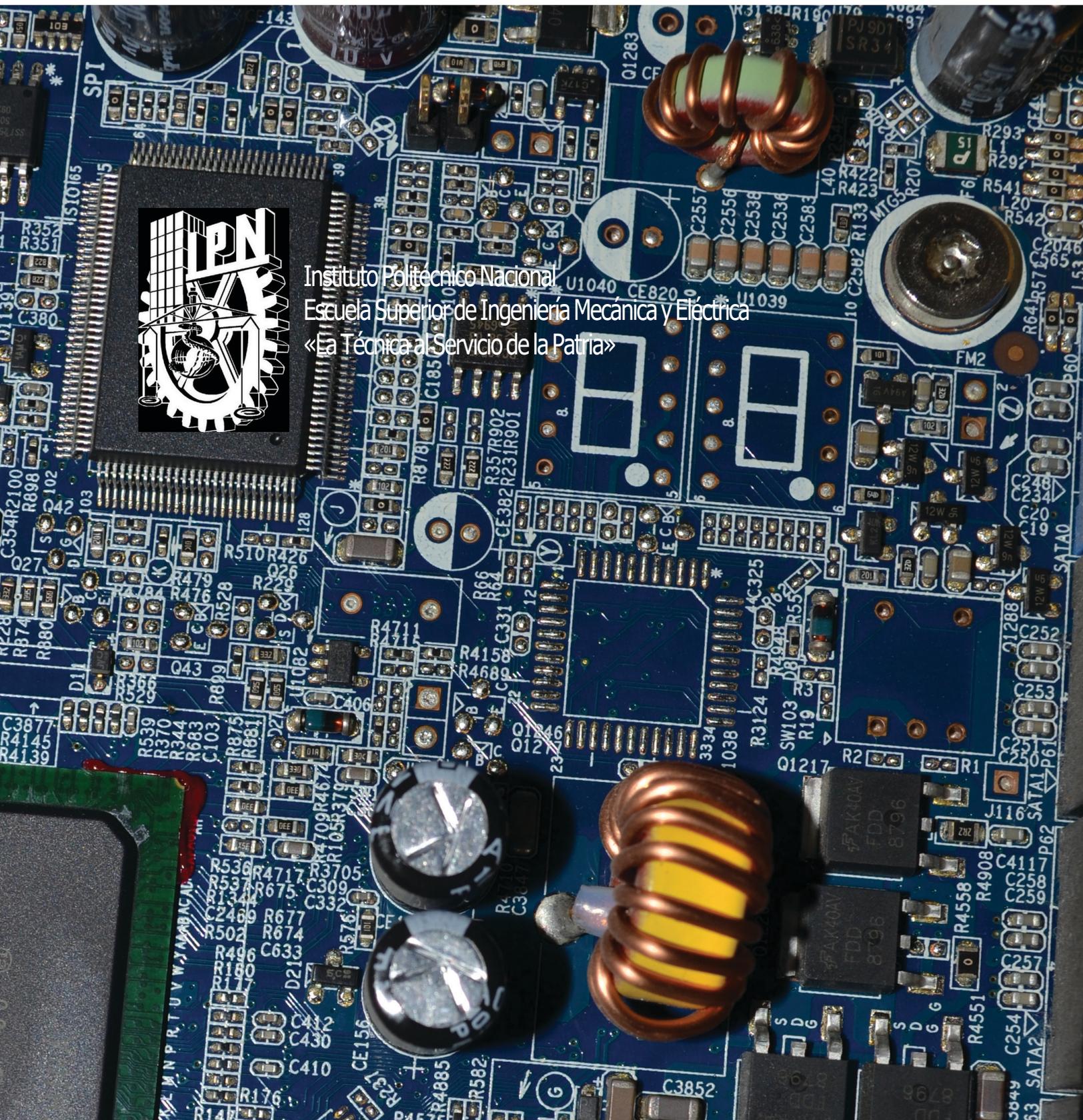
ISSN
1665-0854



Científica: The Mexican Journal of Electromechanical Engineering • Volumen 19 Número 1 • edición semestral: enero-junio 2015 • México • ISSN 1665-0654



Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
«La Técnica al Servicio de la Patria»



DIRECTORIO

Guillermo
Urriolagoitia Calderón
Director

Alma Vicenta
Miranda Godínez
**Coordinadora
Editorial**

Cuahtémoc
Jiménez Pérez
**Editor
Técnico**

Luis Alberto
Mendez Cruz
**Página
Web**

Margarita
Sam Rodríguez
Revisión

Indizada en:

Latindex: Sistema Regional
de Información en Línea para
Revistas Científicas de América Latina,
el Caribe, España y Portugal.
www.latindex.org

Periódica:
Índice de Revistas Latinoamericanas
en Ciencias.
www.dgbiblio.unam.mx

Redalyc: Red de Revistas Científicas
de América Latina y el Caribe,
España y Portugal.
www.redalyc.org

Vehículo guiado automático con un brazo articulado de 5 grados de libertad

Automatic Guided Vehicle with an Articulated Arm
5 Degrees of Freedom

Noemí **Corro-Valdez**, Ángel **Martínez-Velazquez**,
Pablo **Moreno-Garibaldi**.

México

3-10

Estudio antropométrico de la población mexicana masculina laboralmente productiva

Anthropometric Study in a Sample Population of Mexican
Males in Occupationally Productive Age

Axel Ivar **Rangel-Elizalde**

México

11-15

Análisis mecánico-estructural de una grúa auxiliar para el traslado de pacientes con problemas de movilidad aplicando el método de extensometría y simulación FEM

Experimental and Numerical Validation of an Auxiliary
Crane for the Transfer of Patients with Mobility Problems,
Applying the Method of Extensometry and FEM Simulation

Carlos Eduardo **Legorreta-Correa**

México

17-27

Plataforma electromecánica para cirugía de mano controlada por pedal

Electromechanic Platform for Hand Surgery Controlled by Pedal

Jonathan **Martínez-Paredes**,
Allan Ronier **Diez-Barroso-Agraz**,
Sandra Denisse **Ontiveros-Paredes**,
Rosario **Olivares-García**.

México

29-35

Determinación de esfuerzos entre dos piezas en contacto utilizando el Método de Elementos Finitos

Determination of Stress between Two Parts in Contact
Using The Finite Element Method

Juan **Atonal-Sánchez**, Alexander **Reyes-Cruz**,
Rodrigo **Vázquez-Machorro**.

México

37-41

COMITÉ EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Alexander Balankin
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Jesús del Castillo
Instituto Venezolano de Investigación Científica
(VENEZUELA)

María Teresa Alonso Rasgado
University of Manchester (REINO UNIDO)

Manuel Elices Calafat
Universidad Politécnica de Madrid (ESPAÑA)

Marco Ceccarelli
University of Cassino (ITALIA)

Héctor Pérez Meana
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Jinhui Shao
University of Shuo (JAPÓN)

EDITORES ASOCIADOS

Apolinar Reinoso Hernández
Centro de Investigación y de Estudios
Superiores de Ensenada (MÉXICO)

Baltasar Mena Inesta
Universidad Nacional Autónoma de México
(MÉXICO)

Édgar Sánchez Sinencio
Texas A&M University College Station
(ESTADOS UNIDOS)

Francisco Sánchez Sesma
Universidad Nacional Autónoma de México
(MÉXICO)

Garret Sautis
University of Sheffield (REINO UNIDO)

Guillermo Urriolagoitia Sosa
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Hidilberto Jardón Aguilar
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

Israel Saucedo Meza
Universidad de Baja California (MÉXICO)

Joaquín Fernández Valdivia
Universidad de Sevilla (ESPAÑA)

Jorge Sosa Pedroza
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

José de Jesús Álvarez Ramírez
Universidad Autónoma Metropolitana (MÉXICO)

José Luis del Río Correa
Universidad Autónoma Metropolitana (MÉXICO)

José Manuel de la Rosa
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Juan Alfonso Beltrán Fernández
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Luis Héctor Hernández Gómez
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Luis Niño de Rivera y Oyarzábal
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Mariko Nakano Miyatake
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Manuel A. Duarte Marmoud
Universidad de Chile (CHILE)

Michael Shapiro Fihman
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

Miguel Ángel Rodríguez Díaz
Instituto de Física de Cantabria
(ESPAÑA)

Miguel Castro Fernández
Centro de Investigación y Pruebas
Electromagnéticas de Cuba (CUBA)

Miguel Cruz Irisson
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Pablo Rogelio Hernández Rodríguez
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

Patricia Camarena Gallardo
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Rafael Castro Linares
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

Régulo López Callejas
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
(MÉXICO)

Valery Kontorovich
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

Víctor Champac Vilela
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica
y Electrónica (MÉXICO)

Victor Kravchenko
Moscow Institute of Physics and
Technology (FEDERACIÓN RUSA)

Vladislav Kravchenko
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
Querétaro (MÉXICO)

Volodymir Ponomaryov
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Revista
Científica
ISSN 1665-0654

VOLUMEN 19, NÚMERO 1,
ENERO-JUNIO 2015

LA REVISTA MEXICANA
DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA

THE MEXICAN JOURNAL OF
ELECTROMECHANICAL
ENGINEERING

Revista **Científica** ESIME, ISSN 1665-0654, **Volumen 19, Número 1**, enero-junio de 2015. Revista semestral editada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Edificio 5, 1^{er} piso, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI-ESIME Zacatenco), Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, México, DF, Tel. 5729 6000 ext. 54518. correo electrónico: revistacientificpn@yahoo.com.mx. Página en Internet: www.cientifica.esimez.ipn.mx. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo. Reserva: 04-2004-053109300500-102, 31-V-06. Certificado de Licitud de Contenido 7611, 10-I-00. Certificado de Licitud de Título 10962,10-I-06. Suscripción anual: \$ 400.00 (pesos). Annual fee including airmail charges US \$ 50.00 (fifty US Dollar). El contenido de los artículos firmados es responsabilidad del autor. Impresión: Talleres Gráficos de la Dirección de Publicaciones del IPN, Tresguerras 27, Centro Histórico, México, DF. Este número se terminó de imprimir el 19 de diciembre de 2014. Tiraje: 500 ejemplares.

EDITORIAL

Científica, en su primer número del volumen 19, publica cinco artículos de investigación que cubren las disciplinas que le competen y le invita, además, a consultar los artículos y números completos en línea (desde 2005) en su página electrónica www.cientifica.esimez.ipn.mx.

La robótica industrial trata fundamentalmente de dotar de flexibilidad a los procesos productivos incrementando al mismo tiempo la productividad. Otro sector de importancia creciente en las aplicaciones de la robótica son los robots de servicio, entre los cuales se incluyen los robots domésticos, de apoyo a los discapacitados y asistentes en general. Se propone en el primer trabajo publicado, la implementación de un vehículo guiado con una inversión que se pretende recuperar en un lapso de un año si, y solo si, los operarios actuales se reubican en otra actividad dentro de la planta de producción. Con este vehículo se incrementa la efectividad del sistema *just in time*, ya que el tendría tareas programadas sin descensos ni paros de línea por falta de material y mejoramiento del control del inventario.

En el México de hoy, el bienestar físico y mental durante el proceso productivo resulta de vital importancia, ya que las personas dependen directamente de la correcta relación entre los diversos factores que afectan directa o indirectamente los espacios vitales en donde se desenvuelven al momento de realizar sus labores. Como apoyo surge la antropometría, la cual sirve para identificar las características físicas de una cierta muestra poblacional y con esto poder diseñar los espacios de trabajo de acuerdo a este tipo de individuos. En este segundo artículo, se presenta el desarrollo de un estudio antropométrico en una muestra población de varones de origen mexicano y en edad laboralmente productiva (18-65 años), con la finalidad de caracterizar las dimensiones antropométricas de esta población y con esto realizar un eficaz diseño de un área de trabajo para, así, garantizar un aumento en la calidad de vida de dichos trabajadores.

En el siguiente trabajo, se presentan resultados de pruebas numéricas y experimentales, utilizando el método de extensometría efectuadas a una grúa auxiliar diseñada originalmente con la finalidad de facilitar el traslado de pacientes con problemas de movilidad dentro de hospitales. Las pruebas experimentales consistieron en simular el efecto de cargar completamente a una persona de hasta 200 kg (1962 N) de peso, sin considerar movimientos laterales en la horquilla en donde se engancha el arnés que precisamente realiza esta función. Se utilizaron discos de pesas de 15 y 20 kg, los cuales fueron colocadas de manera gradual a fin de tener diferentes estados de carga, con aumentos progresivos de 20 kg hasta llegar a 200 kg. En cada punto (estado de carga) se registraron las deformaciones en los puntos críticos de varios de los elementos que componen a la grúa, usando para ello galgas extensométricas (*strain gauges*) que previamente fueron instrumentadas en la grúa.

Actualmente, las cirugías de mano son realizadas con distintos instrumentos y equipo quirúrgico, la selección del tipo del mismo, depende tanto del criterio del médico como de la disponibilidad tecnológica en el hospital. Con el objeto de facilitar el proceso de cirugía de mano, se propone, en el cuarto artículo, el diseño de una plataforma electromecánica con tres grados de libertad, un sistema ajustable a las posiciones requeridas en la cirugía y una cámara para documentación de la cirugía, cuenta con un control por medio de pedal para que el mismo cirujano ajuste la plataforma sin requerir ayuda de un asistente. Los beneficios de la implementación de este dispositivo es la disminución del personal colaborativo en la cirugía y minimizar los tiempos por ajuste de posición de la mano, mayor estabilidad en la posición requerida y la posibilidad de documentar el proceso quirúrgico.

En el trabajo que cierra este fascículo, se simuló el contacto bajo carga puntual sobre una placa de aluminio soportada en un perno de acero con apoyo del software ANSYS APDL y ayuda de su herramienta *Contact Manager*. El objetivo principal se centra en dar a conocer la herramienta *Contact Manager* para la simulación de contacto entre dos piezas para la determinación de esfuerzos y las deformaciones generadas bajo el tipo de contacto superficie-superficie, tras la aplicación de una fuerza puntual. El análisis se enfoca en la simulación estática-estructural para la evaluación del campo de esfuerzos y deformaciones. El fenómeno fue simulado en un sistema tridimensional utilizando los elementos Solid185, Contact174 y Target170.

Científica agradece su preferencia y le invita a participar con sus aportaciones en las áreas de la ingeniería que difunde: ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica, ingeniería en telecomunicaciones, ingeniería en sistemas y temas sobre educación en ingeniería.

Vehículo guiado automático con un brazo articulado de 5 grados de libertad

Noemí **Corro-Valdez**
Ángel **Martínez-Velazquez**
Pablo **Moreno-Garibaldi**

Instituto Politécnico Nacional,
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
Unidad Azcapotzalco.
Av. De las Granjas 682, Santa Catarina,
CP 02250, Ciudad de México.
MÉXICO.

correo electrónico (email):
nocova12@yahoo.com.mx

Recibido 06-08-2014, aceptado 27-11-2015.

Resumen

La tecnología es tan antigua como el hombre mismo. Así los hombres se convirtieron en tecnólogos cuando aprendieron a aprovechar los materiales y fenómenos naturales del mundo físico que los rodeaba [8]. La planificación y la resolución de problemas forman el núcleo de la tecnología. La mecanización de procesos han maximizado la fuerza muscular, las computadoras el poder mental, los sentidos del hombre se han maximizado por medio de los dispositivos de medición como los sensores y aparatos de medición. Este desarrollo de sistemas de tecnología avanzada ha dado lugar al desarrollo de sistemas tan complejos como son los robots, los cuales son máquinas que integran sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos dotados de un sistema informático para su control en tiempo real [9]. La robótica industrial trata fundamentalmente de dotar de flexibilidad a los procesos productivos incrementando al mismo tiempo la productividad. Otro sector de importancia creciente en las aplicaciones de la robótica son los robots de servicio, entre los cuales se incluyen los robots domésticos, de apoyo a los discapacitados y asistentes en general.

Palabras clave: robot, AGV, automatización.

Abstract (Automatic Guided Vehicle with an Articulated Arm 5 Degrees of Freedom)

The technology is as old as man himself. Thus men became technologists when they learned to its material and natural phenomena of the physical world around them. The mechanization of processes have maximized muscle strength, mental power computers, man's senses have been maximized through the measuring devices such as sensors and all measuring apparatus. All this development of It has led to the development of such complex systems such as robots, which are machines in which mechanical, electrical, electronic systems equipped with a computer system for real-time control are integrated. Another area of growing importance in applications of robotics are are service robots, including household robots, robots support for disabled and assistants robots in general are included.

Key words: robot, AGV, automation.

1. Introducción

Al principio de los años sesenta se introducen en la industria de manera significativa los robots manipuladores como un elemento más de procesos productivos. Esta proliferación motivada por la amplia gama de posibilidades que ofrecía, inicio el interés de los investigadores para lograr manipuladores más rápidos y fáciles de programar. La consecuencia directa de este avance originó un nuevo paso en la automatización industrial [10].

Los trabajos desarrollados por los manipuladores consistían frecuentemente en tareas repetitivas como la alimentación de las distintas máquinas componentes de las células de manufactura flexible. Ello exigía ubicar los materiales en lugares accesibles para el manipulador, esta demanda de manipuladores fue creciendo de tal forma que exigía mayor rapidez en la colocación de materiales en el lugar e instante preciso. Una solución a esta demanda es el diseño y fabricación de vehículos guiados para proporcionar un transporte eficaz de los materiales entre las distintas zonas de la cadena de producción en una fábrica.

De esta forma, aparecen los primeros vehículos guiados (AGV), las mejoras con respecto a sus primeros desarrollos son el sistema de rieles como sistema de guiado haciéndolos más flexibles y estables en sus trayectorias. La posibilidad de estructurar el entorno industrial permite la navegación de vehículos con una capacidad sensorial y de procesamiento de información mínimas, con lo cual, existe la capacidad de estructurar una secuencia de acciones en la que a su término el vehículo ha alcanzado el objetivo para el que está programado. Ante cualquier cambio inesperado en el área de trabajo que afecte el desarrollo normal de la navegación, el sistema de navegación del vehículo se encontraría imposibilitado para ejecutar acciones alternativas que le permitan reanudar su labor. Sin embargo, por sus aplicaciones potenciales fuera del ámbito industrial, en el cual resulta costoso o muy difícil estructurar el ambiente, se optó por el desarrollo de un vehículo con una mayor adaptabilidad al entorno en donde debería desenvolverse [9].

Una definición correcta de robot móvil plantea la capacidad de movimiento sobre entornos no estructurados de los que se posee un conocimiento incierto mediante la interpretación de la información suministrada a través de sus sensores y del estado actual del vehículo. El uso de robots móviles está justificado en aplicaciones en las que se realizan tareas arriesgadas para el trabajador, entre ellas, el transporte de material peligroso, las excavaciones mineras la limpieza industrial con materiales tóxicos, etc., es decir, ejemplos donde un robot móvil puede desarrollar su labor y evitar poner en riesgo al ser humano. Otro grupo donde este tipo de robots complementa la actuación del operador, lo componen las labores de vigilancia o asistencia a personas incapacitadas. Así como en operaciones de teleoperación, donde existe un retraso sensible de las comunicaciones, resulta interesante el uso de vehículos con cierto grado de autonomía.

El robot móvil autónomo se caracteriza por una conexión inteligente entre las operaciones de percepción y acción, que definen su comportamiento y le permiten llegar a la conclusión de los objetivos programados sobre entornos con cierta incertidumbre.

El grado de autonomía depende en gran medida de la facultad del robot para entender el entorno y convertir la información obtenida en órdenes, del tal modo que, aplicada sobre los actuadores del sistema de locomoción, garantice la eficaz realización de su tarea (ejemplo de un robot AGV, véase figura 1).

