

MISION

Número 1 / Año Uno / 2005 / MEXICO

MECATRONICA



¿Quiénes Somos? ■ Quién es Quién en Mecatrónica

Aplicaciones Mecatrónicas ■ Entrevista: Dr. José Emilio Vargas

Comité Editorial

GERARDO ARREDONDO ACEVES
JOSÉ EMILIO VARGAS SOTO
EFREN GORROSTIETA HURTADO
RAÚL VILLA GARCÍA
CARLOS MACEDA RAMÍREZ
JOSÉ ALBERTO SEGURA Y MORA
SERGIO HERNÁNDEZ CRUZ
CARLOS ALBERTO CONCHA FLORES
MAURICIO PÉREZ PÉREZ
EDUARDO CORTÉS BRINGAS
ARANJUEZ MEJÍA CAMACHO
JOSÉ LUIS SALAZAR MARTÍNEZ
ISMAEL EDU PÉREZ GONZÁLEZ
FERNANDO BECERRIL PEREDA
OZIEL DIDIER LUCAS ROSAS
RICARDO ALBERTO MALDONADO MORALES
GUSTAVO MACIEL LEGARRETA
OSCAR AVILA CAMACHO
RAFAEL DE JESUS MARTINEZ BARRON
JORGE RODRIGUEZ MEDINA

MAYO, 2005

MISIÓN MECATRÓNICA. TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL CONTENIDO LITERARIO O GRÁFICO, SIN PERMISO DEL EDITOR. EL CONTENIDO DE LOS ARTÍCULOS ES RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES. CERTIFICADO DE LICITUD Y CONTENIDO EN TRÁMITE.



ESTA SECCION VA DIRIGIDA A LOS PARTICULARES QUE ESTEN INTERESADOS EN ANUNCIAR SU NEGOCIO O EMPRESA EN ESTA PUBLICACION.

INFORMES Y VENTAS:
ASOCIACION MEXICANA DE MECATRONICA, A.C.
Tel: 52 (442) 224.0257 / Fax: 52 (442) 212.9935
o viste nuestra página web:
www.mecamex.net

CONTENIDO

- 1 EDITORIAL
- 2 QUIÉNES SOMOS
- 4 QUIÉN ES QUIÉN EN MECATRÓNICA
- APLICACIONES MECATRÓNICAS:
 - 5 - SISTEMA BIOMEATRÓNICO
 - 9 - AUTOMATIZACIÓN
 - 11 - CARACTERIZACIÓN DE UN ROBOT
- 16 EVENTOS
- 17 ENTREVISTA:
DR. JOSÉ EMILIO VARGAS

MISIÓN
MECATRONICA

DIRECTORIO

ING. GERARDO
ARREDONDO ACEVES
DIRECTOR

DR. JOSÉ EMILIO
VARGAS SOTO
COORDINADOR

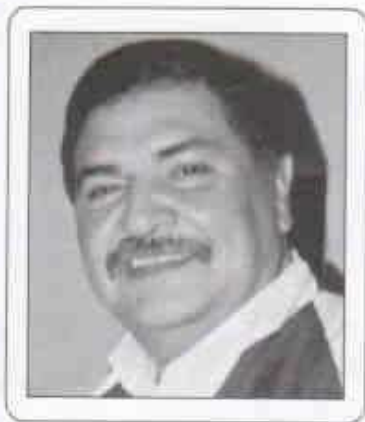
D.G. DIANA MENDOZA
DISEÑO GRÁFICO



ASOCIACION MEXICANA DE
MECATRONICA A.C.

PROL CORREGIDORA NTE No. 168
COL. EL CERRITO QUERÉTARO. QRO.
MÉXICO C.P. 76000
TEL: 52 (442) 212.9935
WWW.MECAMEX.NET

EDITORIAL



ING. GERARDO ARREDONDO ACEVES

ES UN VERDADERO HONOR Y PRIVILEGIO, PODER EXPRESAR EL ALTO GRADO DE IMPORTANCIA QUE REPRESENTA EL INICIO DE ESTE CANAL DE COMUNICACIÓN. RESULTADO DE LA CONSOLIDACIÓN DE UN SUEÑO, QUE DEBIDO A SU IMPACTO EN LA VIDA TECNOLÓGICA DE NUESTRO PAÍS, SE HA CONVERTIDO EN EL PROYECTO DE VIDA DE PERSONAS QUE CREEMOS FIRMEMENTE QUE LA INVESTIGACIÓN, EL DESARROLLO Y LA APLICACIÓN DE LA MECATRÓNICA ABRE NUEVAS POSIBILIDADES DE MEJORA EN EL BIENESTAR DE NUESTRO PAÍS.