Los vehículos AGV son guiados automáticamente, autopropulsados y capaces de seguir una trayectoria variable según un patrón flexible, es decir, fácilmente modificable.

El primer sistema AGV fue construido e introducido en 1953. Era una modificación de un tractor de remolque que fue usado para tirar de una carga y seguir un alambre localizado por la parte de arriba.

La tecnología ha alcanzado niveles sorprendentes, tanto que tareas determinadas no serían fáciles sin su intervención. Actualmente los gerentes o empresarios basan su sistema de producción bajo el concepto de productividad, calidad y bajos costos. En este último concepto la automatización tiene su campo de acción dentro del sistema productivo. Para muchas empresas invertir en sistemas automáticos de producción es importante para bajar los costos de producción. En México en los últimos años se ha introducido cada vez más la automatización, las empresas emplean en mayor medida los servicios de ingenieros que proyecten sistemas automáticos.

La planta de Daimler Chrysler de México SA de CV ubicada en Toluca, estado de México, dentro del área para carrocerías de ensamble del PT CRUISIER, en la línea de armado de la puerta delantera y trasera del costado derecho, necesita de

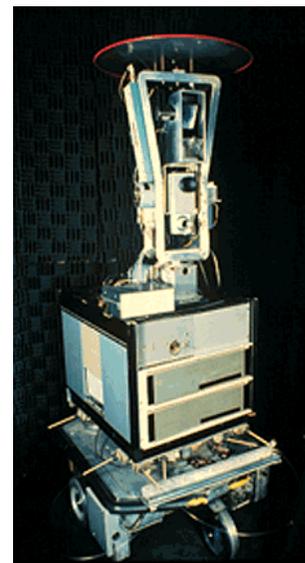


Fig. 1. Shakey primer AGV controlado por inteligencia artificial.

un montacargas y un despachador de materiales solo para estas dos puertas se tiene un total de 12 piezas de preensamble, localizadas en tres estaciones de montaje. Cuatro piezas diferentes por cada estación. Si la planta en su más alto pico de producción ensambla 90 autos por hora, cada 60 segundos fabrica 1.5 autos, por cada estación se tiene por hora un total de 360 autos.

Actualmente la entrega de material dentro del sistema *just in time* de la planta funciona al rededor del 85% de su capacidad efectiva con un costo de \$850.00 por persona y se tiene un promedio de dos paros mensuales de línea de aproximadamente de dos o tres minutos cada uno; esto da como resultado un costo por trabajador de \$1,800.00 teniéndose gastos de mantenimiento de los montacargas con un valor de \$5,000.00 y pérdidas de inventario de \$800.00 por persona, mensualmente.

En el presente trabajo se propone la implementación de un vehículo guiado para el transporte de materiales, con el cual se podría incrementar la efectividad del sistema *just in time*, para bajar los costos por pérdidas de materiales, paros de línea, así como un mejor control de inventario y reducción de costos por mantenimiento de montacargas.

Se pretende implementarlo solo en la línea de armado de puerta delantera y trasera del costado derecho.

2. Desarrollo

Existen características implicadas y otros conceptos no comunes en el diseño del robot que se propone, por lo cual se dará una breve explicación de cada término.

El robot industrial o de servicio representa una evolución de equipos automatizados combinando la flexibilidad en el movimiento y la acción humana. Los robots pueden especializarse con diferentes herramientas, además el número de grados de libertad los distingue. El movimiento característico de los robots depende en mayor parte del diseño mecánico, los cuales pueden ser de cinco diferentes configuraciones.

Velocidad máxima: es el movimiento del brazo cuando se encuentra con la carga máxima generalmente dada en pulgadas o milímetros por segundo. Contando con dos componentes aceleración y desaceleración.

Ciclo: es el tiempo que le lleva al robot en realizar un movimiento determinado ya sea para levantar cargar o realizar algún movimiento.

Repetibilidad: es la habilidad del robot para reposicionarse en un punto el cual fue previamente comandado y se afecta por la resolución y error de componentes mecánicos u electrónicos.

Complianza: es una cualidad que da al manipulador o el robot la habilidades tolerar desalineación de partes cruzadas.

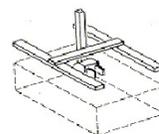
Volumen de trabajo: se refiere al espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de su muñeca (véase figura 2).

Resolución espacial: es el control de resolución combinado con la inexactitud mecánica. El rango de cada articulación del manipulador es dividido por el número de incrementos de control. La resolución espacial de un robot es el menor incremento de movimientos dentro del cual el robot puede dividir su volumen de trabajo.

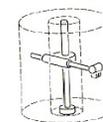
Exactitud: es la diferencia en donde sus puntos de control se dirigen después de haberlos programado, es la habilidad del robot para posicionar su muñeca a un punto deseado dentro del volumen de trabajo (véase figura 3).

Volumen de Trabajo

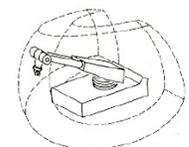
- Es el volumen para el desempeño de su tarea
- Definido en el espacio euclidiano
- Se construye trazando los límites de cada elemento (eslabón) y cada articulación



Cartesiano
PPP



Cilíndrica
RPP



Esférica
RRP



384

Fig. 2. Volumen de trabajo de un robot.

Es importante conocer la localización y orientación del efector final del robot, una vez que las articulaciones han realizado algún giro determinado dentro del espacio tridimensional. Sabiendo de un punto $X_1 Y_1 Z_1$ a qué punto $X_2 Y_2 Z_2$ se moverá el efector final y qué ángulo deben tomar las articulaciones para alcanzar dichos puntos. Esto se conoce como problemas de cinemática ya que trata los aspectos geométricos del movimiento. Una vez conocido esto, también hay que analizar las fuerzas que provocan dicho movimiento.

Cabe mencionar que en este trabajo se muestra la fase para el diseño mecánico y no se muestra el cálculo para el diseño de control de movimiento ni el cálculo cinemático.

2.1. Cálculo mecánico

Los modelos AGV están disponibles en una variedad de tipos de vehículos de acuerdo a las necesidades del cliente para transportar el producto a lo largo de una fábrica, se personalizan para aplicaciones específicas. El transportador convencional se diseña para mover pallets de carga o recipientes con una base de entrada. Estos AGV utilizan elevadores hidráulicos o usillos para bajar o levantar contenedores.

Los principios que hacen que un AGV pueda navegar son simples. Todos los métodos de navegación usan un camino, el vehículo puede seguir un camino fijo o tomar un camino abierto.

La navegación del camino fijo tiene rasgos generales:

1. Los caminos son marcados en el suelo.
2. Los caminos son continuos.
3. Los caminos son fijos pero pueden cambiarse.

La navegación del camino fijo:

1. Cinta magnética estrecha en el suelo.
2. Tira del químico sensible en el suelo.
3. Cinta reflexiva en la superficie del suelo.
4. Alambre debajo de la superficie del suelo.

Los primeros tres métodos requieren de un sensor en la parte inferior del vehículo que siga la superficie guía en el camino. Para el cuarto método consiste en alambre magnético.

Con el flujo de corriente se genera un campo magnético que rodea el alambre que se encuentra dentro del suelo (véase figura 4).

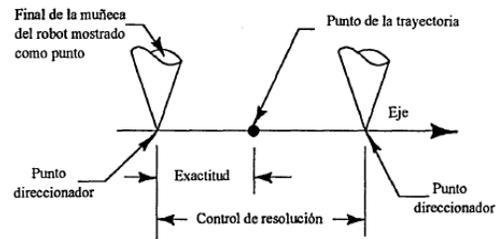


Fig. 3. Exactitud y resolución de control.

El vehículo estará provisto de una batería electrolítica. Bajo las condiciones de trabajo en la fábrica deberá contar con los siguientes puntos de cuidado:

1. Equipar al vehículo con una tapa bien ajustada para minimizar las pérdidas de calor.
2. Pintar la tapa de la batería con un material aislante adecuado tal como poliestireno
3. Utilizar un cargador de carga rápida para asegurar una carga completa.
4. Cuando el vehículo se encuentre en zonas frías de trabajo tenga poco tiempo en paro dentro de esta.

Para el análisis cinemático se tomó la velocidad media a la cual se desplaza una persona dentro de la planta y se determinó de la manera siguiente.

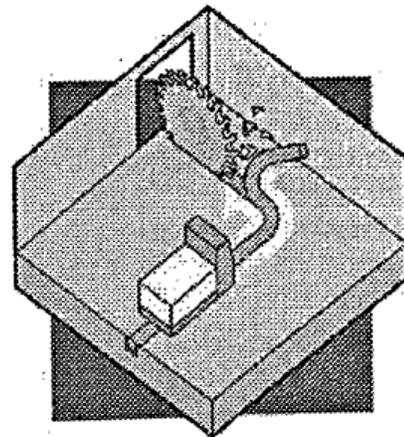


Fig. 4. Volumen de trabajo de un robot.

Analizando el caminar de una persona joven de 30 años de edad con una altura promedio en nuestro país de 1.78 para un varón, dicha persona se trasladó una distancia 6 metros en 5 segundos.

Para calcular la velocidad adecuada dentro de un área de trabajo se realizó la comparación de la velocidad de la persona con la velocidad requerida del vehículo.

De acuerdo a esto, sabemos que recorrió 6 metros en 5 segundos por lo cual su velocidad media es $6/5 = 1.2$ m/s, esta es la velocidad propuesta que el vehículo deberá mantener constante dentro de una recta de un punto a otro.

Tomando en cuenta que esta velocidad media es la velocidad tangencial que deben tener las llantas se tiene:

1.2 m/s $r \omega$ donde r es el radio propuesta de las llantas del vehículo, de 0.076m, entonces la velocidad angular de la llanta será:

$$\omega = 15.789 \text{ rad/s} = 150.77 \text{ RPM}$$

La aceleración lineal del vehículo al arranque y paro, será dada de acuerdo a la velocidad final $V_f = 1.2$ m/s; la velocidad inicial $V_0 = 0$ m/s, si en 3 segundos deberá arrancar, mantener una velocidad constante y al último frenar, este tiempo estará dividido en 4 partes, $3/4 = 0.75$ donde $2/3$ corresponden al desplazamiento a velocidad constante.

La llanta que se propone es de un compuesto de hule de alta resistencia a la abrasión y amortiguamiento moderado para ayudar a la disminución de vibraciones con un rin de alumi-

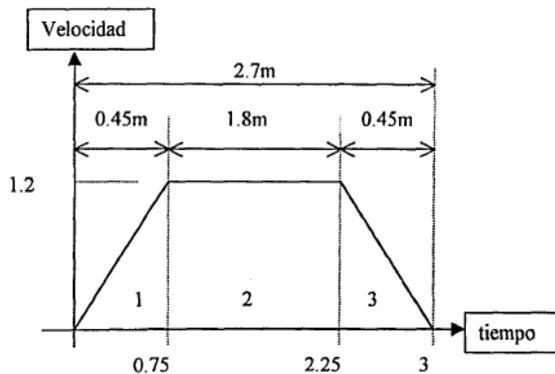


Fig. 5. Rangos de tiempo y velocidad lineal.

nio que proporciona la suficiente capacidad de carga y protección en ambientes de trabajo donde no debe haber emanaciones de óxido como en algunos metales además de poder trabajar en ambientes corrosivos y pisos húmedos. Se seleccionó una llanta comercial Joyma, mod. 1102 tipo 6 TP diámetro exterior de 152mm, diámetro interior de 51 mm ancho de cara 17 mm, peso 1.2 kg, capacidad de carga de 210 kg. Como se muestra en la figura 5:

$$P = (W a) / r; \text{ donde } W \text{ peso en lb}$$

$$A = 0.1016, \text{ constante de resistencia a la rodadura,}$$

$$R = \text{radio de la llanta}$$

Donde se propuso un peso total de 800 kgf. A cada llanta le toca un peso de $200 \text{ kgf} = 441.91 \text{ lbf}$,

$$P = (440.91)(0.1016 / 7.6) = 5.89 \text{ lb}$$

El momento requerido para mover la llanta donde el radio es 3.543 in.

$$M = 5.89 \text{ lb} (3.543 \text{ in}) = 21.25 \text{ lbin} = (63025 \text{ Hpt}) / \text{RPM}$$

Se requiere que el vehículo tenga una velocidad constante de 1.2 m/s similar a al velocidad media de una persona caminando moderadamente lo cual equivale a $13.33 \text{ rad/s} = 127.3 \text{ RPM}$. Despejando los Hpt $= (21.25 \text{ lbin})(127.3 \text{ RPM}) / 63025 = 0.04293$ para cada llanta y $0.17175 \text{ Hpt} = 128.12 \text{ W}$ para las cuatro de la potencia requerida.

Se propone un motor comercial S.B.C. mod MB-70 a 180 V y una velocidad de salida de 1500 RPM a 155 W (0.20777 HP). La velocidad se regula modificando la tensión del inducido. El par máximo de acuerdo con la marca IEC 34.1 los motores pueden sobrecargarse con el 160% del par nominal durante 15 segundos cada 5 minutos.

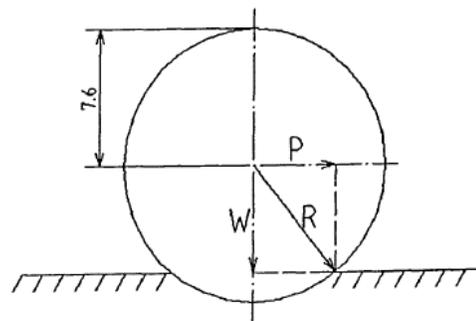


Fig. 6. Fuerzas implicadas en la rueda.

Tabla 1. Diseño de primer par de engranes.

DISEÑO DEL PRIMER PAR DE ENGRANES PARA TRACCIÓN A-B.		
DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	CANTIDAD
Caballos de Potencia (HP) ...HP		0.20777
Revoluciones Por Minuto (R.P.M.) ...R.P.M.		1500
Relación de Velocidad (R.V.)	$R.V. = (R.P.M.-Ent.) / (R.P.M.-SAL.)$	4
Distancia Entre Centros (c) ...in		3
Paso Diametral (Pd) ...in		20
No. Total de Dientes (Nt)	$Nt = 2 \cdot c \cdot Pd$	120
No. Dientes del Piñón (Ndp)	$Ndp = Nt / (R.V. + 1)$	24
No. Dientes del Engrane (Nde)	$Nde = Nt - Ndp$	96
Diámetro de Paso del Piñón (Øpp) ...in	$Øpp = Ndp / Pd$	1.2
Diámetro de Paso del Engrane (Øpe) ...in	$Øpe = Nde / Pd$	4.8
Factor de Forma del Piñón (Yp)	Yp	0.337
Factor de Forma del Engrane (Ye)	Ye	0.444

Tabla 2. Análisis sobre la base del elemento más débil.

MATERIAL:	Aleación de Aluminio Forjado	DENSIDAD DEL MATERIAL ...Kg/m ³
Resistencia a la Cadencia (Sut) ...lb/in ²	8000	2700
Esfuerzo de Trabajo (So) ...lb/in ²	$So = Sut / (0.50)$	4000
Velocidad Tangencial (Vt) ...Ft/min	$Vt = (p \cdot Øpp \cdot R.P.M.) / 12$	471.23890
Fuerza Tangencial (Ft) ...lb	$Ft = (33000 \cdot HP) / Vt$	14.54975
Fuerza Dinámica (Fd) ...lb	$Fd = ((1200 \cdot Vt) / 1200) Ft$	20.26343
Paso Circular (Pc) ...in	$Pc = p / Pd$	0.15708
Radio en la Raíz del Diente (r) ...in	$r = Pc / 20$	0.00785
Desendum (d) ...in	$d = 1.157 / Pd$	0.05785
Diámetro de Fondo (Øf) ...in	$Øf = Øpp - 2d$	1.09430
Longitud Recta en Diente (l) ...in	$l = (Øpp/2) \cdot (\sin(Ø/2) + \cos(Ø/2))$	0.05000
Ancho de Diente (t) ...in	$t = Øpp \cdot \sin(90/Ndp)$	0.07848
Diámetro Exterior del Piñón (Øep) ...in	$Øep = Øpp + (2 \cdot Pc / p)$	1.3000
Diámetro Exterior del Engrane (Øee) ...in	$Øee = Øpe + (2 \cdot Pc / p)$	4.9000
Factor de Concentración de Esfuerzos (Kf)	$Kf = (0.18 + (l/h)^{0.15}) \cdot (l/h)^{0.45}$	1.9101
Ancho de Cara (b) ...in	$b = (F_d \cdot K_f \cdot Pd) / (So \cdot Y_p)$	0.57428
Intervalo Permitido Para el Ancho de cara	Valor Mínimo (8.5Pd) ...in < b < Valor de	< Valor Máximo (12.5Pd) ...in
	0.4250	0.57428
Análisis de Seguridad al Desgaste (Fb) ...in	$Fd < (Fb \cdot (So \cdot b \cdot Y_p) / Pd)$	38.71
Se propone una Ancho de cara de ...in	b =	0.45
Por lo tanto Fb será ... lb	Fb =	30.33
		> 20.26343

Tabla 3. Cálculo para el segundo par de engranes.

DISEÑO DEL SEGUNDO PAR DE ENGRANES PARA TRACCIÓN C-D.		
DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	CANTIDAD
Caballos de Potencia (HP) ...HP		0.20777
Revoluciones Por Minuto (R.P.M.) ...R.P.M.		375
Relación de Velocidad (R.V.)	$R.V. = (R.P.M.-Ent.) / (R.P.M.-SAL.)$	2.94
Distancia Entre Centros (c) ...in		3
Paso Diametral (Pd) ...in		12
No. Total de Dientes (Nt)	$Nt = 2 \cdot c \cdot Pd$	72
No. Dientes del Piñón (Ndp)	$Ndp = Nt / (R.V. + 1)$	18.2741
No. Dientes del Engrane (Nde)	$Nde = Nt - Ndp$	53
Diámetro de Paso del Piñón (Øpp) ...in	$Øpp = Ndp / Pd$	1.58333
Diámetro de Paso del Engrane (Øpe) ...in	$Øpe = Nde / Pd$	4.41667
Factor de Forma del piñón (Yp)	Yp	0.314
Factor de Forma del Engrane (Ye)	Ye	0.412

Tabla 4. Análisis sobre la base del elemento más débil.

MATERIAL:	Aleación de Aluminio Forjado	DENSIDAD DEL MATERIAL ...Kg/m ³
Resistencia a la Cadencia (Sut) ...lb/in ²	8000	2700
Esfuerzo de Trabajo (So) ...lb/in ²	$So = Sut / (0.50)$	4000
Velocidad Tangencial (Vt) ...Ft/min	$Vt = (p \cdot Øpp \cdot R.P.M.) / 12$	155.44339
Fuerza Tangencial (Ft) ...lb	$Ft = (33000 \cdot HP) / Vt$	44.10873
Fuerza Dinámica (Fd) ...lb	$Fd = ((1200 \cdot Vt) / 1200) Ft$	49.82240
Paso Circular (Pc) ...in	$Pc = p / Pd$	0.26180
Radio en la Raíz del Diente (r) ...in	$r = Pc / 20$	0.01309
Desendum (d) ...in	$d = 1.157 / Pd$	0.09642
Diámetro de Fondo (Øf) ...in	$Øf = Øpp - 2d$	1.39050
Longitud Recta en Diente (l) ...in	$l = (Øpp/2) \cdot (\sin(Ø/2) + \cos(Ø/2))$	0.08333
Ancho de Diente (t) ...in	$t = Øpp \cdot \sin(90/Ndp)$	0.13593
Diámetro Exterior del Piñón (Øep) ...in	$Øep = Øpp + (2 \cdot Pc / p)$	1.7500
Diámetro Exterior del Engrane (Øee) ...in	$Øee = Øpe + (2 \cdot Pc / p)$	4.5833
Factor de Concentración de Esfuerzos (Kf)	$Kf = (0.18 + (l/h)^{0.15}) \cdot (l/h)^{0.45}$	1.9505
Ancho de Cara (b) ...in	$b = (F_d \cdot K_f \cdot Pd) / (So \cdot Y_p)$	0.92846
Intervalo Permitido Para el Ancho de cara	Valor Mínimo (8.5Pd) ...in < b < Valor de	< Valor Máximo (12.5Pd) ...in
	0.7083	0.92846
Análisis de Seguridad al Desgaste (Fb) ...in	$Fd < (Fb \cdot (So \cdot b \cdot Y_p) / Pd)$	97.18
Se propone una Ancho de cara de ...in	b =	0.75
Por lo tanto Fb será ... lb	Fb =	78.5000
		> 49.82240

En la figura 8 se muestra esquemáticamente la flecha del sistema de tracción.

La fuerza tangencial en los engranes A-B es 14.549 Lb. En C-D es de 0.873 Lb.

En la figura 9 se muestra el análisis de fuerzas de forma horizontal.

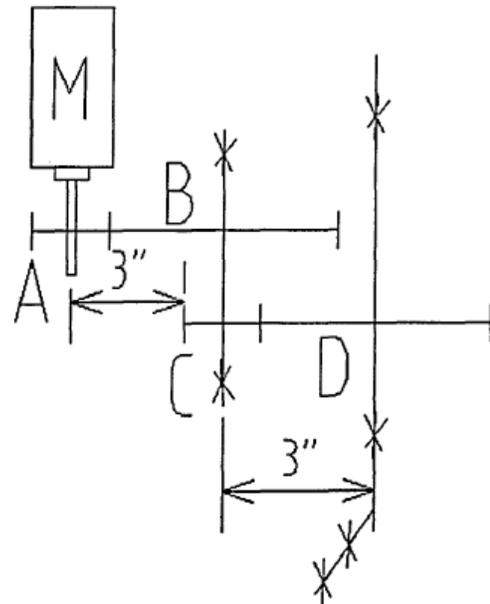


Fig. 7. Tren de engranes para tracción.

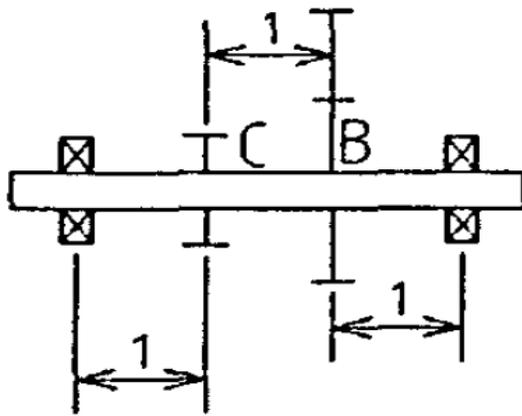


Fig. 8. Fuerzas implicadas en la rueda.

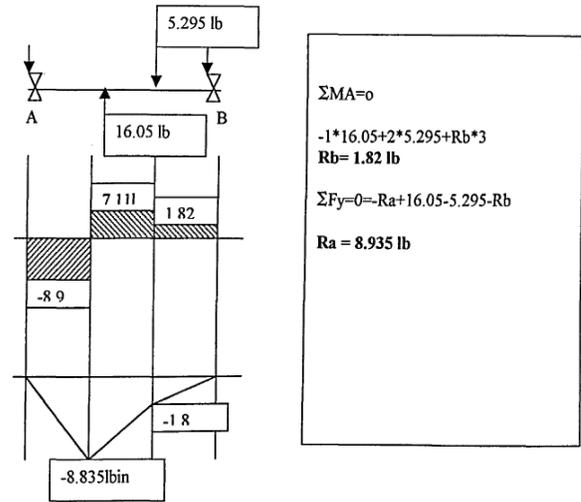


Fig. 10. Análisis de fuerzas en el eje y.

En la figura 10 se muestra el análisis de fuerzas en el eje y.

En los diagramas de las figura 9 y 10 se observa el valor del esfuerzo flexionante máximo y su localización en ambos planos, para obtener el valor resultante de dicho esfuerzo, debido a su proyección vertical y horizontal, se encuentra:

Momento flexionante máximo: $[(Mf_y)^2 + (Mf_x)^2]^{1/2}$

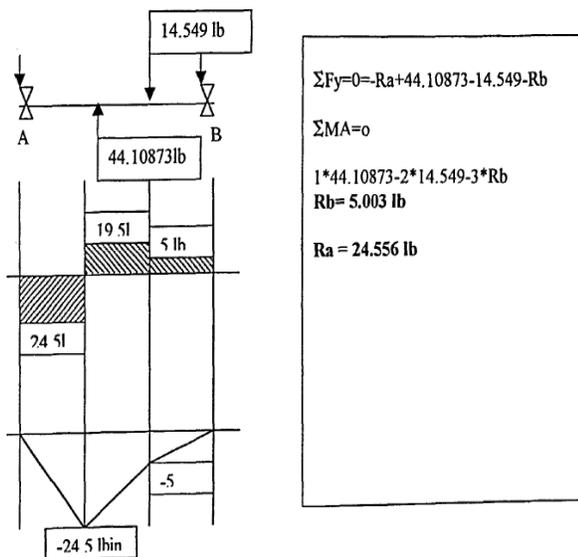


Fig. 9. Análisis de fuerzas en el eje x.

$$[(24.556 \text{ lbin})^2 + (8.935 \text{ lbin})^2]^{1/2} = 26.13 \text{ lbin}$$

Momento torsionante máximo que soporta la flecha:

$$M_t = (63025 * 0.20777)/375 \text{ lbin} = 34.9192 \text{ lb}$$

El material que se propone para la flecha es un SAE 1018. Con la fórmula se calcula el diámetro mínimo de la flecha:

$$d = \sqrt[3]{\left[\frac{16}{\pi(8000)}\right] \sqrt{(34.9192(1))^2 + (26.13(1.5))^2}}$$

$$d = 0.3221 \text{ in}$$

La deformación angular debido al momento otcinante, se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\theta = \frac{584ML}{Gd^4} = (584)(34.9192)\text{lb-in}(2)\text{in}/[12 \times 10^6 \text{ lb/in}^2(0.3221 \text{ in})^4]$$

$$\theta = 0.3157^\circ$$

Con respecto al diseño del tornillo de potencia, se muestra en la figura 11 el esquema de dicho tornillo.

Área de esfuerzos de tornillo de bolas:

$$\frac{\pi}{4} \left[\frac{dp + dr}{2} \right]^2$$

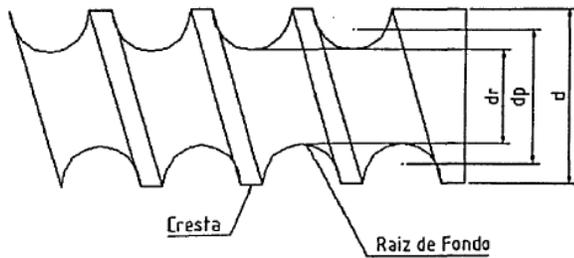


Fig. 11. Esquema del tornillo de sistema de tracción.

Donde d_p es el diámetro de paso, d_r es el diámetro menor. Para que el diseño del tornillo quedara en movimiento es necesario tener un parámetro como el esfuerzo de trabajo a la compresión, el cual se calcula:

$$\sigma = \frac{\text{fuerza axial}}{At}$$

T_u es el par de torsión para elevar la carga p

$$T_u = T_{su} + T_c = \frac{pd_p(\mu\pi d_p + L)}{2(\pi d_p - \mu L)} + \pi_c p \frac{d_c}{2}$$

Donde d_c es el diámetro medio del collarín. Se logra una reducción significativa en la fricción de las roscas mediante tornillos de bolas, que utilizan en la tuerca un tren de cojinetes de esferas. La baja fricción de los tornillos de bolas hacen que puedan ser impulsados en ambos sentidos. Por lo cual no existe autobloqueo.

Se propone un tornillo comercial de rosca basta UNC con las siguientes características.

$$D = 2.5 \text{ in}$$

$$N = 4 \text{ hilos por pulgada}$$

$$d_r = 2.1752 \text{ in}$$

$$\text{Paso} = 0.25 \text{ in}$$

$$d_p = d - 0.649519/N$$

$$\text{Carga}, p = 168 \text{ lb}$$

Cabe de nuevo aclarar que el presente trabajo muestra solo el sistema de tracción del vehículo propuesto los sistemas de control y procesamiento de datos se podran mostrar en trabajos futuros.

3. Conclusiones

Se puede concluir que la implementación del vehículo guiado que se propone es una inversión que se pretende recuperar en un lapso de un año si, y solo si, los operarios actuales se reubican en otra actividad dentro de la planta de producción. Con este vehículo se incrementa la efectividad del sistema *just in time*, ya que el vehículo tendría tareas programadas sin descensos ni paros de línea por falta de material y mejoramiento del control del inventario.

Es posible capacitar al personal en la logística de entrega de materiales con el vehículo guiado, conservando su actividad original.

Referencias

- [1] NOF, Simon Y. *Handbook of Industrial Robotics*. United States of America, John Wiley, Inc. 1999., 2a ed., pp.964-967.
- [2] Schneider, W. *Manual práctico de dibujo técnico*. Barcelona Reverte, 2a ed.
- [3] French., T. E. *Diseño e ingeniería*. México: Mc Graw Hill. 1990, 3a ed.
- [4] CEAC, Formulario de elementos de máquinas. España CEAC S.A. 1977. 2a. ed.
- [5] Deutschman, Aarón D. *Diseño de máquinas teoría y práctica*. México: CECSA. 1998. 8a ed.
- [6] Norton. Robert L. *Diseño de máquinas*. México Prentice may Hispanoamericana, 1999.
- [7] Singer, Ferdinand, L. *Resistencia de materiales*. México, Oxford. 4a ed.
- [8] McCloy, D. *Robótica, una introducción*, México Limusa.1993.
- [9] Keramas, James G. *Robot Technology Fundamentals*, United States of America, Delmar Publishers, 1999.
- [10] Ollero, Baturone A., *Robótica, manipuladores y robots móviles*. Alfa Omega: Marcombo, 2001. pp. 64-114.

Estudio antropométrico de la población mexicana masculina laboralmente productiva

Axel Ivar **Rangel-Elizalde**

Instituto Patria Bosques de Aragón
Blvd. de los Continentes s/n, Col. Bosques de Aragón,
CP 57150, Nezahualcóyotl, Estado de México.
MÉXICO.

correo electrónico (email): rangel.ai@hotmail.com

Recibido 11-12-2013, aceptado 20-05-2014.

Resumen

En el México de hoy, el bienestar físico y mental durante el proceso productivo resulta de vital importancia, ya que las personas dependen directamente de la correcta relación entre los diversos factores que afectan directa o indirectamente los espacios vitales en donde se desenvuelven al momento de realizar sus labores. En apoyo a esto surge la antropometría, la cual sirve para identificar las características físicas de una cierta muestra poblacional y con esto poder diseñar los espacios de trabajo de acuerdo a este tipo de individuos. En la presente investigación se presenta el desarrollo de un estudio antropométrico en una muestra poblacional de varones de origen mexicano y en edad laboralmente productiva (18-65 años), con la finalidad de caracterizar las dimensiones antropométricas de esta población y con esto realizar un eficaz diseño de un área de trabajo para, así, garantizar un aumento en la calidad de vida de dichos trabajadores.

Palabras clave: antropometría, espacios de trabajo, calidad de vida.

Abstract (Anthropometric Study in a Sample Population of Mexican Males in Occupationally Productive Age)

In our days Mexico, physical and mental well-being during the production process is vital, because people are directly dependent on the proper relationship between the various

factors that directly or indirectly affect the habitats in which they operate when making their work. In support of this comes anthropometry, which serves to identify the physical characteristics of a certain population sample and thereby be able to design workspaces according to such individuals. In this research it presents the development of an anthropometric study in a sample population of Mexican males in occupationally productive age (18-65 years), in order to characterize the anthropometric population dimensions and through this make an effective design of workspace for these individuals, which may ensure an increase in the quality of life of these workers.

Key words: anthropometry, workspace, quality life style.

1. Introducción

En el mundo de hoy, el bienestar físico y mental, la salud, la eficiencia y la eficacia en las actividades realizadas por las personas dependen directamente de la correcta relación entre los diversos factores que afectan directa o indirectamente los espacios vitales en donde se desenvuelven al momento de realizar sus labores, a lo que se le conoce como sistema hombre-máquina, el cual especifica que las interrelaciones existentes entre estos elementos se pueden clasificar en relaciones dimensionales, informativas, de control, ambientales, temporales, entre otros.

El término ergonomía es reciente, aunque la idea de mejorar el estado del trabajador viene desde hace tiempo, como se puede revisar en los estudios realizados: 1. Smith [1] menciona la importancia en que un operario se concentre en una actividad a la vez y describe que la secuencia de la división del trabajo ocasiona un aumento proporcional en las facultades productivas del trabajador, 2. Winslow-Taylor [2] enfatiza que no es suficiente la división del trabajo; sino también de un estudio minucioso acerca de las condiciones del área de trabajo, 3. Coriat [3] menciona en sus investigaciones la importancia en fomentar un incremento en la eficiencia y eficacia por parte del trabajador al momento de realizar cada una de sus tareas o actividades, 4. Marx [4]

enuncia en una investigación la importancia de la incorporación del ser humano al proceso productivo, es decir, que aunque el trabajador no posea el control total sobre el saber y el poder, pero sí en la relación con el proceso de integración, 5. Uccelli [5] afirma mediante una investigación que el operario es una variable privilegiada y que las máquinas y el ambiente son dependientes del trabajador. 6. Pheasant [6] considera que la fragmentación de las actividades son insatisfactorias, no solo porque son psicológicamente no recompensadas; sino que también porque frecuentemente envuelven posturas de trabajo fijas y con esto ocasionan cargas en grupos musculares específicos, las cuales generan lesiones en partes específicas del cuerpo humano.

Para el diseño óptimo de un puesto de trabajo, es de suma importancia considerar desde el nacimiento de la idea o necesidad, hasta premisas de carácter grave, con lo cual se lograría el cumplimiento de los conceptos o actividades básicas desarrolladas por el operario en el cumplimiento de sus tareas específicas. Con base en lo anterior, se abordan tres tipos de relaciones fundamentales para el desarrollo del presente trabajo:

Relaciones dimensionales. Tienen como objetivo, buscar la compatibilidad entre las medidas antropométricas dinámicas de los distintos usuarios potenciales con las diversas formas, estructuras y dimensiones del área de trabajo, con lo cual se pretende garantizar que las personas o usuarios se encuentren en situaciones adecuadas en relación a su bienestar físico y psicológico, durante el tiempo que dure su jornada laboral.

Relaciones informativas. Este tipo de relaciones se enfoca en analizar la compatibilidad necesaria entre la capacidad de percepción de la información dirigida hacia el operario antes y durante la jornada laboral y su capacidad para recibirla y codificarla de manera adecuada, esto mediante el cumplimiento de las instrucciones otorgadas por medios sonoros, visuales y táctiles.

Relaciones de control. Analizan la compatibilidad entre las necesidades de los usuarios para poder regular las máquinas, actividades y procesos de una manera eficiente, segura, rápida y eficaz, mediante la utilización de los mandos apropiados para cada una de las actividades a realizar por parte del usuario final.

Relaciones ambientales. Relacionan la compatibilidad de los operarios con el ambiente (ruido, clima, luz), el cual tiene la capacidad de afectar el desempeño del usuario en la realización de sus tareas o actividades cotidianas [7].

Es de suma importancia destacar que la intención del presente trabajo es realizar una investigación referente a las medidas antropométricas del varón laboralmente productivo en México, con lo cual se pretende a futuro, realizar un diseño ergonómico y antropométrico adecuado hacia este tipo de individuos, mediante el cual se cumpla con las necesidades básicas de todos los usuarios sin importar edad, sexo o discapacidad. Por lo cual, es de suma importancia destacar que los factores externos que actúan sobre el usuario, lo convierten en un elemento único, ya que difícilmente estará sometido a las mismas condiciones ambientales (niveles de iluminación, colores, sombras, contrastes, difusión de la luz, tamaño de los objetos, el tiempo de duración y los movimientos de los estímulos visuales), así mismo, ocurre con los fenómenos o condiciones relacionadas al sonido.

Por lo cual, el presente trabajo debe de considerar un adecuado proceso de medición, con el cual se podrá garantizar la confiabilidad de dicho estudio, el cual servirá como referencia para futuras investigaciones y diseños de espacios físicos en donde el usuario tendrá que desarrollar de manera correcta y óptima las actividades relacionadas a su puesto.

2. Desarrollo

2.1. Relaciones dimensionales

El principio fundamental de nuestra investigación, se basa en la premisa por parte de la ergonomía, la cual enuncia que todas nuestras decisiones de diseño se deben de regir en la adaptación de las actividades a las capacidades y limitaciones de cada uno de nuestros usuarios, y no en lo contrario. Las medidas del cuerpo humano son muy numerosas debido a múltiples factores (edad, raza, sexo, etc.), pero debemos resaltar que para el diseño de esta investigación únicamente se tomaran en cuenta las medidas específicamente necesarias para la realización adecuada de las actividades laborales. Con base en esto, como primer paso se deberá de analizar de forma minuciosa las medidas antropométricas que se necesi-

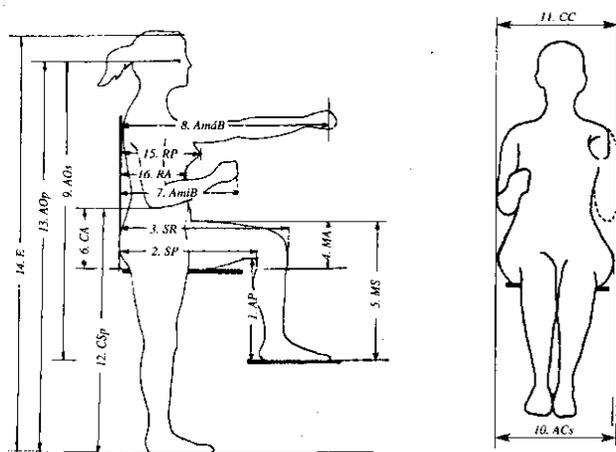


Fig. 1. Dimensiones antropométricas básicas para el diseño de un puesto de trabajo.

taran para el diseño adecuado de un conjunto de área de trabajo (véase Fig. 1).

Considerando la Fig. 1, las dimensiones necesarias para el correcto diseño de un área de trabajo son todas las medidas referentes al cuerpo humano, incluyendo las variaciones existentes en un individuo cuando se encuentra en pie o de manera sentada, esto mediante la aplicación del concepto de que el operario es el elemento más importante en cualquier proyecto de diseño.

Se procedió a la realización de un estudio acerca de las dimensiones del operario originario del valle de México, mediante la realización de un estudio antropométrico con apoyo de un sistema de medición manual (antropómetro comercial, estadiómetro, cinta métrica, plano vertical de referencia y una balanza clínica convencional, véase Fig. 2) con la finalidad de reducir la poca precisión provocada por estudios de realizados a partir de imágenes fotográficas o videos.