LA OPORTUNIDAD DE APLICAR LOS CONCEPTOS MECATRÓNICOS ES YA UNA NECESIDAD. Y ESTA RESPONSABILIDAD LA TOMA CON ENTUSIASMO Y ENTREGA LA ASOCIACIÓN MEXICANA DE MECATRÓNICA, QUE REITERA SU COMPROMISO CON TODOS SUS ASOCIADOS E INVITA A TODOS LOS INTERESADOS EN CONTRIBUIR AL CRECIMIENTO DE UNA VERDADERA GRAN TECNOLOGÍA NACIONAL, QUE AL CONSIDERAR LA INTEGRACIÓN COMO EL GRAN PRINCIPIO DE LA MECATRÓNICA, PUEDA DAR COMO RESULTADO QUE SEAN LA BASE DE UN NUEVO ÓRDEN, NO SOLO TECNOLÓGICO SINO TAMBIÉN SOCIAL DE NUESTRO PAÍS.

RECIBAN TODOS UN SALUDO CORDIAL DE ESTA ASOCIACIÓN, QUE ES DE TODOS Y CADA UNA DE LAS PERSONAS QUE QUIERAN TENER UN CRECIMIENTO INTEGRAL.

INTEGRACIÓN ES LA CLAVE Y LA MECATRÓNICA LA GRAN OPORTUNIDAD DE CRECIMIENTO Y MEJORA. ESTAMOS COMENZANDO, Y CON TODOS USTEDES LLEGAREMOS A DISFRUTAR LA APLICACIÓN DE LA MECATRÓNICA. ESTE MOVIMIENTO YA NO SE DETENDRÁ.

LA ASOCIACIÓN MEXICANA DE MECATRÓNICA, A.C., HOY ES MÁS QUE UN SUEÑO, YA ESTÁ EN MOVIMIENTO.

ING. GERARDO ARREDONDO ACEVES
PRESIDENTE
ASOCIACIÓN MEXICANA DE MECATRÓNICA A.C.



PORTADA NÚMERO UNO
PRIMER AÑO

QUIENES SOMOS

La Asociación Mexicana de Mecatrónica es una asociación civil que comenzó de manera formal y decidida el día 19 de Octubre 2001. Como producto de la iniciativa de nuestro presidente fundador el Dr. José Emilio Vargas Soto y la ayuda de algunos colegas de Empresas, Centros de Investigación e Instituciones Educativas.

Conformándose así una Asociación con la Misión muy clara de **Impulsar el desarrollo de la Mecatrónica a través de vincular las Instituciones de Educación Superior, Centros de Investigación e Industrias, facilitando la realización de desarrollos tecnológicos, de investigación y formación de recursos humanos.**

1002 Miembros Regulares
18 Capítulos en diferentes Instituciones de Educación
910 Estudiantes
19 Consejeros de Capítulo
92 Profesionistas

NUESTRA VISIÓN

SER LA MEJOR ASOCIACIÓN QUE VINCULE AL SECTOR SOCIAL, INDUSTRIAL Y EDUCATIVO, PROMOVRIENDO LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍA QUE BENEFICIE AL PAÍS.

NUESTROS OBJETIVOS

IMPULSAR EL DESARROLLO Y ESTUDIO DE LA MECATRÓNICA EN GENERAL, A TRAVÉS DE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN, TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, FOROS NACIONALES Y PARTICIPACIÓN EN LAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS Y PRIVADAS, ASÍ COMO EN TODO TIPO DE EMPRESAS.

ESTIMULAR EL DESARROLLO E INTERCAMBIO DE IDEAS, Y EXPERIENCIAS SOBRE LA MECATRÓNICA, CON EL AUXILIO DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS, EMPRESAS U OTRAS AGRUPACIONES.

INTEGRAR EL ESFUERZO DE LAS PERSONAS QUE POR SU INTERÉS O TRABAJO REALICEN DIFUSIÓN A TRAVÉS DE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN Y EN TODAS LAS ENTIDADES FEDERATIVAS, SOBRE LA MECATRÓNICA.

FORTALECER, COLABORAR Y APOYAR A TODO TIPO DE INSTITUCIONES QUE DESARROLLEN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA DE LA MECATRÓNICA.

MANTENER UNA RELACIÓN CONSTANTE Y SISTEMÁTICA CON LAS INSTITUCIONES, ORGANISMOS AFINES Y EMPRESAS PARA EL EFECTO DE INTERCAMBIAR INFORMACIÓN Y EXPERIENCIAS RELATIVAS A LA MECATRÓNICA.

CREAR BOLSAS DE TRABAJO Y PROCURAR EL MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO DE LOS PROFESIONALES DE LA MECATRÓNICA.

PRESTAR TODO TIPO DE APOYO QUE SOLICITEN LOS GOBIERNOS FEDERALES, ESTATALES Y MUNICIPALES SOBRE LA MECATRÓNICA.

ADQUIRIR, DISPONER Y OPERAR LOS ACTIVOS, BIENES MUEBLES E INMUEBLES, ASÍ COMO EL MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO PARA LA REALIZACIÓN DE SU OBJETO SOCIAL, FORMAR PARTE DE OTRAS ASOCIACIONES O SOCIEDADES CIVILES O MERCANTILES; EN GENERAL CELEBRAR Y EJECUTAR TODOS LOS ACTOS, CONTRATOS Y CONVENIOS QUE SEAN ANEXOS Y CONEXOS CON SU OBJETO SOCIAL.

Para poder lograr los objetivos que nos hemos planteado,
La Asociación Mexicana de Mecatrónica actualmente ofrece:

- Cursos especiales
- Contacto con empresas e Instituciones
- Información de programas académicos de licenciatura y postgrados
- Asistencia virtual de especialistas
- Información acerca de eventos especiales

Y para la Industria:

- Diseño, construcción, reconstrucción, y asesoría en sistemas, maquinaria y robots de cualquier tipo.



ASOCIACION MEXICANA DE
MECATRONICA A.C.

¿ Te interesaría ser parte de un proyecto Nacional que impulse y promueva la Mecatrónica?

¿ Necesitas información especializada?

¿Desea obtener capacitación en Mecatrónica con descuentos preferenciales?

¿Requieres asesoría o realizar un proyecto?

**Entonces ... no lo pienses más!
Inscríbete a la Asociación**

<http://www.mecamex.net>

integrate@mecamex.net



QUIEN ES QUIEN EN MECATRONICA

Reseña: Carlos Paiz

Hola, mi nombre es Carlos Paiz. Quiero compartir contigo un poco de las experiencias que he tenido en mi proceso de formación aún en curso! y de mi interés por la mecatrónica.

En el año de 1996 inicié los estudios de Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Querétaro (ITQ). Eso significó un cambio bastante radical para mí, pero a la vez la oportunidad de conocer la vida de estudiante de ingeniería, llena de retos, sinsabores y alegrías que hasta la fecha me siguen llenando.

Mi interés por la mecatrónica surgió precisamente en ese periodo, por la participación en proyectos que realicé en el ITQ, entre otros, el concurso de mini-robótica, concurso de creatividad y proyectos de las materias que cursaba. El contacto con profesores, (ahora amigos) que me mostraron el potencial que ofrecía esta nueva filosofía, fue también de gran influencia. Ya en el periodo final de mis estudios en el "tec", me enteré de que el Dr. Emilio Vargas y otros colegas estaban formando una asociación dedicada a la mecatrónica. La idea me pareció estupenda y decidí unirme al esfuerzo. Así, tuve el orgullo de convertirme en uno de los miembros fundadores de la Asociación Mexicana de Mecatrónica, A.C. (AMM).

En el 2001 realicé el proyecto titulado "Diseño de un Diodo Luminiscente por Medio de Silicio Poroso" en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), con el cual obtuve el grado de Ingeniería. En ese mismo año empecé con los estudios de maestría en la Universidad Tecnológica de Chalmers, en Gotemburgo, Suecia, en el área de Sistemas Complejos Adaptativos. Como parte de mis estudios tuve la oportunidad de asistir a eventos internacionales, como el concurso de robótica RoboCup, que se efectuó en la ciudad de Fukuoka en Japón, en el que participé en la liga humanoide. Con este proyecto pude ver claramente la importancia del trabajo en equipos interdisciplinarios para la construcción de sistemas mecatrónicos, como nuestro robot "Elvina II".

En Junio del 2002 asistí a la conferencia internacional SCI2002 realizada en Orlando, en la cual presenté, junto con mi colega Jonas Carlsson, el artículo titulado "Interactive Evolution of Speech using VoiceXML. Speaking to your GP-System". A mediados del 2003, realicé el proyecto de tesis titulado "Driving Simulations Using Artificial Neural Networks", en Volvo Trucks Corporation, en Gotemburgo. Un aspecto interesante del proyecto fue la cooperación industria-universidad, elemento básico para el desarrollo tecnológico.



Al regresar a México en el 2003, se me invitó a dar un curso especial para titulación en el ITQ, llamado "Herramientas para el diseño de sistemas mecatrónicos", el cual impartí junto con mis colegas Arturo Pardo y Arturo Retana, ambos Ing. Mecánicos, con los cuales compartí muy gratas vivencias. El objetivo del curso fue introducir a alumnos de Ingeniería Mecánica, Electrónica y de Sistemas Computacionales a los principales conceptos de la mecatrónica. Se formaron equipos interdisciplinarios que trabajaron en proyectos en la industria o meramente académicos, todos con carácter mecatrónico. Impartir el curso a un grupo tan heterogéneo fue una experiencia de la cual aprendí mucho... sí, enseñando también se aprende!

A partir de Febrero del 2004 estoy realizando estudios de doctorado en el Instituto Heinz Nixdorf, universidad de Paderborn en Alemania. Estoy investigando el uso de arquitecturas dinámicamente reconfigurables (como las FPGAs), para la implementación de control adaptativo de sistemas mecatrónicos autónomos, especialmente robots.

Bien, después de esta breve reseña, me gustaría decirte que la AMM significa para mí, un espacio donde puedo compartir mis ideas e interactuar con colegas que tienen inquietudes similares. Te invita pues, a que participes con nosotros. El espacio está presente, para todos los que queramos hacer de él algo grande.

DISEÑO DE UN SISTEMA BIOMEATRÓNICO DE INYECCIÓN PARA VERTEBROPLASTÍA PERCUTÁNEA

Márquez Miranda Mario¹,
Ferreyyro Ingoyen Roque².