Es de suma importancia destacar que además del material de medición convencional, se utilizara una silla antropométrica, la cual sirve para tomar las medidas del sujeto sentado (medidas fundamentales para el desarrollo de la presente investi-



Fig. 2. Volumen de trabajo de un robot.

gación). Dicha silla consta de una silla con asiento paralelo al suelo y respaldo perpendicular al mismo; así como de un dispositivo que facilite el desplazamiento vertical de la silla, esto con el objetivo de variar la altura del asiento con referencia al nivel del suelo, el cual deberá de estar totalmente nivelado con la finalidad de lograr un estudio fiable en la medición de los requerimientos necesarios para el desarrollo de este trabajo de investigación. Es relevante destacar que las mediciones se realizaron en una muestra significativa de 100 varones dedicados a la industria, de origen mexicano y entre 18 a 65 años de edad, la selección de los individuos para la realización de esta muestra fue considerando únicamente los usuarios potenciales del puesto de trabajo, esto mediante un análisis de necesidades y una investigación de mercado realizada en una importante empresa de producción en serie.

2.2. Resultados

Los valores obtenidos mediante la realización del presente estudio, se presentan en tres diferentes características o percentiles, los cuales indican una medida de tendencia, es decir, el porcentaje de casos por debajo de esta medida.

Tabla 1. Dimensiones antropométricas espécimen de pie.

Descripción	Percentil (5%)	Percentil (50%)	Percentil (95%)
Peso (kg)	55.46	70.26	96.55
Estatura (cm)	162.12	170.86	185.67
Altura de pie			
Ojos (cm)	151.28	159.14	174.36
Hombros (cm)	132.46	141.03	155.29
Codos (cm)	94.78	103.45	117.16
Cintura (cm)	96.29	105.36	120.32
Trasero (cm)	57.34	65.39	80.15
Muñeca (cm)	63.43	70.92	85.31
Ancho de brazos extendidos (cm)	146.23	154.78	176.14
Longitud de brazos extendidos (cm)	56.21	66.89	72.35
Ancho de los hombros (cm)	43.72	55.90	63.34
Ancho del pecho (cm)	37.54	46.62	52.21
Ancho de las caderas (cm)	41.27	52.36	59.83
Ancho de la cabeza (cm)	48.52	58.96	68.35

3. Conclusiones

Una vez realizadas las mediciones antropométricas de una muestra significativa de 100 individuos, se puede concluir que el presente trabajo contribuirá al diseño de nuevos puestos de trabajo y con esto mejorar las seguridad, comodidad y rendimiento de los individuos.

Además de reducir los problemas músculo-esqueléticos producidos por malas posturas tomadas por parte de los individuos en el intento de cumplir eficazmente con su trabajo.

De la misma manera, es importante destacar que los resultados de las pruebas son correctos y confiables, ya que todos los procesos de medición se realizaron de acuerdo a la normas UNE-EN ISO 7250 (Descripción de las medidas antropométricas) [8], UNE-EN ISO 15535 (Requisitos a cumplir mediante la realización del estudio) [9], UNE-EN ISO 20685 (Metodología de exploración tridimensional para la base de datos antropométricos) [10]

Tabla 2. Dimensiones antropométricas espécimen sentado.

Descripción	Percentil (5%)	Percentil (50%)	Percentil (95%)
Peso (kg)	55.46	70.26	96.55
Estatura (cm)	162.12	170.86	185.67
Altura sentado			
Altura de la cabeza 'desde el asiento'*			
(cm)	72.63	80.37	93.96
Altura de los ojos *			
(cm)	68.35	75.93	88.94
Altura de los hombros * (cm)	53.03	59.85	72.38
Altura de los codos*(90°)(cm)	22.23	28.83	39.52
Altura de los muslos * (cm)	13.42	16.34	18.73
Altura del dedo medio *, brazos arriba (cm)	124.20	137.52	151.30
Altura del puño * brazos arriba (cm)	113.27	126.83	140.24
Longitud desde el musculo poplíteo hasta trasero(cm)	42.38	49.38	57.23
Distancia rodillas hasta trasero(cm)	43.72	55.90	63.34
Altura desde el suelo hasta músculo poplíteo (cm)	38.83	44.28	52.27
Altura desde el suelo hasta rodillas(cm)	46.45	52.74	63.83
Ancho de la espalda con los brazos extendidos hacia adelante (cm)	40.62	46.84	51.22
Ancho de la cadera (cm)	33.64	41.73	48.72
Ancho de los muslos (cm)	31.53	39.26	46.55
Longitud del pie (cm)	22.5	26.2	28.8
Ancho del pie (cm)	10.12	12.23	14.82
Altura del empeine (cm)	5.6	7.1	8.4

Se recomienda para el uso de esta información, la utilización del percentil 95, ya que durante el diseño de algún puesto de trabajo, este índice satisface con el 95 % de los individuos estudiados en la elaboración de esta investigación.

Referencias

- [1] Smith A. *Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*, México, FCE; pp: 10-11 (1958).
- [2] Winslow Taylor F. *Principios de la administración científica*, 11: pp 149 (1991).
- [3] Coriat B. *El taller y el cronometro, ensayo sobre el taylorismo, el fordismo y la producción en masa*; 6: pp. 47 (1991).
- [4] Marx C. *El capital*; 16(2): pp 462 (1991).
- [5] Ucelli S.E. *La ergonomía clásica y la nueva ergonomía*; IMSS México: pp 191 (1991).
- [6] Pheasant S. *Ergonomía: Work and Health*; Mc Millan Press: pp 13 (1991).
- [7] Mondelo P. *Ergonomía 3: Diseño de puesto de trabajo*; *Mutua Universal*, Universidad Politécnica de Catalunya (2013)
- [8] Asociación española de normalización y certificación. *Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo humano y referencias*. UNE-EN ISO 7250 (2010).
- [9] Asociación española de normalización y certificación, AENOR. *Requisitos generales para el establecimiento de bases de datos antropométricos*. UNE-EN ISO 15535 (2007).
- [10] Asociación española de normalización y certificación, AENOR. *Metodología de exploración tridimensional para establecer bases de datos antropométricos compatibles de ámbito internacional*. UNE-EN 20685 (2006).

Sistema de Información Científica REDALYC

www.redalyc.org

Científica

indizada en

Latindex

Sistema Regional de Información en Línea
para Revistas Científicas de América Latina,
el Caribe, España y Portugal.

www.latindex.org

Periódica

Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.

http://132.248.9.1:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=PER01

Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina
y el Caribe, España y Portugal.

Sistema de Información Científica Redalyc.

www.redalyc.org

Análisis mecánico-estructural de una grúa auxiliar para el traslado de pacientes con problemas de movilidad aplicando el método de extensometría y simulación FEM

Carlos Eduardo **Legorreta-Correa**

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Unidad Azcapotzalco.
Av. de Las Granjas 682, Azcapotzalco, Santa
Catarina, 02250 Ciudad de México, CP 07738.
MÉXICO.

correo electrónico (email):
carloslegorreta@live.com.mx

Recibido 14-04-2014, aceptado 30-09-2015.

Resumen

En este trabajo se presentan resultados de pruebas numéricas y experimentales, utilizando el método de extensometría efectuadas a una grúa auxiliar diseñada originalmente con la finalidad de facilitar el traslado de pacientes con problemas de movilidad dentro de hospitales. Las pruebas experimentales consistieron en simular el efecto de cargar completamente a una persona de hasta 200 kg (1962 N) de peso, esto sin considerar movimientos laterales en la horquilla en donde se engancha el arnés que precisamente realiza esta función. Se utilizaron discos de pesas de 15 y 20 kg, los cuales fueron colocadas de manera gradual a fin de tener diferentes estados de carga, con aumentos progresivos de 20 kg hasta llegar a 200 kg. En cada punto (estado de carga) se registraron las deformaciones en los puntos críticos de varios de los elementos que componen a la grúa, usando para ello galgas extensométricas (*strain gauges*) que previamente fueron instrumentadas en la grúa.

Para el caso de las pruebas numéricas se utilizó primeramente el software CAD de SolidWorks® 2014 para realizar el modelado y ensamble de los componentes de la grúa auxiliar. Posteriormente con ayuda del software CAE de ANSYS® Workbench 15.0 se hicieron simulaciones en el modelo de la

grúa considerando los pesos usados en las pruebas experimentales. Finalmente se presenta una comparación de los resultados obtenidos en ambas pruebas, numéricas y experimentales, mostrando e interpretando la variación.

Palabras clave: galgas extensométricas, extensometría, análisis estructural, simulación numérica, método del elemento finito (MEF).

Abstract

(Experimental and Numerical Validation of an Auxiliary Crane for the Transfer of Patients with Mobility Problems, Applying the Method of Extensometry and FEM Simulation)

In this paper results of numerical and experimental test are presented, using the method of extensometry applied to an auxiliary crane originally designed to facilitate the transfer of patients with mobility problems inside hospitals. The experimental tests consisted in to simulate the effect of carrying a person with a weight up to 200 kg (1962 N.), this without considering lateral movement in the fork where is engaged the harness that precisely performs this function. Discs weights of 15 and 20 kg were used, which were placed gradually in order to have different load conditions, with progressive increases of 20 kg up to 200 kg at each point (load condition) deformations were recorded in the critical points of the various elements that shape the crane, using for this strain gauges that were previously implemented in the crane. In the case of the numerical tests, the CAD software SolidWorks® 2014 was firstly used for modeling and assembling the components of the auxiliary crane. Later with the help of CAE software ANSYS® Workbench 15.0, simulations on the model of the crane were made considering the weights used in the experimental tests. Finally, a comparison of the results obtained in both tests, numerical and experimental are presented, showing the variation between them and interpreting the reason for this.

Key words: strain gauges, extensometry, structural analysis, numeric simulation, Finite Element Analysis (FEA).

1. Introducción

La necesidad de facilitar el manejo de pacientes con las limitaciones de movilidad, que provocan padecimientos como la paraplejía, tetraplejía y bariatría, ha llevado a los ingenieros mecánicos a trabajar en el campo de la biomecánica para diseñar y crear diferentes tipos de dispositivos o máquinas que faciliten el traslado de este tipo de personas.

La calidad de vida de un paciente con problema de movilidad la mayoría de las veces es menor que la de una persona clínicamente sana. Lo anterior se debe al hecho de tener que realizar cualquier actividad física sufriendo las complicaciones consecuentes de tener una lesión o cualquier otra anomalía que implique daño motriz en la persona en cuestión. La complejidad para que el individuo pueda moverse depende directamente de la complejidad de la lesión, lo cual repercute además en el nivel de independencia del paciente y en los recursos que requerirá para llevar una vida lo más normal posible.

En el documento que se presenta a continuación se reportan los resultados del análisis estructural realizado a la grúa auxiliar para el transporte de personas con problemas de movilidad, propiedad de la empresa "Acceso Sin Límites", utilizando simulación numérica mediante el software de elemento finito (FEM) ANSYS® Workbench 15.0 y aplicando también el método experimental de galgas extensométricas (extensometría), con el fin de determinar la carga máxima que podría soportar la máquina (grúa) además de hacer las observaciones y recomendaciones correspondientes en lo que se refiere al diseño y manufactura de la misma.

2. Desarrollo

2.1. Aplicación del método de extensometría

Las pruebas se realizaron colocando peso sobre la canasta (arnés) de la grúa, aumentándolo gradualmente de 20 en 20 kg hasta llegar a 200 kg. En el caso de las galgas se tomaron lecturas en cada momento de la prueba (0 kg, 20 kg, 40 kg, ..., 200 kg).

2.1.1. Materiales y herramientas utilizadas

- 18 galgas extensométricas marca Vishay MicroMeasurements® con una resistencia eléctrica de 120 Ω
- Tester marca Vishay Micro-Measurements®

- Puente de Wheatstone (Medidor de deformaciones lineales) marca Vishay Micro-Measurements®
- 30 m de cable calibre #26 de 7 polos
- Soldadura
- Cautín
- Pasta para soldar
- Pegamento para galgas Vishay Micro-Measurements®
- Catalizador marca Vishay Micro-Measurements®
- Desengrasante marca Vishay Micro-Measurements®
- Neutralizador marca Vishay Micro-Measurements®
- Gasas
- Escuadra o regla graduada
- Lápiz 2H
- Cinta Celofán marca Vishay Micro-Measurements® M-Bond 200
- Hoja de papel con eje de coordenadas referencial trazado sobre ella
- Vidrio de apoyo para el pegado de galgas
- Prensa tipo de uso en carpintería
- 2 Pesas de 500 g, 2 pesas de 200 g y 1 de 100 g
- Lija de grano #600, 1000 y 2000

2.1.2. Procedimiento de instrumentación

Primeramente se marcaron áreas de aproximadamente 1 x 1 cm en las zonas consideradas como críticas (donde se estima que se presente el mayor esfuerzo debido a la carga) en cada uno de los elementos que componen a la grúa. Estas áreas fueron delimitadas utilizando cinta mazquin. Para cada punto de estudio se tienen 2 áreas marcadas, una en la parte superior del elemento y otra en la parte inferior del mismo, debido a que, de acuerdo con las condiciones de trabajo de la grúa (flexión), se espera que el mayor esfuerzo a tensión en los elementos se encuentre precisamente en su parte media superior y el mayor esfuerzo a compresión en su parte media inferior.

Posteriormente, con la ayuda de removedor de pintura y lijas de distintos tipos, se procedió a limpiar y pulir las áreas marcadas, a fin de obtener un acabado tipo espejo, con la menor rugosidad superficial posible y la mayor claridad en la zona, necesaria para el correcto trazo de ejes de referencia y posterior colocación de las galgas.

Una vez listas las superficies de cada uno de los puntos de estudio, se procedió a trazar ejes de referencia auxiliares para la correcta alineación de la galga al momento de pegarla. Para marcar dichos ejes se utilizaron escuadras y lápices de punta 2H, teniendo en cuenta que no se debía hacer una presión



Fig. 1. Delimitación de las áreas o puntos críticos a estudiar en la grúa.

excesiva con el lápiz a fin de evitar la creación de concentradores de esfuerzos debido a las líneas dibujadas.



Fig. 2. Aplicación del removedor de pintura sobre las áreas en donde posteriormente se pegaron las galgas extensométricas.



Fig. 3. Zonas de interés del marco, libres de pintura y listas para ser marcadas con los ejes de referencia para pegar las galgas.

Pegado de las galgas. Para pegar las galgas se siguió al pie de la letra el procedimiento indicado por el proveedor Vishay Micro Measurements®, el cual nos indica que una vez que se tienen los ejes de referencia trazados en el área en donde se pega la galga, se procede a limpiar con desengrasante y neutralizador el lugar. Después se colocó catalizador en el lugar que ocuparía la galga en la pieza al ser pegada y se dejó secar por aproximadamente 30 segundos. Posterior a ello, se añadió una gota del pegamento especial sobre la galga y se

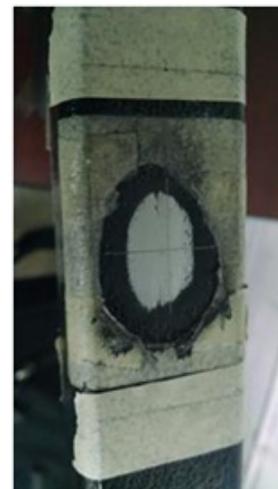


Fig. 4. Ejes de referencia marcados en una de las áreas que fue instrumentada con galga extensométrica.



Fig. 5. Galga pegada y alineada con los ejes de referencia trazados.

procedió a colocarla en el área en donde fue puesto el catalizador, teniendo extremo cuidado de no tocar la galga directamente con las manos, por lo mismo fue necesario el uso de guantes, pinzas y cinta celofán.

Al momento de pegar la galga y una vez que se tenía colocada en el punto deseado, el manual del proveedor indica que se debe hacer presión con el dedo pulgar apoyado sobre la cinta celofán que cubre la galga extensométrica durante aproximadamente 1 minuto para que la temperatura corporal ayude a que la adhesión con la superficie se diera mejor.

Se utilizaron dos tipos de galgas extensométricas (*strain gages*) marca MicroMeasurements. El primer tipo (tipo A) son modelo EA-06-120LZ-120/E de 120 ohms de resistencia y factor de gal-



Fig. 6. Imagen que muestra el procedimiento de hacer presión directamente con el dedo pulgar sobre la cinta celofán que cubre la galga recién pegada, a fin de ayudar en la adhesión de la misma con la superficie.



Fig. 7. Retiro de la cinta celofán de una de las galgas pegadas.

ga de 2.08 y el segundo tipo (tipo B) son modelo EF-06-120LZ-120/E de 120 ohms de resistencia y factor de galga de 2.14.

Retiro de la cinta celofán. Después de dejar secar el pegamento con el que fueron pegadas las galgas a la grúa, aproximadamente una hora, se procedió a retirar la cinta celofán que las protegía, teniendo mucho cuidado de no hacerlo de manera que se pudieran inducir esfuerzos residuales en la galga o despegarla parcial o totalmente. La técnica correcta indica que se debe hacer lentamente y procurando que el dedo que sostiene el extremo de la cinta celofán describa una trayectoria paralela y lo más cercana posible a la longitud de la galga extensométrica.

Soldado de los alambres conductores a las galgas. Antes de soldar los alambres conductores a las terminales de las galgas, se estañaron sus puntas para tener mayor precisión al momento de llevarlos a la galga.



Fig. 8. Estañado de las puntas de los alambres conductores que posteriormente serían soldadas a las galgas extensométricas.



Fig. 9. Soldado de los alambres conductores a una de las galgas.

Ya con las puntas estañadas de los alambres conductores, se procedió a soldarlos en los terminales de la galga, considerando la configuración indicada en el manual de instrumentación de Vishay Micro Measurements®, que indica que dos de los alambres deben de soldarse juntos (trenzados) en una de las terminales de la galga y la otra punta (alambre) se suelda solo en la otra terminal. Otra consideración importante fue la de no tocar las terminales de la galga directamente con el caudín al momento de soldar, porque se corre riesgo alto de quemar el circuito de la misma.

Para comprobar que los cables conductores estuvieran correctamente soldados a las terminales de la galga extensométrica se utilizó el Gage Installation Tester marca Vishay Micro Measurements®, sabiendo que para que esto fuera así, la resistencia medida por el aparato debía ser de 120 ohms precisamente.



Fig. 10. Procedimiento para comprobar un correcto soldado de los alambres conductores en la galga.



Fig. 11. Imágenes de la grúa completamente instrumentada con galgas extensométricas listas para ser utilizadas en las pruebas.

La instrumentación de galgas extensométricas fue realizada en los puntos críticos de cada elemento, considerando que todos ellos se encuentran a flexión debido al funcionamiento de la grúa, es evidente que la mayor deformación se tiene en los puntos medios, específicamente en los extremos superior



Fig. 12. Pesas utilizadas para la realización de las pruebas en la grúa.



Fig. 13. Imagen de la grúa cargando 36 kg.

e inferior de cada componente, es ahí en donde se colocaron las galgas. Para la medición de las deformaciones unitarias con las galgas se usó un puente de Wineston de 4 canales con la marca Vishay-MicroMeasurements® y se consideró dependiendo el tipo de galga (se usaron 2 tipos: A y B) un factor de galga de 2.08 y 2.14, el cual fue introducido en el puente de Wineston previo a la realización de las pruebas.

2.2. Simulación numérica en ANSYS® Workbench 15.0

El modelado de los componentes de la grúa y su correspondiente ensamble se realizó utilizando el software de CAD SolidWorks® 2014.

Para la simulación, el archivo del ensamble final se exportó hacia la plataforma CAE de ANSYS® Workbench 15.0 para



Fig. 14. Medidor de deformaciones (Puente de Wineston) Modelo P3 Marca Vishay Micro Measurements®, utilizado durante las pruebas realizadas a la grúa.

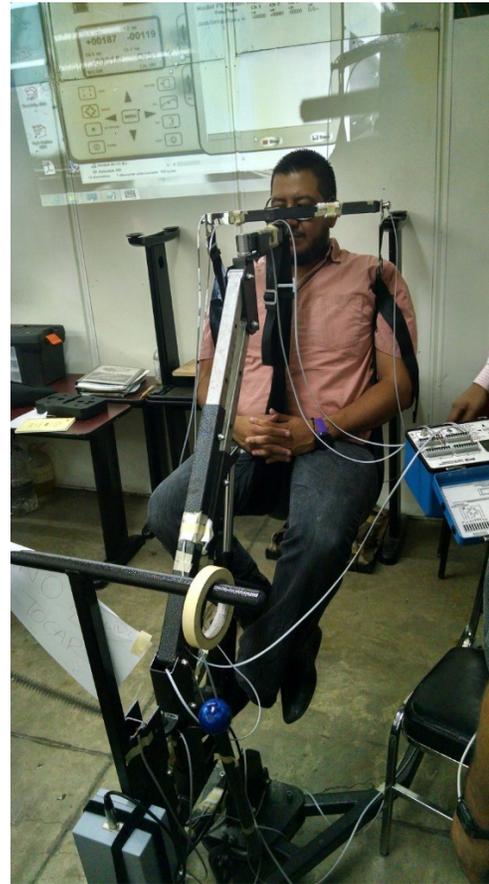


Fig. 15. Prueba de la grúa en donde se muestra el brazo telescópico completamente extendido y en posición máxima, utilizando a una persona de alrededor de 120 kg.

realizar ahí las correspondientes análisis, a fin de obtener los valores máximos de desplazamientos para cada valor de carga aplicada (intervalos de 20 kg: 0, 20, 40, 60, ..., 200).

En la sección inferior de la grúa, la cual incluye a partir del pedestal de la misma y continúa hasta las patas, fueron colocados en los puntos de apoyo del marco de carga los valores de las fuerzas y los momentos transmitidos desde la sección superior. Para el caso de 200 de carga en los botones laterales de la horquilla, la fuerza en el punto *E* es de 1073 N y en el punto *F* de 889 N.

Para el caso de 200 de carga en los botones laterales de la horquilla, la fuerza en el punto *E* es de 1073 N y en el punto *F* de 889 N.

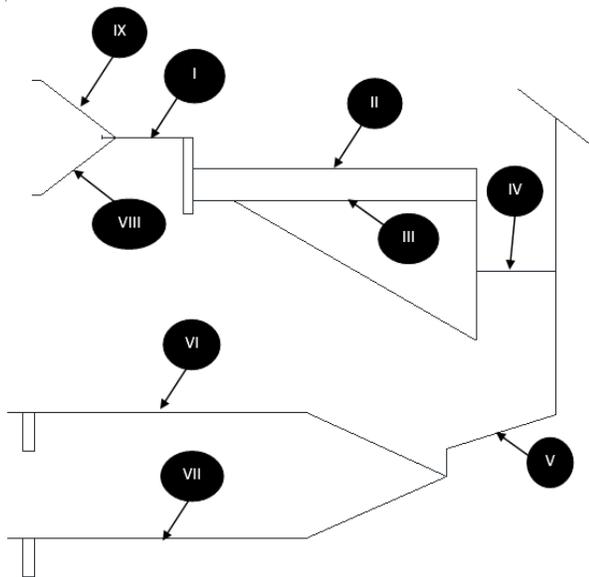


Fig. 16. Identificación de puntos en donde fueron pegadas galgas a fin de conocer las microdeformaciones en esas zonas (zonas críticas).

Tabla 1. Ubicación y nomenclatura de las galgas instrumentadas en la grúa.

GALGA	UBICACIÓN
1	VI SUPERIOR
1a	VI INFERIOR
2	VII SUPERIOR
2a	VII INFERIOR
5	IV SUPERIOR
6	IV INFERIOR
7	V SUPERIOR
8	V INFERIOR
A	II SUPERIOR
B	II INFERIOR
C	III SUPERIOR
D	III INFERIOR
E	I SUPERIOR
F	I INFERIOR
G	IX SUPERIOR
H	IX INFERIOR
I	VIII SUPERIOR
J	VIII INFERIOR



Fig. 17. Ensamble final de la grúa en SolidWorks® 2014.

Tabla 2. Valores de las fuerzas (N) en los puntos A y B, al cargar la grúa con diferentes magnitudes de masa (kg).

	SECCIÓN SUPERIOR	
	A	B
200.0	981.0	981.0
20.0	98.1	98.1
40.0	196.2	196.2
60.0	294.3	294.3
80.0	392.4	392.4
100.0	490.5	490.5
120.0	588.6	588.6
140.0	686.7	686.7
160.0	784.8	784.8
180.0	882.9	882.9

Tabla 3. Valores de las fuerzas (N) y momentos (Nm) en los puntos E y F, al cargar la grúa con diferentes pesos.

	SECCIÓN INFERIOR			
	E	F	MOMENTO E	MOMENTO F
200.0	1073.0	889.0	1361.1	1127.7
20.0	107.3	88.9	136.1	112.8
40.0	214.6	177.8	272.2	225.5
60.0	321.9	266.7	408.4	338.3
80.0	429.2	355.6	544.4	451.1
100.0	536.5	444.5	680.6	563.9
120.0	644.1	533.6	817.0	676.9
140.0	751.1	622.3	952.8	789.4
160.0	858.4	711.2	1088.9	902.2
180.0	965.8	800.2	1225.1	1015.0

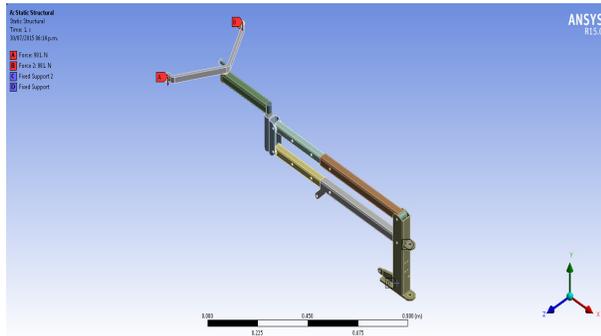


Fig. 18. Apoyos, fuerzas y momentos aplicados a la sección superior de la grúa.

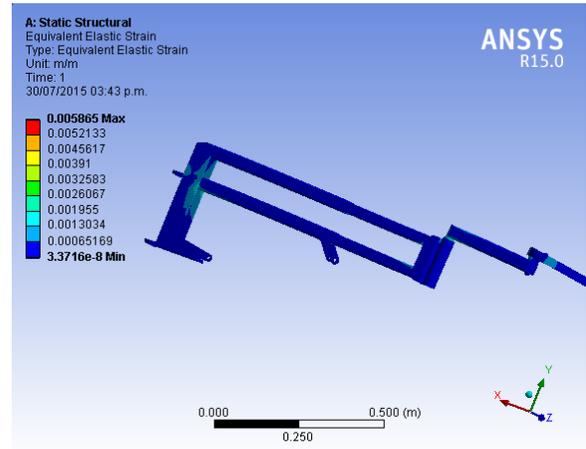


Fig. 21. Deformación (*Equivalent Elastic Strain*) en la sección superior de la grúa al cargarla con una masa de 200 kg.

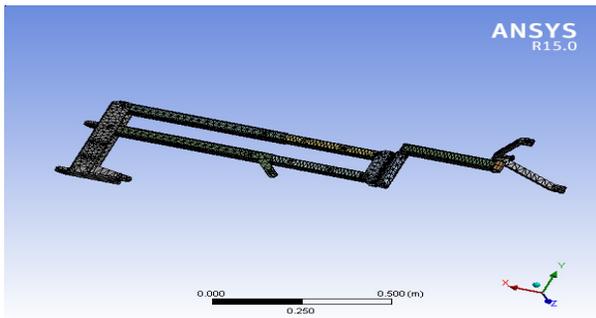


Fig. 19. Mallado de la sección superior de la grúa.

Durante el mallado se obtuvo una malla en la sección superior de 56207 nodos y 26182 elementos, mientras que en la sección inferior 24282 nodos y 9847 elementos.

Para la simulación y posterior obtención de las deformaciones (*Equivalent Elastic Strain*) en los puntos críticos de los componentes de la grúa, se usaron los valores de las cargas y momentos aplicados en los puntos *A*, *B*, *E* y *F*, indicados en las tablas 2 y 3.

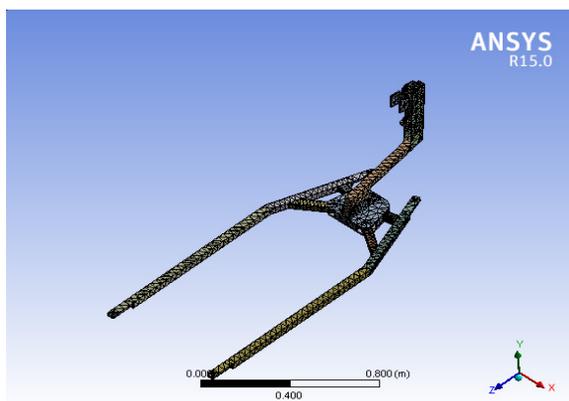


Fig. 20. Mallado de la sección inferior de la grúa.

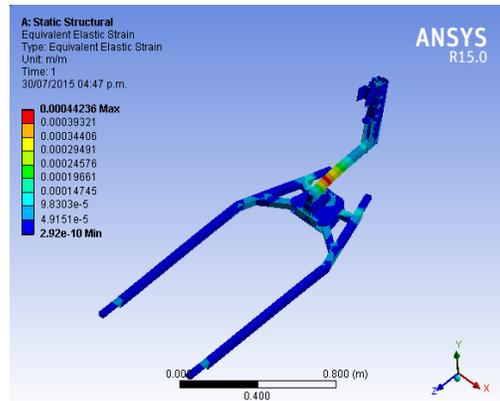


Fig. 22. Deformación (*Equivalent Elastic Strain*) en la sección superior de la grúa al cargarla con una masa de 200 kg.

3. Resultados

El planteamiento teórico se realizó analizando todos los elementos de la grúa bajo esfuerzos de flexión (tensión en su parte superior y compresión en su parte inferior):

$$\sigma = Mc/I$$

donde

$$M = Fd$$

M , momento de flexión generado; F , carga aplicada; d : brazo de palanca (para este caso se trata de la mitad de la longitud propia de cada elemento); c : distancia con respecto del centro de la fibra más alejada (para este caso se trata de la mitad de la dimensión del ancho de cada elemento); I : segundo momento de inercia de la sección transversal en cuestión: PTR 1.5" x 1.5" y $t = 3.18$ mm.

En la Tabla 4 se muestran los datos utilizados para determinar la deformación unitaria teórica (ϵ teórica).

3.1. Comparación de resultados teóricos, experimentales y numéricos

Enseguida se muestran imágenes en donde se indica la deformación unitaria en puntos críticos de la sección inferior de la grúa con pesos de 100 y 200 kg, respectivamente.

Ahora, para el caso de la deformación unitaria en puntos críticos de la sección superior de la grúa (grúa móvil) ante un peso de 200 kg, tenemos la siguiente imagen.

En la tabla que se muestra a continuación (Tabla 7), la lectura de la deformación unitaria obtenida mediante la simulación numérica (ϵ numérica) y la deformación unitaria obtenida mediante el uso de la técnica experimental de galgas extensométricas (ϵ galga).

Se observa que tomando como valores de referencia las ϵ teóricas, el porcentaje de error de las ϵ numéricas es mucho menor que el que se presenta en las ϵ galgas, teniendo en promedio 3.3% y 49.7%, respectivamente. Esto se puede deber a que a diferencia de una simulación numérica, las mediciones hechas con las galgas presentan dificultad en el control de los parámetros que influyen en la prueba, tales como:

- Humedad
- Temperatura
- Calibración de los instrumentos de medición
- Precisión en la preparación de las superficies, pegado y soldado de galgas

Tabla 4. Cálculo de la deformación unitaria teórica (ϵ teórica).

No. de galga	ϵ teórica	σ flexion	M	F	F	F real	F real	d	c	I	E
	m	Pa	Nm	Kgf	N	Kgf	N	m	m	m ⁴	Pa
1	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	8.484E-05	16968000	46.3168504	100	981	33.724	330.83	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0001197	23940000	65.3480315	200	1962	47.581	466.77	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
1A	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0001092	21840000	59.615748	100	981	43.407	425.83	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0001817	36330000	99.1685039	200	1962	72.207	708.35	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
2	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	8.589E-05	17178000	46.8900787	100	981	34.142	334.93	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0001176	23520000	64.2015748	200	1962	46.746	458.58	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
2A	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0001145	22890000	62.4818898	100	981	45.494	446.3	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0001754	35070000	95.7291339	200	1962	69.702	683.78	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
5	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	1.838E-05	3675000	10.0314961	100	981	7.3041	71.654	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	5.954E-05	11907000	32.5020472	200	1962	23.665	232.16	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
6	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	1.103E-05	2205000	6.01889764	100	981	4.3825	42.992	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	3.276E-05	6552000	17.8847244	200	1962	13.022	127.75	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
7	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0009849	196980000	537.688189	100	981	391.5	3840.6	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0019635	392700000	1071.93701	200	1962	780.5	7656.7	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
8	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0009755	195090000	532.529134	100	981	387.75	3803.8	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0019425	388500000	1060.47244	200	1962	772.15	7574.8	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
A	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	---	---	---	100	981	---	---	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	6.111E-05	12222840	33.3641827	200	1962	24.293	238.32	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
B	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	---	---	---	100	981	---	---	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	6.479E-05	12958260	35.3716283	200	1962	25.755	252.65	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
C	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	---	---	---	100	981	---	---	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	4.265E-05	8530200	23.2845354	200	1962	16.954	166.32	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
D	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	---	---	---	100	981	---	---	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	8.015E-05	16029720	43.7556661	200	1962	31.859	312.54	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
E	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	---	---	---	100	981	---	---	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.0002097	41937000	114.473701	200	1962	83.351	817.67	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
F	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	---	---	---	100	981	---	---	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
	0.000238	47604900	129.945134	200	1962	94.616	928.18	0.14	0.0191	5.2E-08	2.1E+11
G	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
	---	---	---	100	981	---	---	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
	0.0007137	142749250	194.936758	200	1962	141.94	1392.4	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
H	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
	---	---	---	100	981	---	---	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
	0.0007297	145934250	199.286158	200	1962	145.1	1423.5	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
I	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
	---	---	---	100	981	---	---	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
	0.000713	142607150	194.742708	200	1962	141.8	1391	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
J	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
	---	---	---	100	981	---	---	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11
	0.0007202	144033050	196.689901	200	1962	143.21	1404.9	0.12	0.0127	1.7E-08	2.1E+11

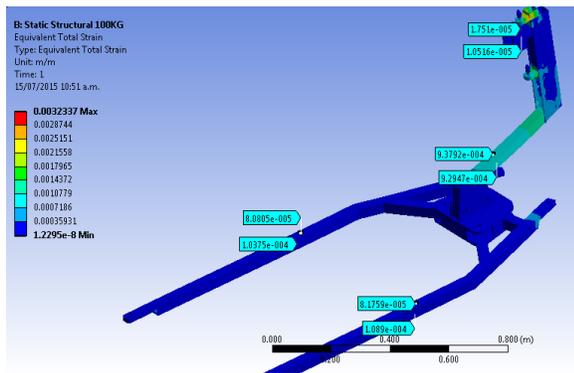


Fig. 23. Deformación unitaria de la plataforma ante una carga de 100 kg.

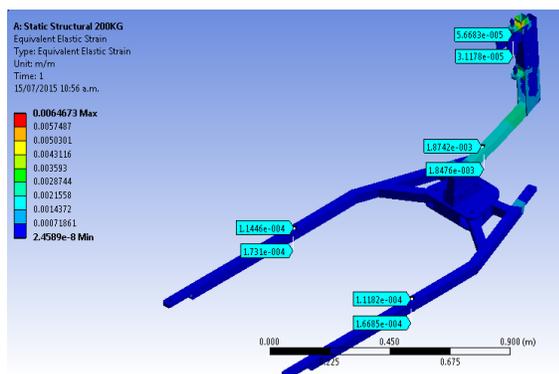


Fig. 24. Deformación unitaria de la plataforma ante una carga de 200 kg.

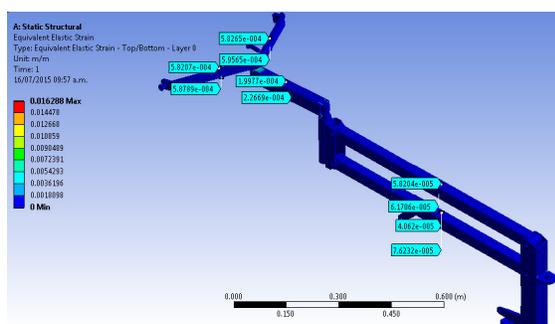


Fig. 25. Deformación unitaria de la grúa móvil ante una carga de 200 kg.

Tanto el análisis teórico y la simulación numérica se hicieron considerando condiciones ideales y controladas (iguales en todos los puntos).

Tabla 5. Datos de deformaciones obtenidos mediante simulación a 100 y 200 kg en la sección inferior de la grúa.

GALGA	100 kg	200 kg
1	8.08E-05	1.14E-04
1a	1.04E-04	1.73E-04
2	8.18E-05	1.12E-04
2a	1.09E-04	1.67E-04
5	1.75E-05	5.67E-05
6	1.05E-05	3.12E-05
7	9.38E-04	1.87E-03
8	9.29E-04	1.85E-03

Tabla 6. Datos de deformaciones obtenidos mediante simulación a 200 kg en la sección superior de la grúa.

GALGA	200 kg
A	5.820E-05
B	6.171E-05
C	4.062E-05
D	7.633E-05
E	1.997E-04
F	2.267E-04
G	5.827E-04
H	5.957E-04
I	5.821E-04
J	5.879E-04

4. Conclusiones

Durante la aplicación del método de medición de deformación (extensometría), descrito en este trabajo, se presentaron diversas dificultades al tener realizar las mediciones en repetidas ocasiones, es decir, hacer varias veces la prueba (carga y descarga de la grúa) ya que algunas galgas ofrecían incoherentes con respecto a las calculadas. Una de las causas podría ser la realización de las pruebas bajo un ambiente de temperatura y humedad no controladas. Más allá de las dificultades mencionadas, se concluye, con los datos de las pruebas experimentales aplicadas y las simulaciones numéricas hechas, que la grúa estructuralmente cumple con lo necesario para desempeñar sin problema su función de trasladar pesos no mayores a 200 kg.

Tabla 7. Comparación de valores de deformaciones unitarias (ϵ).