¹Profesor Investigador de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México
²Médico Neuroradiólogo del American British Cowdray Hospital, I. A. P México

1. INTRODUCCION

La vertebroplastia percutánea, es un procedimiento radiológico intervencionista de mínima invasión, consiste en inyectar un biomaterial, polimetilmetacrilato, (PMMA) en el cuerpo vertebral, por vía transpedicular u oblicuo, a través de una aguja para biopsia de hueso [1], [2], [3], [4], [5], [6].

Por su efecto antiálgico, su uso se ha extendido rápidamente en el tratamiento de lesiones líticas por metástasis o mieloma y principalmente en fracturas y colapso vertebral por osteoporosis o por uso prolongado de esteroides. Está indicado principalmente en aquellos casos que se presentan con dolor severo, incapacitante, que no responden a medidas conservadoras, tales como uso de corsé, analgésicos, antiinflamatorios o reposo.

La mayoría de los pacientes, con éste padecimiento, se encuentran en la 6ª a 8ª década de la vida. En éste grupo de edad, la inmovilización resultante de fracturas vertebrales, tiene graves consecuencias en sus condiciones médicas generales y predispone a complicaciones cardiopulmonares, intestinales, circulatorio, etc. Además del dolor, los efectos psicológicos y familiares pueden ser devastadores, deteriora la calidad y reduce la expectativa de vida.

El propósito primordial de éste procedimiento es eliminar o reducir el dolor, estabilizar el cuerpo vertebral, darle mayor resistencia a la compresión y evitar mayor colapso y al mismo tiempo, permitir la movilización temprana de los pacientes y mejorar su calidad de vida [7], [8].

En México, de agosto de 1999 a febrero de 2002, se han realizado 55 vertebroplastia percutánea en 35 pacientes, de los cuales más del 70 % fueron con excelentes resultados [9]. La vertebroplastia, es un tratamiento adecuado para aquellos pacientes con dolor severo e incapacitante.

Actualmente ésta inyección se viene realizando en forma manual con control fluoroscópico [10], conectando una jeringa

RESUMEN

En este trabajo, se presenta el diseño de un sistema biomeatrónico de inyección para vertebroplastia, utilizando el principio de Pascal, con la finalidad de crear una ventaja mecánica. Este sistema, tiene la capacidad de inyectar una suspensión semilíquida de un biomaterial, polimetilmetacrilato (PMMA), a través del hueso esponjoso vertebral por vía transpedicular u oblicuo, utilizando una aguja para biopsia de hueso y una jeringa de 3, 5 ó 10 ml, el vástago de esta jeringa es empujado por el émbolo del sistema, éste a su vez, recibe una fuerza creada a distancia por un fluido, éste fluido, es desplazado a través de un tubo flexible de diámetro pequeño por un émbolo con vástago, éste vástago es desplazado por la fuerza de la mano del médico. Este sistema, tiene la finalidad de resolver dos problemas complejos, asociados por el mismo procedimiento: Inyectar el PMMA a través de la aguja y alejar al operador una distancia adecuada, con la finalidad de alejarlo de la sobre exposición a la radiación primaria y secundaria y reducirla a niveles aceptados por las normas de protección radiológicas nacional e internacional.

Palabras clave: Proceso de diseño, vertebroplastia, biomaterial, reducción de la radiación.

de insulina, de 1 ml a la aguja para biopsia. Esto implica que el operador está en contacto directo con el paciente y sujeto a sobre exposición a radiación ionizante primaria y/o secundaria, durante el procedimiento.

Si se pretende usar jeringas de mayor capacidad, debido a la densidad del biomaterial PMMA [11], [12], [13], la presión manual es insuficiente y es necesario el empleo de algún dispositivo mecánico para ejercer la presión requerida. Comercialmente se dispone de diversos equipos que emplean una pistola de presión o mecanismos de tornillo, pero también se conectan directamente a la aguja o bien, a través de un tubo conector corto, puesto que un tubo largo presenta una resistencia importante al flujo del material, favoreciendo su solidificación.

2. OBJETIVO

Diseñar un sistema biomeatrónico de inyección para vertebroplastia percutánea, con la finalidad de inyectar PMMA en los cuerpos vertebrales por vía transpedicular u oblicuo a través de una aguja para biopsia de hueso, con una jeringa de 3 ml y reducir la sobre exposición del operador a radiación ionizante, sin perder el control del volumen y velocidad de inyección del PMMA y prevenir posibles complicaciones.

3. PROCESO DEL DISEÑO

El proceso de diseño que aquí se propone [14], consiste en las siguientes etapas:

3.1 Identificación del problema

La radiación que el operador recibe, durante un procedimiento radiológico intervencionista como el que se describe, proviene directamente del cuerpo del paciente en forma de radiación secundaria y

En algunos casos, radiación primaria directamente del tubo de Rayos X, por la necesidad de inyectar en determinada posición en la que no es posible alejar las manos del haz principal.