No. De Galga	ϵ teorica	ϵ galga	ϵ numerica	% error galga	% error numérica
1	0	0.000001	0	0	0
	0.00008484	0.000076	0.0000808	10.41961339	4.761904762
	0.0001197	0.000163	0.000114	36.17376775	4.761904762
1A	0	0	0	0	0
	0.0001092	0.000158	0.000104	44.68864469	4.761904762
	0.00018165	0.000396	0.000173	118.0016515	4.761904762
2	0	0	0	0	0
	0.00008589	-0.000112	0.0000818	230.399348	4.761904762
	0.0001176	-0.000172	0.000112	246.2585034	4.761904762
2A	0	0.000001	0	0	0
	0.00011445	0.000288	0.000109	151.63827	4.761904762
	0.00017535	0.000198	0.000167	12.9170231	4.761904762
5	0	0	0	0	0
	0.000018375	0.000009	0.0000175	51.02040816	4.761904762
	0.000059535	0.000012	0.0000567	79.84378937	4.761904762
6	0	-0.000001	0	0	0
	0.000011025	-0.000004	0.0000105	136.2811791	4.761904762
	0.00003276	-0.000004	0.0000312	112.2100122	4.761904762
7	0	-0.000001	0	0	0
	0.0009849	-0.000825	0.000938	183.7648492	4.761904762
	0.0019635	-0.001674	0.00187	185.2559206	4.761904762
8	0	-0.000001	0	0	0
	0.00097545	0.000796	0.000929	18.39663745	4.761904762
	0.0019425	0.001564	0.00185	19.48519949	4.761904762
A	0	0	0	0	0
	---	0.000026	---	---	---
	6.11142E-05	0.000058	5.8204E-05	5.095706072	4.761904762
B	0	0	0	0	0
	---	0.000026	---	---	---
	6.47913E-05	0.000053	6.1706E-05	18.19889399	4.761904762
C	0	0	0	0	0
	---	0.000055	---	---	---
	0.000042651	0.000115	0.00004062	169.6302549	4.761904762
D	0	0	0	0	0
	---	-0.000039	---	---	---
	8.01486E-05	-0.000078	7.6332E-05	197.3192295	4.761904762
E	0	0	0	0	0
	---	0.000088	---	---	---
	0.000209685	0.000186	0.0001997	11.2955147	4.761904762
F	0	0	0	0	0
	---	-0.000189	---	---	---
	0.000238025	-0.000386	0.00022669	262.1681802	4.761904762
G	0	0.000001	0	0	0
	---	0.000266	---	---	---
	0.000713746	0.000527	0.00058265	26.16423554	18.36734694
H	0	0	0	0	0
	---	-0.000256	---	---	---
	0.000729671	-0.00052	0.00059565	171.2649704	18.36734694
I	0	0	0	0	0
	---	0.000304	---	---	---
	0.000713036	0.000591	0.00058207	17.11495532	18.36734694
J	0	0.000001	0	0	0
	---	-0.000268	---	---	---
	0.000720165	-0.000499	0.00058789	169.2896526	18.36734694
PROMEDIO				49.70919279	3.300579491

Referencias

- [1] Henenyi, M., *Handbook of Experimental Stress Analysis*, J. Wiley, USA, 1950, pp. 85-93.
- [2] Bahena-Salgado, Y., *Calidad de vida de los pacientes con paraplejia secundaria por lesión vertebral traumática*, Medigraphic ARTEMISA, México, 1998, pp. 17-48.
- [3] Hurtado, P., *Incidencia y etiología de las lesiones vertebrales traumáticas en el Servicio de Cirugía de Columna del Hospital de Traumatología y Ortopedia Lomas Verdes*, Tesis de Posgrado, México, 2003, pp. 26-65.
- [4] Rudy, T., Psychosocial predictors of physical performance in disabled individuals with chronic pain, *Clinical Journal of Pain*, USA, 2003, pp. 18-30.
- [5] Aguilar, B., *Integración de la terapia ocupacional en la fase aguda del lesionado medular*, Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica, Tesis profesional, México, 1994, pp. 41-62.

Instituto Politécnico Nacional

Científica

La Revista Mexicana
de Ingeniería Electromecánica

Número de artículos descargados por región (2007-2012):

México

54 024

América Latina y el Caribe

40 194

Estados Unidos y Canadá

13 254

Europa

15 967

Asia, África y Oceanía

6 025

Fuente: Sistema de Información Científica Redalyc

<http://redalyc.uaemex.mx/>

Plataforma electromecánica para cirugía de mano controlada por pedal

Jonathan **Martínez-Paredes**¹
Allan Ronier **Diez Barroso-Agraz**²
Sandra Denisse **Ontiveros-Paredes**³
Rosario **Olivares-García**²

¹Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Unidad Azcapotzalco, Col. Sta. Catarina, CP 02250,
México, D. F., México.
MÉXICO.

²Universidad Politécnica del Valle de México
Av Mexiquense s/n, esq Av Universidad Politécnica,
Villa Esmeralda, C.P. 54910 Tultitlán de Mariano
Escobedo, Estado de México.
MÉXICO.

³Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango,
Av. Tecnológico núm. 80, Col. 5 de Octubre.
Huauchinango, Puebla. C.P. 73173.
MÉXICO.

Teléfono³: (776) 762 5250

correo electrónico (email): jon6101@hotmail.com
ronier.diezb@gmail.com
dveroz25@gmail.com
rosario18og@gmail.com

Recibido 14-05-2014, aceptado 23-10-2014.

Resumen

La mano se ha convertido en un órgano indispensable en casi todos los aspectos de la vida, en este sentido debe suponerse que la incapacidad funcional, por menor que sea, puede tener repercusiones desastrosas en el quehacer diario. Cuando se está en presencia de una mano lesionada, deben realizarse procedimientos terapéuticos, que conlleven a la restauración funcional de la misma en forma rápida y segura. Por lo tanto para el manejo inicial de las lesiones es esencial un conocimiento anatomofuncional de ella, lo que servirá para realizar un buen

diagnóstico y de allí plantear en forma lógica y eficaz un plan terapéutico quirúrgico o no. Actualmente las cirugías de mano son realizadas con distintos instrumentos y equipo quirúrgico, la selección del tipo del mismo, depende tanto del criterio del médico como de la disponibilidad tecnológica en el hospital. Con el objeto de facilitar el proceso de cirugía de mano, se propone el diseño de una plataforma electromecánica con tres grados de libertad, un sistema ajustable a las posiciones requeridas en la cirugía y una cámara para documentación de la cirugía, cuenta con un control por medio de pedal para que el mismo cirujano ajuste la plataforma sin requerir ayuda de un asistente. Los beneficios de la implementación de este dispositivo es la disminución del personal colaborativo en la cirugía y minimizar los tiempos por ajuste de posición de la mano, mayor estabilidad en la posición requerida y la posibilidad de documentar el proceso quirúrgico.

Palabras clave: cirugía de mano, electromecánica, plataforma, control, grados de libertad, control por pedal.

Abstract (Electromechanic Platform for Hand Surgery Controlled by Pedal)

The hand has become an essential organ in almost every aspect of life, in this regard must be assumed that the functional disability, however small, can have a disastrous impact on the daily work. When you are in the presence of an injured hand, therapeutic procedures, which lead to the functional restoration of it quickly and safely be performed. Therefore for the initial management of injuries is essential anatomic knowledge of it, which will help to make a good diagnosis and there arise in a logical and effective surgical or therapeutic plan. Currently the hand surgeries are performed with different instruments and surgical equipment, it depends both on the discretion of the surgery and the technology available in the hospital. In order to facilitate the process of hand surgery, it is proposed to design an electromechanical platform with three degrees of freedom, an adjustable positions required in surgery and a camera system for documenting the surgery, it has a control a pedal for the same surgeon to adjust the platform without requiring an assistant. The benefits of the implementation of this device is decreased collaborative staff and minimize surgery time by adjusting hand position, greater stability in the required position and the ability to document the surgical procedure.

Key words: hand surgery, electromechanical, platform, control, degrees of freedom, control pedal.

1. Introducción

La mano se puede definir como un órgano prensil, resultado de un conjunto estructural muy complejo, con dinámica propia, que constituye un todo funcional, formada por una serie de elementos que han evolucionado en forma casi perfecta, convirtiéndose en una herramienta indispensable en los diferentes aspectos de la vida diaria. Se incluyen en ella todos los renglones de la producción, de allí la importancia de sus disfunciones [1]. Desde el punto de vista fisiológico, la mano representa la extremidad efectora del miembro superior que constituye un soporte logístico y le permite adoptar la posición más favorable para una acción determinada [2].

En México, se considera que la edad óptima laboral es entre los 18 y 65 años, no obstante la situación económica del país orilla a la gran cantidad de población a prestar sus servicios en labores no formales o en departamentos donde la exigencia física es mayor, es por ello que los riesgos de trabajo aumentan y los miembros que sufren más lesiones suelen ser las extremidades superiores y de entre estas lesiones las más comunes son en las manos.

Según un estudio realizado por la Secretaría Nacional de Salud, del total de accidentes que se presentan en manos el 59.44% es para tratar cirugías ambulatorias en mano y muñeca, en el año 2012, del total de pacientes que asistieron a cirugía de mano, el 81.98% fueron casos de cirugía ambulatoria para injertos de piel y desbridamientos [3].

No obstante, el área médica ahora no sólo trata de regresar la funcionalidad de la mano, ahora también se intenta maximizar la apariencia estética de la mano y particularmente hoy en día se hace una sinergia entre la recuperación de la función motriz de la mano así como la apariencia estética, por lo que se requiere un complejo grupo de especialistas que apoyen las patologías de la mano, este grupo consta de cirujanos plásticos, cirujanos generales, ortopedistas, cirujanos vasculares, rehabilitadores, entre otros.

Algunas de las técnicas utilizadas por los médicos en cirugías de mano son las siguientes [4]:

- *Osteosíntesis*. Es la reparación de los huesos fracturados por medio de implantes, como: placas y tornillos, para dar fijación y estabilidad; lo que ayuda a la curación del hueso.
- *Injertos*. La transferencia de piel, hueso, nervios y otros tejidos de una parte sana del cuerpo para reparar la parte dañada.

- *Cirugía de colgajos*. La movilización de piel con tejido subcutáneo, vasos sanguíneos y músculo o hueso de otra parte del cuerpo hasta el lugar que ha sufrido el traumatismo.

Para poder disponer al paciente en la posición quirúrgica adecuada, en cada intervención, es necesario una serie de accesorios especiales y la colaboración del personal de enfermería para colocación del paciente y así minimizar el tiempo necesario en quirófano. Uno de los accesorios más importantes para este tipo de cirugía, es la mesa de mano, que sirve de apoyo para el brazo, pudiéndose regular su altura, inclinación y también orientación, con ayuda del personal de enfermería durante la intervención quirúrgica.

2. Estado del arte

A continuación se presentan algunas mesas quirúrgicas de mano que existen en el mercado, con la finalidad de visualizar las características que ofrecen estos productos.

La utilización de instrumentos quirúrgicos es valorada por el cirujano plástico, lo cual facilita la técnica quirúrgica. Uno de los dispositivos para sujeción de la mano durante la cirugía fue inventado por Geoffrey Fisk, bajo la influencia de Guy Pulvertaft y ha sido una de las más utilizadas, con ciertas modificaciones en la actualidad. La mesa quirúrgica de Strickland es el dispositivo más elaborado que incorpora retractores de piel y un sistema de drenaje [5]. Actualmente los dispositivos de fijación quirúrgica de la mano utilizan consumibles de un solo uso y una base reutilizable. Entre sus características se encuentra la versatilidad en la orientación de la mano y su posicionamiento espacial de los dedos y pulgar.

En la actualidad la mesa quirúrgica con menores limitaciones es la fabricada por Multilok [6], de entre sus características se destacan las siguientes:

- Amplia gama de componentes accesorios ofrece las opciones de configuración de múltiples cirujanos.
- Componentes preesterilizados desechables.
- Buen número de posiciones posibles.
- Los ajustes sencillos se pueden hacer en cualquier momento por la liberación de la única palanca de la leva de bloqueo.
- Componentes de fabricación en acero inoxidable.
- Pre-esterilizados superficie de la mesa y accesorios contruidos con plástico de alta calidad para uso individual.
- Acceso sin restricciones a las posiciones de operación.
- Accesorios para la colocación de falanges en posiciones específicas

3. Desarrollo

El *Quality Function Deployment* (QFD) se fundamenta en la búsqueda de las necesidades del usuario, teniendo en cuenta tanto las expresadas como las no expresadas, las cuales son convertidas a características de calidad (medibles), ayuda a desarrollar un diseño de calidad del producto final desarrollando de forma sistemática (en la matriz de la casa de calidad) las relaciones entre las exigencias o características primarias de calidad y las características técnicas de calidad, logrando así maximizar la satisfacción del cliente [7]. La metodología QFD traduce lo que el cliente quiere en lo que la organización produce. Le permite a una organización priorizar las necesidades de los clientes, encontrar respuestas innovativas a esas necesidades y mejorar procesos hasta una efectividad máxima. QFD es una práctica que conduce a mejoras del proceso que le permiten a una organización sobrepasar las expectativas del cliente según Stephen [8] [9].

Los requerimientos del cliente están clasificados para tener un mejor control y saber los ámbitos en los que repercuten cada uno de ellos, están de la siguiente manera [10]:

- Requerimientos económicos.
- Requerimientos funcionales.
- Requerimientos espaciales.
- Requerimientos de apariencia.
- Requerimientos de manufacturabilidad e instalación.
- Requerimientos de conservación.



Fig. 1. Mesa de cirugías Multilok.

Para establecer el diseño de la arquitectura del dispositivo se deben tomar diversas consideraciones:

1. La mano promedio del humano no pesa más de 800 gramos, pero considerando que el médico ejerce fuerza sobre la mano al operar en la cirugía, se han considerado motores que soporten hasta 2.5 kg.
2. Se añade en la parte inferior del mecanismo un respaldo que permite colocar el antebrazo del paciente, esto permite brindar mayor comodidad en cirugía.
3. En caso de fallo eléctrico del inmueble, se añade al dispositivo un sistema de suministro eléctrico de respaldo el cual le permite seguir operando por hasta 30 minutos.
4. La pieza que soporta al dedo pulgar es capaz de rotar, de esta manera puede ser ocupada la misma pieza para mano izquierda y mano derecha, el principal objetivo de esto es disminuir el número de piezas adicionales al mecanismo.
5. Los sujetadores de falange pueden desplazarse hasta 3.5 cm con el objeto de ajustarse a la medida de los dedos de cualquier paciente, además, permite ajustar la altura de los dedos mediante un tornillo que levanta la yema del dedo. El principal objetivo de esto es que no se cuente con un kit de elementos periféricos que generen más demora en el ajuste de la posición de la mano del paciente.
6. Se opta por fabricar la plataforma en plástico ABS y además dejar una especie de "barrenos" por todas las piezas, la finalidad de este barrenado es que puedan dejar caer fluidos corporales así como brindar oxigenación al tejido de la mano.

Para el caso del diseño definitivo de toda la plataforma encargada de sujetar la mano (mano, falanges y dedo pulgar) se consideran las estadísticas de aspectos biométricos en hombres y mujeres de entre 18 y 65 años, que es la edad considerada como laboral [11].

Para el caso del dimensionamiento de los soportes para falange no se toma en cuenta un promedio sino los valores máximos y mínimos encontrados en la investigación realizada por Bingvinat, O., Alamagía, A., Lizana, P. y Olave, E [12]; como resultado de las encuestas e investigación se definen los siguientes valores:

- a) Longitud de mano en hombres: 184.9 mm.
- b) Anchura de palma en hombres: 95.4 mm.
- c) Longitud mano en mujeres: 168.9 mm.
- d) Anchura de palma en mujeres: 81.2 mm.

- e) Longitud de falange pulgar, índice, medio anular y menor (respectivamente) en hombre: 72.5mm, 104.5 mm, 115 mm, 109.1 mm y 88.5.
f) Longitud de falange pulgar, índice, medio anular y menor (respectivamente) en mujer: 62.6 mm, 90.7mm, 99.2 mm, 94.2mm y 75.8mm.

Con base en los datos mencionados se definen las dimensiones de cada una de las piezas que conforman la plataforma de sujeción de la mano:

- a) Longitud y anchura de palma: 185mm y 96 mm.
b) Longitud de sujetador de pulgar: 72.5 mm
c) Longitud sujetadores de falange en general 115 mm.

4. Conformación la plataforma electromecánica

El dispositivo estará compuesto por tres subsistemas principales, las dimensiones de cada mecanismo están fundamentadas en las magnitudes máximas del hombre así como las magnitudes mínimas de la mujer, esto con la finalidad de poder contar con una solución que se ajuste a los parámetros estadísticos.

Primer subsistema

El primer subsistema es el mecanismo encargado de sujetar la mano del paciente o lo que es conocido como "la plataforma", que está compuesta por el área que soporta el peso de la palma de la mano, la pieza que sujeta el dedo pulgar para brindar movilidad y el cirujano pueda ajustar la posición del dedo, esta pieza particularmente puede desprenderse de la plataforma y cambiar su posición, esto con motivo de que pueda ser ocupada para mano izquierda o derecha. Los últimos componentes que conforman esta plataforma son los sujetadores de falange, estas piezas cuentan en su extremo superior con un tornillo que permite ajustar la altura del dedo elevándolo desde la yema, además, cada sujetador de falange cuenta con 4.5 cm de carrera en su parte inferior, esto permite que se ajuste cada sujetador al largo exacto de cada uno de los dedos del paciente.

Esta plataforma contará además con una cámara inalámbrica sujeta a un soporte, este soporte cuenta con movilidad en 3 grados de libertad y la finalidad de incorporar la cámara es

Tabla 1. Anchura de mano y longitud de palma de mujer expresado en milímetros.

edades	Longitud mano		Ancho mano		Longitud derecha
	derecha	izquierda	derecha	izquierda	
18-19	166±25	169±10	81±13	82±17	92±8
20-24	166±32	173±10	78±10	77±9	95±8
25-29	171±5	171±5	81±18	80±19	92±8
30-34	170±11	168±10	82±17	80±18	96±10
35-39	172±6	172±7	80±9	78±6	95±6
40-44	170±8	169±8	80±7	79±7	97±4
45-49	165±10	166±10	78±9	78±8	95±6
50-54	169±11	171±10	80±7	80±7	98±19
55-59	166±11	166±11	78±8	77±8	90±11
60-64	158±7	160±10	76±7	74±7	83±12
65-69	171±8	172±9	76±5	77±8	96±8

Tabla 2. Anchura de mano y longitud de palma de hombre expresado en milímetros.

edades	Longitud mano		Ancho mano		Longitud derecha
	derecha	izquierda	derecha	izquierda	
18-19	182±10	183±10	95±19	94±19	102±8
20-24	186±9	188±11	92±19	91±19	105±7
25-29	188±10	188±10	92±21	90±21	105±8
30-34	183±12	186±12	89±10	89±9	104±9
35-39	184±8	183±9	97±13	96±14	101±8
40-44	184±15	184±15	89±10	88±8	106±15
45-49	183±12	184±6	91±8	89±6	106±11
50-54	186±13	186±13	90±8	89±9	109±18
55-59	187±16	187±20	92±13	91±13	106±9
60-64	186±12	187±12	87±4	87±4	113±25

poder brindarle al médico la capacidad de filmar la cirugía, esto con fines académicos o de investigación futuros, además, funciona como un elemento que brinda visibilidad en puntos donde el médico no alcanza a observar a detalle.

Segundo subsistema

El segundo subsistema está compuesto por el mecanismo de posicionamiento y será el encargado de mover en 3 grados de libertad (supinación/pronación, flexión/extensión y abducción/aducción) a la base que sujeta la mano del paciente, este mecanismo obtendrá su fuerza motriz por 2 servomotores y un mo-

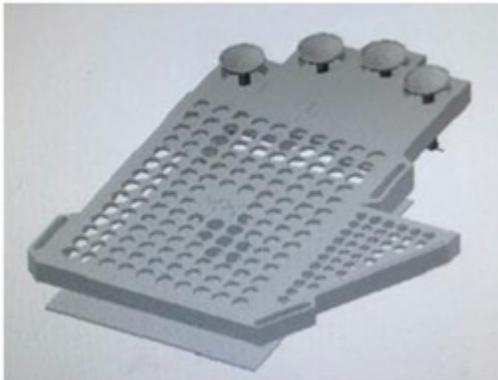


Fig. 2. Primer subsistema.

tor de 200 pasos (encargado de soportar el mayor peso de la plataforma), estos 3 motores se situarán en una base fabricada de acero grado quirúrgico y en la parte más baja de esta base se encontrará el sistema de control compuesto por un PIC16F84A.