Una parte importante de las medidas de protección radiológica del personal ocupacionalmente expuesto, es mantener una distancia de la fuente de radiación, tomando en cuenta que, la energía de la radiación electromagnética, se reduce inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

3.2 Dispositivos existentes

Los dispositivos disponibles en el mercado para inyección de PMMA cumplen con el objetivo de ejercer la presión necesaria para inyectar el material, pero continúan exponiendo al operador a dosis importantes de radiación ya que no le permiten alejarse de la fuente de radiación [15]. Algunos de los dispositivos analizados son los siguientes: Dispositivo de Al-Assin y Colaboradores [16], Dispositivo [17], Dispositivo Striker Instrument [18], Dispositivo de Cook Inc. [19] y el dispositivo de Schallen y Colaboradores [20].

3.3 Partes del sistema y requisitos a cumplir

Es común que el usuario, describa o explique el problema y el sistema que necesita para el desempeño de trabajo. Es importante que el ingeniero, traduzca esta descripción, plantee los requisitos del usuario y el del propio diseño. Requisitos del usuario:

- Que el sistema permita ejercer fuerza variable y controlable manualmente.
- Que el sistema permita suspender en forma inmediata la presión.
- Que el sistema sea completamente esterilizable.

Requisitos de diseño:

Funcionalidad y características físicas. El sistema debe funcionar manualmente, debe producir por lo menos 140 N de fuerza, longitud de 1000 a 1500 mm., inyectar 3, 5 ó 10 ml de PMMA, sin causar esfuerzo en el médico, durante el procedimiento. Además que tenga una unión firme, tipo "Luer Lock" o "Hub Lock", compatible con rayos X, que sea fácil y rápidamente intercambiable, flexible y que no exceda un Kg. de peso.

3.4 Propuestas de diseño

En esta etapa, se genera las alternativas de diseño, que cumpla por lo menos, la especificación de generar 140 N de fuerza, definidas por el usuario y los requerimientos de diseño propio del sistema.

3.4.1 Usando un sistema de tornillo

Se presentan solamente tres dispositivos de los más conocidos, que usan un sistema de tornillo [16], [17], [19] y [20]. Por lo general, se presentan las siguientes dificultades en una unión atornillada: La carga no se distribuye sobre los hilos de rosca, el eje de las roscas internas no es perpendicular a la cara de asiento de la tuerca, la superficie no es plana y perpendicular al eje del perno y el agujero no es perpendicular a la superficie ni al eje. Figura 1.

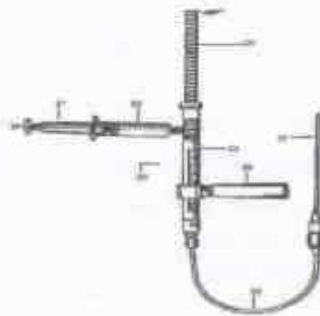


Figura 1. Configuración del Dispositivo de Al-Assin.

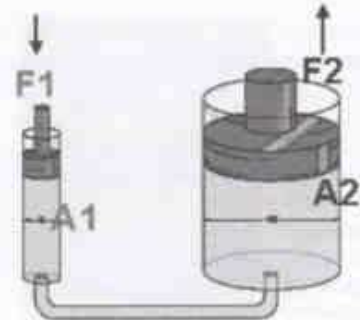
El sistema COOK y Schallen, se conectan directamente a la aguja para inyectar el biomaterial, se enfoca a ejercer la presión necesaria en forma directa o bien a una distancia muy corta del paciente y de la fuente de radiación, no permite al operador alejarse una distancia adecuada, que el operador redujera la exposición a la radiación secundaria a niveles dentro de la norma de protección radiológica nacional e internacional. La figura 2, muestra el sistema COOK.



Figura 2. Dispositivo de Cook Inc.

3.4.2 Utilizando un fluido hidráulico

Una de las propuestas de diseño, más eficiente comparado con los dispositivos anteriores, es el que se presenta a continuación. La base teórica para el funcionamiento del sistema, consiste en la aplicación en la Ley de Pascal. De acuerdo con ésta Ley, una presión aplicada en una de las columnas se transmite íntegramente y en todas direcciones, figura 3.



<http://www.howstuffworks.com/pulley1.htm>

Figura 3. Aplicación de la Ley de Pascal

Por lo tanto, si se aplica una fuerza F_1 sobre el émbolo de área A_1 , causará una fuerza de salida F_2 , que actúa sobre un émbolo de área A_2 , de esta manera la presión de entrada es igual a la presión de salida, es decir:

La ventaja mecánica ideal del dispositivo, es igual a la relación de la fuerza de salida con respecto a la fuerza de entrada.

Donde resulta que, una pequeña fuerza de entrada puede ser multiplicada (A_2/A_1), veces para producir una fuerza de salida mucho mayor (F_2), utilizando un émbolo de salida con un área mucho mayor que la del émbolo de entrada. La fuerza de salida estará dada por:

En una situación ideal, si se desprecia la fricción, el trabajo de entrada debe ser igual al trabajo de salida. Si la fuerza F_1 , recorre una distancia S_1 , mientras que la fuerza de salida F_2 , viaja una distancia S_2 , entonces se tiene la igualdad:

La ventaja mecánica, se puede escribir en términos de las distancias recorridas por los émbolos:

Se observa que la ventaja mecánica, se gana a expensas de la distancia que recorre el émbolo de entrada.

Otra ventaja del dispositivo, es que la transmisión de la presión es inmediata, es decir, no tiene una memoria dinámica por efectos de la viscosidad incrementada, debido a la solidificación por tiempo prolongado en el trayecto de inyección, situación que sucede en los dispositivos de inyección ya mencionados, dispositivos que manejan el volumen completo de cemento a inyectar y vástagos roscados en los que no se tiene sensibilidad de tacto respecto a la presión ejercida y el cemento puede llegar a detramarse dentro del cuerpo vertebral.

El uso de jeringas de diámetro reducido en la aplicación del cemento óseo, tiene la ventaja de que el flujo, ofrece menos resistencia en la aplicación, por lo que se puede usar el cemento en una consistencia más viscosa, de ese modo reducir las posibilidades de que el cemento pueda salirse del cuerpo vertebral en la operación de relleno.

3.5 Diseño Detallado del Sistema

Se aplicó un método de selección del sistema [21], se utilizaron criterios como: muy bueno, bueno y malo y conceptos como: Mucha fuerza, esterilizable, poco peso, bajo costo, respectivamente.

En esta etapa se realizó un plano detallado del sistema, figura 4. En esta figura se muestran dos vistas frontales, de los elementos A y B, A, es el elemento que proporciona una fuerza de 145 N, aproximadamente, el cilindro tiene una longitud de 60 mm y un diámetro de 15 mm, y la parte final, un diámetro de 27 mm. La parte B, es un tubo flexible de una longitud de 1500 y de 3 mm, respectivamente. El elemento C, es un cilindro de 150 mm de longitud y un diámetro de 5 mm. Los elementos A, B y C, están contruidos con material plástico médico de alta densidad y alta resistencia.

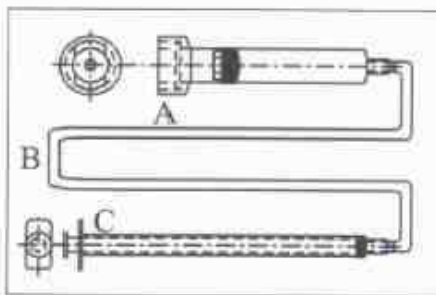


Figura 4. Detalles del Sistema biomédico para vertebroplastia.

3.6 Construcción y pruebas de funcionamiento del sistema

Se construyó un prototipo, figura 5, se realizaron seis pruebas físicas en condiciones cercanas a las reales, empleando rayos X, los materiales y accesorios habituales, pruebas de fuerza y funcionalidad, rapidez de operación incluyendo la preparación del PMMA e inyección intra ósea en vértebras de bovinos.

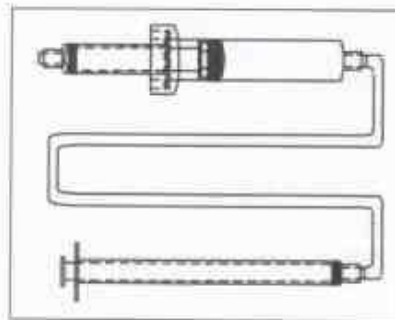


Figura 5. Prototipo de sistema de inyección

El dispositivo funciona de la siguiente manera, figura 6.: Se ejerce una fuerza manual, 9 N, [22] sobre el vástago (9) de la jeringa manual (8) desde su posición extendida, la fuerza ejerce una presión que se transmite a través del fluido incompresible (10) contenido en el tubo flexible y en la cámara (5) del cuerpo de presión (1), dicha presión ejerce una fuerza aumentada sobre el vástago de la jeringa de inyección, según la relación de áreas o desplazamientos descrita antes, que impulsa el vástago de la jeringa de inyección (a), éste a su vez, ejerce fuerza sobre el biomaterial o cemento a inyectar en el cuerpo vertebral del paciente, por medio de la aguja para biopsia de hueso, esta aguja se atornilla en el extremo de la jeringa de inyección.

Una vez que el total del contenido de la jeringa de inyección ha sido vertido en el cuerpo vertebral, se procede a retraer el vástago de la jeringa manual para generar espacio en el interior del cuerpo de presión (1) y que de este modo permita la colocación de un nuevo cartucho de cemento óseo con el vástago en su posición extendida, luego se procede a desatornillar la jeringa de inyección vacía de la aguja, después que se coloca (se atornilla en la aguja), después se acopla el nuevo cartucho en la ranura interna del cabezal del cuerpo

de presión y con el un nuevo cartucho lleno de material o cemento óseo se aplica y rellena el cuerpo vertebral esponjoso o fracturado, ejerciendo una fuerza en la jeringa manual del extremo distal contrario. Por lo general una lesión de este tipo requiere un volumen aproximado de 10 ml, por lo tanto, es necesario cambiar el cartucho de tres a cuatro veces.

Con este procedimiento no se mueve la aguja de inyección, situación que implica varias ventajas, tanto para el paciente que evita ser agujerado en varios lugares por varias veces y para el operador que no tiene problemas de solidificación del biomaterial o ruptura de algún vástago, por la acción de la fuerza intensa que se ejerce, cuando ya el cemento ha comenzado a solidificarse.