Tercer subsistema

El tercer y más complejo subsistema es el mecanismo comprendido por el pedal de manipulación, este pedal es el encargado de transmitir los movimientos del pie del médico hacia la plataforma de cirugía o sujeción de mano, este pedal permite manipular 3 grados de libertad y la transmisión del movimien-



Fig. 3. Segundo subsistema.

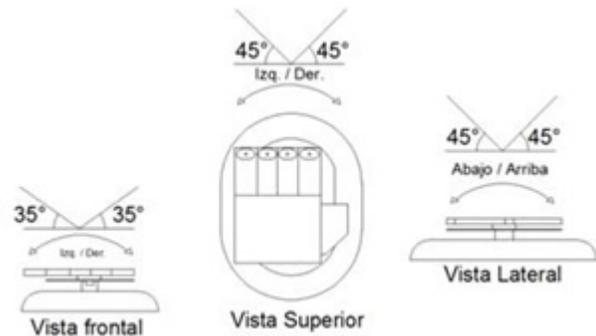


Fig. 4. Grados de libertad del segundo subsistema.

to se hace mediante encoders que envían la señal de posicionamiento al microcontrolador PIC16F84A para posteriormente replicar la señal en los motores de la plataforma. Este pedal además cuenta con un *brake* el cual se ha designado como sistema de seguridad y no permite que se avance más en los movimientos si este botón vuelve a ser presionado.

Como un segundo sistema de seguridad se ha añadido sensores de límite, de esta manera se restringen movimientos y la electrónica restringe envío de señales.

La comunicación entre el pedal y la plataforma se realizará vía cable de datos categoría E5 con el fin de contar con 1 sola línea de comunicación capaz de comunicar varios hilos conectores.

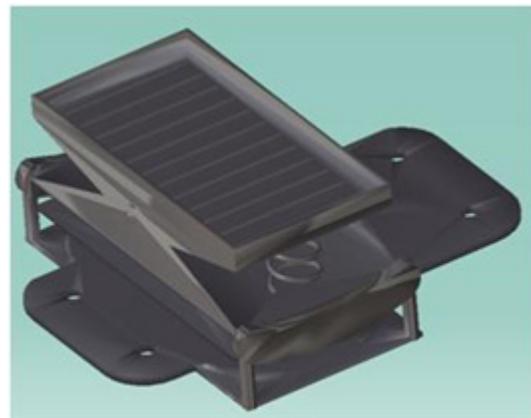


Fig. 5. Configuración del pedal.



Fig. 6. Sistema de seguridad con sensores de límite.

En la Figura 8 se muestra la versión final del dispositivo maestro-esclavo de la plataforma electromecánica para cirugía de mano controlada por pedal.

5. Etapa de control

Se hará un análisis por medio de las funciones que el sistema debe satisfacer y el nivel en el que se debe plantear el problema, independientemente de los componentes físicos que pudieran utilizarse. El nivel se decide estableciendo "límites" alrededor de un subconjunto coherente de funciones. Se trata de los límites conceptuales que se emplean para definir la función del producto o del dispositivo. La manera más sencilla de expresar esto consiste en representar al prototipo como una caja negra que convierte ciertas entradas en salidas deseadas.

De esta figura podemos obtener funciones secundarias, las que se descomponen de la función principal y la satisfacen,

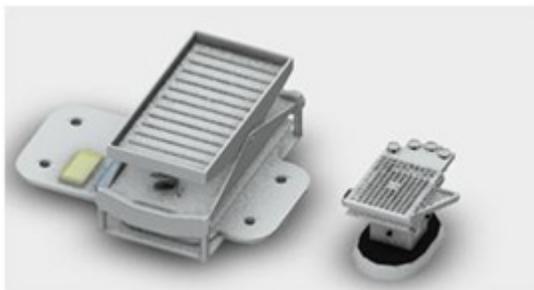


Fig. 7. Dispositivos en comunicación.



Fig. 8. Dispositivos maestro-esclavo.

es decir, las funciones secundarias en conjunto cumplen la función general del sistema. A continuación se muestra el diagrama de bloques (véase figura 10) con las funciones secundarias, que hacen ver la relación funcional entre dichas funciones y la construcción propuesta para el prototipo.

6. Conclusiones

A través de la utilización del *Quality Function Deployment* (QFD) se llegó a un concepto ganador en el cual se basa el desarrollo de los demás etapas del proyecto: *se realizará la integración de tres mecanismos que al final comprenderán el sistema quirúrgico final*. Los materiales de fabricación de toda la máquina serán acero grado quirúrgico y plástico ABS.

Referencias

- [1] Hurtado, M., Iglesias, J., León, V., Llanos, S. y Martín, E. *Dinámica Funcional de la mano*, pp. 4.
- [2] Kapandji, A.I. *Fisiología articular*, 6a ed., Tomo 1, Editorial Panamericana, pp. 198-200, 2006.



Fig. 9. Diagrama de la caja negra.

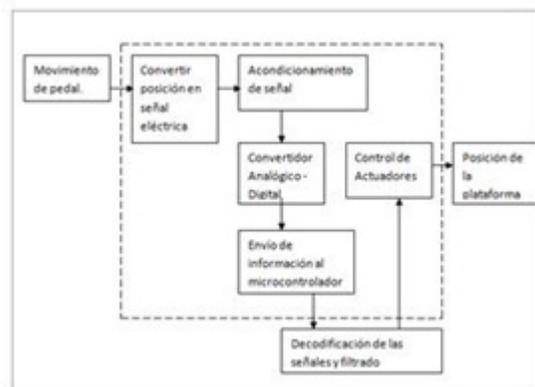


Fig. 10. Diagrama de la caja negra.

- [3] *Estadística de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales*, Ministerio de Trabajo e Inmigración. Indicadores clave del Sistema Nacional de Salud. Instituto de información Sanitaria.
- [4] Forriol Campos, F. *Manual de cirugía ortopédica y traumatológica*, 2ª ed., Sociedad Española de Traumatología, Editorial Médica Panamericana. pp. 695-750, 2000.

- [5] Green, D.P, Pederson, W.C, Hotchkiss R.N y Wolf, S.W. *Cirugía de la Mano*, 5a ed., Tomo 1, Editorial Marbán, 2007.
- [6] Gabir Tari, Laszlo Hari. *Hand Surgery Operating Table*, US 4858903.
- [7] Olaya, E.S., Cortes, C.J. y Duarte, O.G. "Despliegue de Función de Calidad (QFD) apoyado mediante técnicas difusas: Caso prótesis mioeléctrica de mano", *Revista Ingeniería e Investigación*, Vol.25, No.2, 2005, pp. 4-14.
- [8] Stephen Uselac, Zen. *Leadership: The Human Side of Total Quality Team Management*, Londonville, OH. Mohican Publishing Company, pp.52, 1993.
- [9] González Espinosa, Marvin, *La Función despliegue de la calidad*", McGraw-Hill, 2001.
- [10] Lou Cohen, *Quality Function Deployment*, Prentice Hall, 1995.
- [11] Ávila Chaurand, R., Prado León, L.R. y González Muñoz, E.L. *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana*, Universidad de Guadalajara, pp. 67-101, 2001.
- [12] Bingvinat, O. , Alamagía, A. , Lizana, P. y Olave, E. "Aspectos biométricos de la mano de individuos chilenos" *Int. J. Morphol.*, Vol.30, No.2, pp. 599-606, 2012.

Latindex

Portal de portales

www.latindex.org

**INSTITUTO
POLITÉCNICO**

NACIONAL



80

ANIVERSARIO

1936-2016

Determinación de esfuerzos entre dos piezas en contacto utilizando el Método de Elementos Finitos

Juan Atonal-Sánchez
Alexander Reyes-Cruz
Rodrigo Vázquez-Machorro

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Unidad Azcapotzalco, Col. Sta. Catarina, CP 02250,
México, D. F., México.
MÉXICO.

correo electrónico (email):
juan_atonal@yahoo.com.mx
alex_reyes@hotmail.com
rodrigovazmach_5@hotmail.com

Recibido 29-08-2013, aceptado 30-05-2014.

Resumen

En los últimos años se ido implementando con más frecuencia el Método de Elementos Finitos (MEF) para la solución de problemas lineales y no lineales, que serían difíciles de resolver e inclusive imposibles de solucionarlos utilizando ecuaciones proporcionadas por la mecánica de sólidos. Aunado a esto, es de gran importancia considerar dentro de un análisis de elementos finitos el mayor número de condiciones del sistema de estudio para garantizar una aproximación al fenómeno real.

En el presente trabajo se simuló el contacto bajo carga puntual sobre una placa de aluminio soportada en un perno de acero con apoyo del software ANSYS APDL y ayuda de su herramienta *Contact Manager*. El objetivo principal se centra en dar a conocer la herramienta *Contact Manager* para la simulación de contacto entre dos piezas para la determinación de esfuerzos y las deformaciones generadas bajo el tipo de contacto superficie-superficie, tras la aplicación de una fuerza puntual. El análisis se enfoca en la simulación estática-estructural para la evalua-

ción del campo de esfuerzos y deformaciones. El fenómeno fue simulado en un sistema tridimensional utilizando los elementos Solid185, Contact174 y Target170.

Palabras clave: elementos finitos, contact manager, deformaciones, esfuerzos, simulación

Abstract (Determination of Stress between Two Parts in Contact Using The Finite Element Method)

In recent years it has been implemented most often the Finite Element Method (FEM) for solving linear and nonlinear problems, which would be difficult to resolve or even impossible to solve using equations provided in solid mechanics. Added to this, it is very important to consider in a finite element analysis as many conditions of the studio system to ensure a close approximation to the real phenomenon.

In this paper the contact under point load on a steel plate supported on a pin aluminum APDL ANSYS software support and help of his *Contact Manager* tool was simulated. The main focus is on raising awareness of the Contact Manager tool to simulate contact between two parts to determine stresses and strains generated on the contact surface to surface, following the application of a point force. The analysis focuses on the static-structural simulation for evaluating the stress-strain field. The phenomenon was simulated in three-dimensional system using Solid185, Contact174 and Target170 elements.

Key words: : finite elements, contact manager, deformations, efforts simulation.

1. Introducción

En todas las estructuras y maquinas existen elementos sólidos en contacto, los cuales pueden tener interacción ya sea por movimiento relativo entre sí, o al estar inmóviles uno respecto al otro, algunos ejemplos de estos son: sellos mecánicos, los anillos de los pistones en los motores de combustión interna, herramientas de corte, etc., por esta razón, para llevar a cabo un adecuado diseño y selección de estos com-

ponentes, es necesario analizar el comportamiento de los elementos durante su exposición a condiciones fricción, desgaste y lubricación [1].

Aunque en la mayoría de las aplicaciones, los esfuerzos de contacto son muy localizados y no afectan en el comportamiento general de la pieza, en muchos casos, los esfuerzos de contacto son determinantes, pasando a ser los responsables de la falla del componente.

Heinrich Hertz fue el primero que desarrolló la formulación matemática para determinar la distribución de esfuerzos sobre la zona de contacto que se produce al comprimir dos cuerpos curvos entre sí, utilizando la función potencial de Newton. Ejemplos típicos de contacto hertziano se presentan en el contacto entre esferas o cilindros entre sí o con superficies planas [2].

Una fuerza, presión o algún otro agente externo que se presente sobre algún componente de alguna estructura o máquina, causa esfuerzos sobre el contorno de la superficie de contacto denominados *esfuerzos de contactos* [3].

Con el desarrollo de ordenadores más potentes, con frecuencia se ha empleado software de simulación numérica basada en el MEF. Dado que la solución de algunos problemas son muy complejos debido a su no linealidad, llevaría bastante tiempo en solucionarlos matemáticamente e incluso imposible de realizarlos.

Apoyándose con estas nuevas tecnologías se ha reducido el tiempo de análisis de cada caso de estudio para la evaluación de los esfuerzos y deformaciones generadas en el sistema.

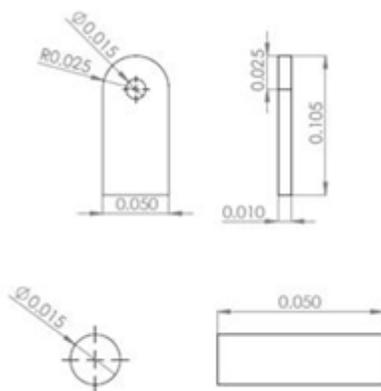


Fig. 1. Dimensiones geométricas del perno y la placa.

Sin embargo, aunque el avance se ha dado a grandes pasos, una de las carencias ha sido el uso de elementos de contacto para la simulación de algunos elementos de máquina que se encuentran bajo este fenómeno, ya que en algunas simulaciones se evitan estas condiciones debido a la falta de conocimiento.

En el presente trabajo se implementó la simulación numérica utilizando el software ANSYS APDL, y evaluar las deformaciones y esfuerzos de contacto utilizando los elementos correspondientes en las zonas afectadas.

2. Desarrollo

El Método del Elemento Finito (MEF) es una herramienta que nos facilita elaborar un modelo matemático de cálculo cercano al sistema real, fácil de modificar a comparación de un prototipo [4]. No obstante no deja de ser un método de solución aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, sin embargo, siguen siendo indispensables, pero en menor número, ya que el MEF puede acercarse bastante a un buen diseño siempre y cuando se tomen en mayor número las condiciones reales. La validación del MEF está comprobada ampliamente con la utilización del mismo a escala mundial.

Como se estableció, en esta investigación se realiza el análisis del contacto entre una placa de aluminio y un perno de acero mediante el programa comercial ANSYS. En este caso es necesario definir que el modelo utilizado es el mostrado en la figura 1, el ensamble se muestra en la figura 2.

Las propiedades mecánicas para cada elemento se muestran en la Tabla 1.



Fig. 2. Ensamble.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de los materiales.

CONSTANTE	ACERO	ALUMINIO
E (GPa)	200	70
ν	0.29	0.33

Discretización del modelo y creación del par de contacto

La discretización del modelo fue obtenida a partir de un barrido sobre el perno utilizando el elemento Solid185, posteriormente se generó otro barrido sobre la placa utilizando el mismo elemento que para el perno, pero con propiedades mecánicas diferentes para cada uno. Generando una serie de operaciones para la obtención de los modelos finales, se pudo obtener una discretización controlada como se muestra en la figura 3.

Cabe mencionar que el contacto ocurre cuando dos superficies se tocan entre sí de forma que se vuelven tangentes una con la otra.

Los problemas que involucran contacto generalmente son no lineales, esto requiere de altos recursos computacionales para su solución, por lo que es de importante entender los principios físicos y establecer los modelos lo más eficaz posible [5].

Modelación no lineal

Por lo general existen tres tipos de no linealidades [6]:

- La no linealidad del material.
- La no linealidad geométrica.

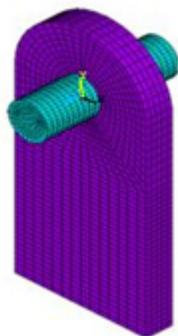


Fig. 3. Discretizado de elementos.

- La no linealidad en la aplicación de las condiciones de frontera.

No linealidad del material. Esta ocurre cuando la relación esfuerzo-deformación deja de ser lineal. La mayoría de las estructuras tienen un comportamiento no lineal bajo cualquier nivel de carga. En algunos casos se emplea un análisis lineal, pero en otros casos este tipo de análisis arroja resultados erróneos, por lo que es necesario implementar un análisis no lineal.

No linealidad geométrica. Se asocia las irregularidades geométricas presentadas por cambios abruptos desde el punto de vista geométrico.

No linealidad de las condiciones de frontera. Las cargas y las limitaciones de movimiento del modelo son causa de estas condiciones. Los efectos que ejercen sobre el modelo pueden estar dados por la posición, forma de aplicación, tipo de carga y magnitud de esta.

Contact manager

El ANSYS APDL posee una herramienta que facilita establecer el contacto entre dos cuerpos: *Contact Manager*. Este permite definir, editar y ver pares de contacto [7].

El Contact Manager soporta análisis de contacto del tipo:

- Superficie-superficie
- Nodo-nodo
- Nodo-superficie

Contacto superficie-superficie. Las áreas de contacto son desconocidas para este tipo y se permite grandes deslizamientos. Existen elementos superficie-superficie para el contacto entre dos cuerpos ya sean, rígido-flexible y flexible-flexible. Este tipo de contacto usa el *contact-surface* y *target-surface* para formar el par de contacto.

Este tipo de contacto fue utilizado en la simulación entre el perno y la placa representados en los modelos antes mostrados, por lo que son las condiciones de contacto que más se asemejan a las que se encuentran sometidos los pernos.

Considerando lo anterior se designó las superficies *contact* y *target*, las cuales se muestran en la figura 4, para posteriormente declarar el par de contacto figura 5.

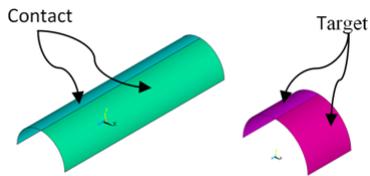


Fig. 4. Superficies de contacto.

Aplicación de las condiciones de frontera

La carga aplicada se efectuó en la parte inferior de la placa de aluminio, con el fin de lograr una compresión sobre el perno de acero y la magnitud fue de 41.3 MPa. La restricción de desplazamientos se aplicó en los *keypoints* inferiores de ambos extremos del perno como se señaladas. Dicha limitación de desplazamiento eliminará todos los grados de libertad en esos puntos figura 6.

3. Resultados

Tras la aplicación de una presión sobre la placa de aluminio y el efecto provocado por el perno de acero, se obtuvieron esfuerzos de ambos componentes en todas direcciones. La figura 7 y figura 8 representa los esfuerzos en la dirección y y los esfuerzos de Von Mises.

La figura 9 muestra los esfuerzos en la dirección z y la figura 10 muestra los esfuerzos de Von Mises.

4. Conclusiones

La utilización del Método del Elemento Finito utilizado en la paquetería de ANSYS facilita la simulación de una placa de

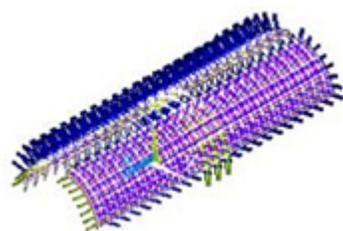


Fig. 5. Superficies de contacto.

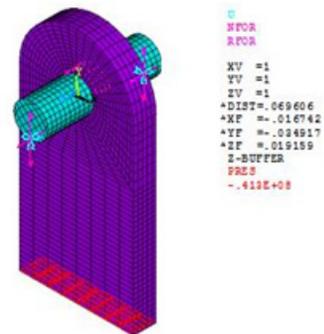


Fig. 6. Cargas y restricciones.

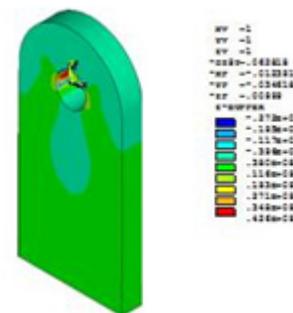


Fig. 7. Esfuerzos en dirección y.

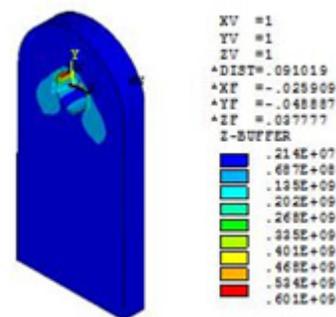


Fig. 8. Esfuerzos de Von Mises.

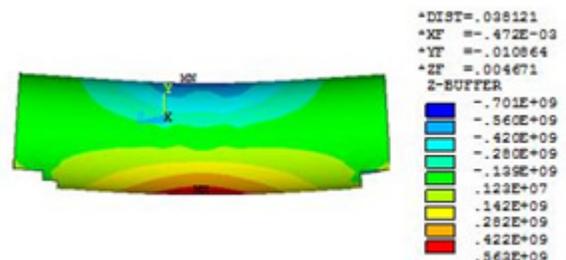


Fig. 9. Esfuerzos en dirección z.

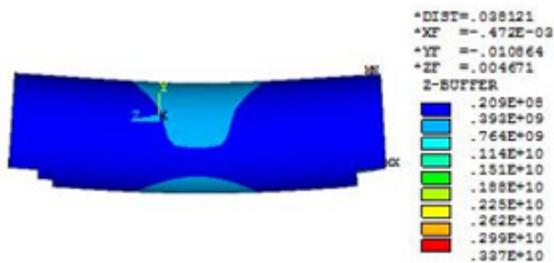


Fig. 10. Esfuerzos de Von Mises.

aluminio sobre un perno de acero en contacto. Los parámetros de contacto pueden ser modificados para adaptarse a las necesidades de la simulación y obtener un modelo de contacto aproximado al real.

Es de gran relevancia considerar los efectos que se producen por contacto entre dos o más elementos en la realización de próximos análisis.

Se obtuvieron resultados relacionados al comportamiento de la placa hacia al perno, sin la necesidad de que ambos compartieran alguna línea o área, por lo que se garantiza que utilizando elementos de contacto se pueden obtener resultados satisfactorios.

Referencias

[1] Negrin Hernandez I. y Pérez Ruiz E. A., *Scientia et Technica*, Vol. 14, no. 39, pp 147-152, septiembre 2008.

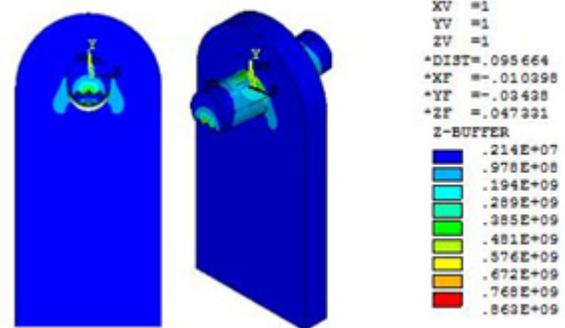


Fig. 11. Esfuerzo de Von Mises en todo el ensamble.

- [2] Zurita J., Doblare M., y Gracia L., *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, Vol. 9, no.1, pp 15-34,1993.
- [3] Di Iorio J.M., "Tensiones de Contacto Fatiga Superficial", Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 2012.
- [4] González Quintero O. y Alfonso Brindis E., *Ingeniería Mecánica*, Vol.3, pp 63-69, Julio de 2008.
- [5] Zeping, W. *Determination and Development of appropriate models of contact element*, University Polithenica of Bucharest, 2009.
- [6] Felippa, C. A., *Introduction to Finite Element Methods*, University of Colorado Boulder, USA. 2004.
- [7] *ANSYS Structural Analysis Guide*, 2009.

Periódica
Índice de Revistas
Latinoamericanas en Ciencias

www.dgbiblio.unam.mx

http://132.248.9.1:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=PER01

Indicaciones para los autores que deseen publicar en Científica

La revista *Científica* es una publicación semestral editada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México, que presenta trabajos de investigación y propuestas originales e inéditas de la Ingeniería Eléctrica, Mecánica, en Sistemas, Electrónica, en Telecomunicaciones y de la Educación en Ingeniería.

Los manuscritos pueden estar escritos en español o inglés y se reciben en formato electrónico (archivo digital adjunto), por medio del correo electrónico revistacientificpn@yahoo.com.mx con atención al Comité Editorial (Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518; Edificio 5, 1^{er} Piso, oficina de la revista *Científica*; Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, Ciudad de México, México).

Los trabajos recibidos son revisados por el Comité Editorial quienes designan a un Editor Asociado (que desconoce tanto la autoría y procedencia de los manuscritos) de acuerdo a la disciplina que cubren los artículos. El Editor Asociado selecciona dos árbitros para que evalúen el escrito (por pares ciegos). Los trabajos pueden ser aceptados para su publicación, aceptados si se realizan modificaciones necesarias o rechazados. La aceptación está sujeta a la aprobación, en todos los casos, de dos revisores; cuando no hay consenso entre los dos primeros revisores el Editor Asociado resuelve el dictamen. Los trabajos deben ser investigaciones o propuestas originales inéditas, sin excepción, sobre las áreas mencionadas y no pueden estar sujetas a revisión en ninguna otra publicación de forma simultánea; además, el resultado del proceso de arbitraje es inapelable y se sujeta, estrictamente, a las políticas dictadas por el Comité Editorial en funciones. Una vez aceptado un artículo, el autor o autores transfieren los derechos de publicación a la institución editora que está representada por el Editor en Jefe de la revista, los artículos estarán bajo una 'Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional'.

Estructura de los artículos

Los manuscritos deben contener los siguientes elementos: *título*, *datos de los autores*, *resumen* (con palabras clave en español), *abstract* (con palabras clave en inglés: *index terms*), *introducción*, los apartados correspondientes al *desarrollo*, *conclusiones* y *referencias*. Dentro del artículo se numeran, solamente, las secciones desde la introducción hasta las conclusiones.

Título

El título debe ser lo más corto posible (sin utilizar abreviaturas de preferencia) y no exceder de tres líneas.

Datos del autor

Se muestran el o los nombres completos de los autores (sin abreviaturas y distinguiendo los nombres de los apellidos con letras en 'negrita': Nombre **Apellido**), la dirección postal de la institución a la cual pertenecen, país, el teléfono (con la clave internacional de su país) y correo electrónico. En el caso de dos autores o más (de diversas instituciones), se deben mencionar los datos completos de cada uno.

Resumen

Debe contener 250 palabras como máximo. Consiste en una pequeña descripción de la investigación y una breve información de los resultados del trabajo que permite a los lectores identificar con rapidez los aspectos fundamentales del artículo y discernir su relevancia.

Abstract

Se incluye el resumen en inglés.

Palabras clave (Index Terms)

Se deben incluir de tres a cinco descriptores del trabajo en español e inglés.

Declaración de subvenciones

Se debe indicar si el trabajo ha sido realizado con la ayuda de una subvención o fondo especial.

Introducción

Expresa los antecedentes, límites, alcances y relevancia del problema. Plantea las premisas del mismo y el objetivo del trabajo. Se sugiere no extenderla como si fuera una exposición analítica.

Desarrollo

Se refiere al desarrollo del tema que puede ser teórico, experimental, teórico-experimental o la descripción de un nuevo diseño.

Conclusiones

Se establece la respuesta global del problema, son los objetivos alcanzados, las hipótesis comprobadas, modificadas o rechazadas.

Referencias

Es la lista de fuentes bibliográficas: artículos, libros, memorias de congresos, etcétera. Deben aparecer en el orden en el cual se mencionan dentro del artículo, señalándose con el número entre corchetes [1], con las siguientes especificaciones (*IEEE Editorial Style Manual*, AENOR UNE-ISO 690):

Artículo de revista científica:

- [1] A. Autor, "Nombre del artículo," *Nombre de la revista*, volumen, número, páginas, mes, año. [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [1] R. Ponce-Morales, F. Sánchez-Silva, I. Carvajal-Mariscal, M. Toledo-Velázquez, and J. S. Cruz-Maya, "Estudio experimental de la reducción de fricción en la conducción de fluidos usando surfactantes," *Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo*, vol. 4, no. 6, pp. 205-217, junio, 2014. [en línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/revista.oa?id=768&idp=1>. Consultado: 20 octubre, 2014.

Libro:

- [2] A. Autor, *Título del libro*, número de edición. Ciudad: Editorial, año. [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [2] J. P. Alperin, D. Babini, and G. E. Fischman, *Indicadores de acceso abierto y comunicaciones académicas en América Latina*, 1ª ed., Buenos Aires: CLACSO, 2014. [en línea]. Disponible en: http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20141217052547/Indicadores_de_acceso_abierto.pdf. Consultado: 5 febrero, 2015.

Tesis:

- [3] A. Autor, "Título de la tesis," grado, departamento, institución, ciudad de la institución, país, año. [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [3] O. I. López-Suárez, "Análisis del desempeño de una prótesis cardíaca en posición aórtica," tesis de maestría, Depto. Ing. Mecánica, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 2010. [en línea]. Disponible en: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/handle/123456789/10306>. Consultado: 17 junio, 2013.

Memorias en congreso:

- [4] A. Autor, "Nombre de la ponencia," en *Nombre del Congreso*, ciudad, país, periodo, año [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [4] S. Agrawal, P. Chaporkar, and R. Udmani, "Call admission control for real-time applications in wireless network," en *INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE*, Turín, Italia, 14-19 abril, 2013. [en línea]. Disponible en: doi, 10.1109/INFCOM.2013.6566789. Consultado: 28 noviembre, 2014.

Agradecimientos

Los agradecimientos se consideran dentro del cuerpo del artículo y se incorporan después de las conclusiones.

Anexos

Los anexos (nomenclatura, simbología, notación) se consideran parte del artículo.

Otras consideraciones

El trabajo se entrega en un procesador de textos (*word*) con páginas en tamaño 'carta' con tipo de letra 'Times New Roman' de 10 puntos, interlineado sencillo y espacio entre párrafos sin sangría (párrafo moderno), alineados a la izquierda, se puede solicitar la plantilla para manuscritos al correo electrónico de la revista revistacientifpn@yahoo.com.mx.

Las ecuaciones y fórmulas se enumeran para mayor claridad, deben encontrarse en formato editable, no como imágenes; los acrónimos y abreviaciones deben definirse la primera vez que sean usados en el texto.

Las figuras deben aparecer en el cuerpo del manuscrito y, además, entregarse en archivos por separado (.tif, .jpeg), es importante que al pasar cualquier imagen por un escáner debe hacerlo con una resolución de 300 ppp (puntos por pulgada). Las tablas deben aparecer en el documento en formato editable.

Los pies de las figuras deben estar debajo de estas con la indicación 'Fig. 1'; además, el título de los ejes en figuras a menudo es causa de confusión, por lo que se sugiere usar palabras en lugar de símbolos. Los encabezados de las tablas deben estar arriba de estas. Se requiere el uso, en todo caso, de símbolos (SI) en lugar de abreviaturas.

En el formato de las referencias se han considerados los lineamientos del *IEEE Editorial Style Manual* (2014) del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) y las especificaciones de la norma UNE-ISO 690 (2013) para su adaptación al español, traducida por la Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.

Científica considera que el material utilizado por los autores para su publicación está debidamente autorizado para tal propósito y le corresponde a los autores, no a *Científica*, obtener los permisos correspondientes para dicho material.

La revista *Científica* realizará las modificaciones editoriales pertinentes para el diseño de los manuscritos en el formato vigente.

Information for Authors Submitting Papers to Científica Journal

Científica is a biannual Journal sponsored by the Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) of Instituto Politécnico Nacional Mexico, it publishes theoretical and experimental research on Electromechanical and Electronics Engineering, Computer Engineering, Telecommunications, and also Education in Engineering.

Manuscripts could be written in English or Spanish and sent by email to revistacientifipn@yahoo.com.mx addressed to the Editorial Board [Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518; Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, Mexico City, DF, Mexico].

Papers are reviewed by the Editorial Board and sent to an Associate Editor (AE doesn't know authors and their affiliations), he chooses two referees (blind peer review) selected for their expertise in a given field and reports to the Editorial Board the results. Authors should only submit original work that has neither appeared elsewhere for publication, nor which is under review for another refereed journal. Author accepts sending his/her paper the Editorial Board Policies. Once a manuscript has received the final approval of the reviewers and Editor-in-Chief, the author will be notified and sent a copyright form, in any event, authors must transfer copyright to *Científica*, papers will be shared by a Creative Commons License 'Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)'.

Manuscripts

The manuscript must be prepared in a *word* format with the sections, starting with an abstract, as shown below:

- **Abstract**
- **Resumen (Spanish abstract)**
- **Introduction**
- **Body of the manuscript**
- **Conclusions**
- **References**

Title

Must be concise and no longer than 3 lines using capital and lower case letters.

Authors' Name and Affiliations

The authors' name must be written below the title using a one column format starting with the given name followed by one or two family names, if two family names applies,

they should be joined by a hyphen (family names must be in **bold** type). Below the authors names must be written the affiliation including the address quality, fax, telephone number and email.

Abstract

The abstract with about 250 words must give a brief description about the research including some comments about the experimental or simulation results and conclusion.

Resumen (Spanish abstract)

It is desirable that, if it is possible, a Spanish abstract be provided.

Index Terms (*palabras clave*)

All papers must contain index terms as provided by the authors. They must be incorporated in Spanish too.

Financial support

All financial support for the work must be listed here and not in the acknowledgment at the end of the paper.

Body of the Manuscript

The body of the manuscript must include an introduction in which the relevance of the research must be explained. A review of related research works by either, the same or another authors must be included. The body of the manuscript also must include the theoretical aspects of the research, as well as experimental or simulation results if any, together with a Conclusions Section.

References

A numbered list of references must be provided at the end of the paper. The list should be arranged in the order of citation in text, not in alphabetical order. List only one reference per reference number. It is not necessary to mention the authors of a reference unless such mention is relevant to the text (see *IEEE Editorial Style Manual*). Sample correct formats for various types of references are as follows.

Periodicals:

- [1] F. N. Author, "Name of paper," *Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, abbrev. Month, year. [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [1] L. H. Hernández-Gómez, I. Saucedo-Meza, G. Urriolagoitia-Calderón, A. Balankin, and O. Susarrey, "Evaluation of crack initiation angle under mixed mode loading at diverse strain rates," *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 42, no. 1, pp. 53-61, Sep. 2004. [Online]. Available: http://www.mfractal.esimez.ipn.mx/integrantes/balankin/balankin_publications/public02/2004_3.pdf. Accessed on: May 25, 2012.

Book:

- [2] F. N. Author, *Title of Published Book*, xth ed. City of Publisher: Abbrev. of Publisher, year. [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [2] L. Jayamaha, *Energy-Efficient Industrial Systems: Evaluation and Implementation*, 1st ed., Portland: McGraw-Hill Education, 2014.

Theses and Dissertations:

- [3] F. N. Author, "Title of thesis/dissertation," M. S. thesis or Ph. D. dissertation, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., year. [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [3] L. H. Hernández-Gómez, "Crack Initiation under Shock Loading: Validation of a New Testing Technique," Ph. D. dissertation, Dep. Mech. Ing., Oxford Univ., Oxford, UK, 1992.

Published Conference Proceedings:

- [4] F. N. Author, "Title of paper," in *Abbreviated Name of Conf.*, City of Conf., Country, year, pp. xxx-xxx [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [4] S. Agrawal, P. Chaporkar, and R. Udmani, "Call admission control for real-time applications in wireless network," in *INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE*, Turin, Italy, 14-19 Apr., 2013. [Online]. Available: doi, 10.1109/INFCOM.2013.6566789. Accessed on: Nov. 28, 2014.

Preparation for publication

The following is a list of general guidelines for the submission of electronic media by prospective authors:

The operating system and word processing software used to produce your document should be noted on your e-mail (postscript and Adobe Acrobat PDF files are not acceptable because the files cannot be edited).

Text in 'Times New Roman' at 10, single spacing without paragraph indent; check that your files are complete. Include: abstract, index terms, text, references and figure captions.

Figures comments must be below them and tables comments above. It is necessary to use the International Systems of Units not abbreviations.

In order to achieve the highest quality of reproduction, resolutions of 600 dpi (1 bit/sample) at final printed size for line art (graphs, charts or drawing) and 300 dpi (8 bits/sample) at final printed size for photographs and other grayscale images are required.

Científica assumes that material submitted to its publication is properly available for general dissemination for the readership of this publication. It is the responsibility of the authors, not *Científica*, to determine whether disclosure of their material requires the prior consent of other parties and, if so, to obtain that consent. If an author uses charts, photographs, or other graphics from previously printed material, he/she is responsible for obtaining written permission from the publisher to use the material in his/her manuscript.

Científica does not provide drafting or art services. Thus, the better the quality of the material submitted, the better the published result. Try to adhere to the accepted style as much as possible. Of particular importance here is the references list, editing references guidelines are from the *IEEE Editorial Style Manual* (Chapter V. Editing References, pp.34-40).

Científica

ISSN 1665-0654

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Instituto Politécnico Nacional, México.

www.cientifica.esimez.ipn.mx
revistacientifipn@yahoo.com.mx.

COMITÉ EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Alexander Balankin
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Jesús del Castillo
Instituto Venezolano de Investigación Científica
VENEZUELA

María Teresa Alonso Rasgado
University of Manchester
REINO UNIDO

Manuel Elices Calafat
Universidad Politécnica de Madrid
ESPAÑA

Marco Ceccarelli
University of Cassino
ITALIA

Héctor Pérez Meana
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Jinhui Shao
University of Shuo
JAPÓN

Indizada en:

Latindex: Sistema Regional de Información en Línea
para Revistas Científicas de América Latina,
el Caribe, España y Portugal.
www.latindex.org

Periódica:

Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.
<http://www.dgbiblio.unam.mx/>
http://132.248.9.1:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=PER01

Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina y
el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información
Científica Redalyc.
redalyc.org.

Vehículo guiado automático con un brazo articulado de 5 grados de libertad

Automatic Guided Vehicle with an Articulated Arm
5 Degrees of Freedom

Noemí **Corro-Valdez**, Ángel **Martínez-Velazquez**,
Pablo **Moreno-Garibaldi**.

MÉXICO

3-10

Estudio antropométrico de la población mexicana masculina laboralmente productiva

Anthropometric Study in a Sample Population of Mexican
Males in Occupationally Productive Age

Axel Ivar **Rangel-Elizalde**

MÉXICO

11-15

Análisis mecánico-estructural de una grúa auxiliar para el traslado de pacientes con problemas de movilidad aplicando el método de extensometría y simulación FEM

Experimental and Numerical Validation of an Auxiliary
Crane for the Transfer of Patients with Mobility Problems,
Applying the Method of Extensometry and FEM Simulation

Carlos Eduardo **Legorreta-Correa**

MÉXICO

17-27

Plataforma electromecánica para cirugía de mano controlada por pedal

Electromechanic Plataform for Hand Sugery Controlled by Pedal

Jonathan **Martínez-Paredes**,

Allan Ronier **Diez-Barroso-Agraz**,

Sandra Denisse **Ontiveros-Paredes**,

Rosario **Olivares-García**.

MÉXICO

29-35

Determinación de esfuerzos entre dos piezas en contacto utilizando el Método de Elementos Finitos

Determination of Stress between Two Parts in Contact
Using The Finite Element Method

Juan **Atonal-Sánchez**, Alexander **Reyes-Cruz**,

Rodrigo **Vázquez-Machorro**.

MÉXICO

37-41

EQUIPO EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón, **Editor en Jefe**
Alma Vicenta Miranda Godínez, **Coordinadora Editorial**
Cuahtémoc Jiménez Pérez, **Editor Técnico**
Luis Alberto Mendez Cruz, **Página Web**