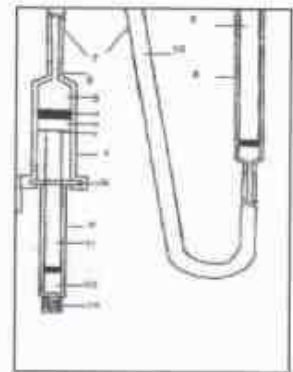


Figura 6. Componentes del sistema

4. Recursos Requeridos

Para el desarrollo e innovación continua de este sistema, se ha requerido la participación de un médico especialista en Radiología Intervencionista, familiarizado con el manejo de equipo radiológico, medidas preventivas de protección radiológica, en la aplicación y manejo del biomaterial, el tratamiento de vertebroplastia percutánea, así como de un especialista en Ingeniería y tecnología (Biomecatrónica), con capacidad de interpretar y asociar claramente las necesidades del médico con las especificaciones del propio sistema.

5. Conclusiones

Se ha logrado diseñar y construir un sistema biomeatrónico, que ha resuelto dos problemas fundamentales de la vertebroplastia percutánea: Inyectar el biomaterial, PMMA a través de la aguja y alejar al operador una distancia adecuada y reducir la exposición a la radiación primaria y secundaria a niveles aceptados por las normas de protección radiológicas nacional e internacional. Además el sistema diseñado, cumple con los requerimientos del cliente y las especificaciones detalladas del sistema. Se ha iniciado la solicitud de dos patentes con el código: PCT/MX 03/00027. Se ha iniciado una solicitud de ética ante el Hospital ABC, de ser aprobados, ya se podrán realizar vertebroplastias en los pacientes utilizando este sistema.

6. Agradecimientos

Los resultados de esta investigación, se han logrado gracias al apoyo de las siguientes instituciones: en la parte inicial, de la Universidad Anáhuac del Sur, y en especial a la Escuela de Ingeniería y la parte final a la Universidad Tecnológica de la Mixteca, y en especial a los laboratorios de CAD/CAM, manufactura y plásticos, donde se obtuvieron los primeros prototipos del sistema. Un especial reconocimiento al Hospital ABC, México, y al personal por las facilidades prestadas en el desarrollo de las pruebas de vertebroplastia.

Referencias

1. Deramond H, Depriester C, Galibert P, Le Gars D. *Percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate. Technique, indications, and results. Service de Radiologie A, Centre Hospitalier Universitaire, Amiens, France. Radiol Clin North Am.* 36(3):533-46, 1998.
2. Convery FR, Gunn DR, Hughes JD, Martin WE. *The relative safety of polymethylmethacrylate. J Bone Joint Surg.* 57-A (1): 57-64. 1975
3. Jensen ME, Dion JE. *Percutaneous vertebroplasty in the treatment of osteoporotic compression fractures. Neuroimag Clin North Am;* 10(3): 547-568; 2000
4. Tohmeh AG, Mathis JM, Fenton DC, Levine AM, Belkoff SM. *Biomechanical efficacy of unipedicular vs. bipedicular vertebroplasty for the management of osteoporotic compression fractures. Spine* 24(17): 1772-1776, 1999.
5. Jensen ME, Evans AJ, Mathis JM, Kallmes DF, Cloft HJ, Dion JE. *Percutaneous polymethylmethacrylate vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral body compression fractures: Technical aspects. AJNR;* 18: 1987-1904, 1997
6. Cotten A, Boutry N, Cortet B, y col. *Percutaneous vertebroplasty: State of the art. Radiographics;* 18: 311-320, 1998
7. Cook DJ, Guyatt GH, Adachi JD, y col. *Quality of life issues in women with vertebral fractures due to osteoporosis. Arthritis and Rheumatism;* 36(6): 750-756, 1993
8. Gold DT. *The clinical impact of vertebral fractures: Quality of life in women with osteoporosis. Bone* 18(3): 185S-189S, 1996
9. Ferreyro Roque, Rafael Rojas J, Maria L. Escobar. *Vertebroplastia percutánea; criterios de selección. Anales de Radiología México;* 497-506, 2002.
10. Gangi A, Kastler B, Dietemann JL. *Percutaneous vertebroplasty guided by a combination of CT and fluoroscopy. AJNR* 15: 83-86, 1994.
11. Krause W, Miller J, and Ng P. *Viscosity of Acrylic Bone Cement. Journal of Biomedical Materials Research.* 16:219-243. 1982
12. Flahiff CM, Gober GA, Nicholas RW. *Pullout strength of fixation screws from polymethylmethacrylate bone cement. Biomaterials;* 16(7):533-536, 1995
13. Merck KgaA Werk Darmstadt <http://www.biometmerck.com/english/products/index.htm>
14. Pugh Stuart. *Total Desing.* Addison Wesley, Great Britain, 1995
15. David F. Kallmes, Erwin O, Soma Sinha Roy, Richard G. Piccolo, William F. Marx, Jae K. Lee and Mary E. Jensen. *Radiation Dose to the Operator during Vertebroplasty: Prospective Comparison of the Use of 1-cc Syringes versus an Injection Device. AJNR* 24:1257-1260, 2003.
16. Al-Assin I, Perez. Higuera A, Florensa J, Muñoz A, Cuesta E. *Percutaneous vertebroplasty: A special syringe for cement injection. AJNR;* 21: 159-161, 2000
17. Parallax Medical, In. www.parallax-medical.com/
18. Stryker Instrument, In. www.strykercorp.com/products/bone.htm
19. Cook Inc. [Http://www.cookincorporated.com/products/needles/HPISY.html](http://www.cookincorporated.com/products/needles/HPISY.html)
20. Schallen E., Gilula L. *Vertebroplasty: Reusable flange converter with hub lock for injection of polymethylmethacrylate with Screw-plunger syringe. Radiology* 2002; 222: 851-855.
21. Syan S. Chanan y Mennon Unny. *Concurrent Engineering.* Chapman & Hall, 1994.
22. Mathiowetz V, Kashman N, Volland G, Weber K, Dowe M, Rogers S. *Grip and Pinch Strength: Normative Data for Adults. Arch Phys Med Rehabil.* 66:69-72, 1985.

MECAP TRONICA

Centro de Articulación
Productiva en Mecatrónica A.C.

Apoyando a la Pequeña
y Mediana empresa:

Evaluación
Tecnológica
Empresarial

Asesoría
Especializada

Bolsa de
Trabajo

Proyectos de
Automatización

Mayores informes:

www.mecamex.net/cap

Carlos Maceda
c.maceda@mecamex.net

Eficientización en la automatización de selección, orientación y enrutamiento de cajas de cable en una línea de producción de manufactura

Recio Alonso Mario Arturo

Delphi - Mexico Technical Center - Energy & Chassis - Linear & Digital Sensors - Sensors & Actuators Competency Group

1. INTRODUCCION

Tradicionalmente los programas que se utilizan en los autómatas programables (PLCs) tienen la misma apariencia que los diagramas a relevadores que sustituyen.

Esto es especialmente útil para salidas que son simplemente una combinación de las entradas y también es útil cuando la secuencia es realmente pequeña, por decir, dos o tres estados.

Por estandarización, una empresa puede escoger este tipo de programación para la automatización de toda su maquinaria, cosa que puede ser contraproducente, en especial cuando se trata de secuencias largas e intrincadas. Tal es el caso del presente trabajo realizado en Panasonic ACOM-BC en una de sus líneas de producción de cajas de cable (STT) en 1998.

La maquinaria en cuestión tiene como finalidad "recoger" una a una las cajas de cable de un horno de envejecimiento "aging" y colocarlos en una orientación específica, sobre una banda de ajuste y prueba final. Después del ajuste y la prueba final, los STTs son empacados y enviados a bodega y embarque.

Según la experiencia del autor, no es raro encontrar en la industria mexicana de nuestros días programas en PLCs realizados con un tipo de programación no adecuada para la aplicación. Industria y máquinas que pueden ser altamente beneficiadas por la programación graficet como en el presente artículo.

2. ANTECEDENTES

El horno de envejecimiento que entrega STTs a la máquina cuenta con cuatro bandas transportadoras relativamente largas (~20m), que se mueven a baja velocidad mientras se mantienen conectados y encendidos. Con ello se logra que el STT se encuentre en condiciones de operación extremas y se permita identificar a los elementos que son marginalmente operacionales.

La banda de ajuste y prueba final es única y esta se encuentra dispuesta según se muestra en la figura 1.

RESUMEN

El presente trabajo describe el cambio de programa de un PLC para disminuir las interrupciones no previstas en una línea de producción. La aproximación para tal hecho fue la de cambiar una programación netamente de escalera secuencial por una programación de graficet modular y agregar acciones deseadas bajo condiciones anormales.

Palabras clave: programación, automatización, PLC, secuencias, programación graficet, programación escalera.

Por otro lado, la máquina se puede analizar como se muestra en la figura 2. Los seguros, detienen el material hasta que sea requerido por el enrutador. El enrutador selecciona los STTs de cada una de las bandas, los rota 180° y los deposita uno a uno en el transportador, el cual los lleva hasta la altura del "conveyor" de ajuste y prueba final.

El programa contenido en el PLC presentaba el formato de la figura 3. Típico programa de escalera.

Este programa contaba con 422 líneas. Ello implica que bajo una pequeña modificación era prácticamente imposible de predecir su impacto en el segmento de

secuencia o demás implicaciones de la operación de la máquina.

El inconveniente de este esquema y la razón de la iniciativa de cambio, fue que por si alguna razón o circunstancia un STT, no llegaba al puerto de recolección ("conveyor"), la máquina se detenía y con ello la producción.

En su momento de la suspensión de la producción, se tenía que buscar dentro del horno, el problema que lo había causado, abrir el horno, eliminar el problema y permitir que todos los STTs se encuentren presentes en cada uno de los puertos para su ulterior recolección.

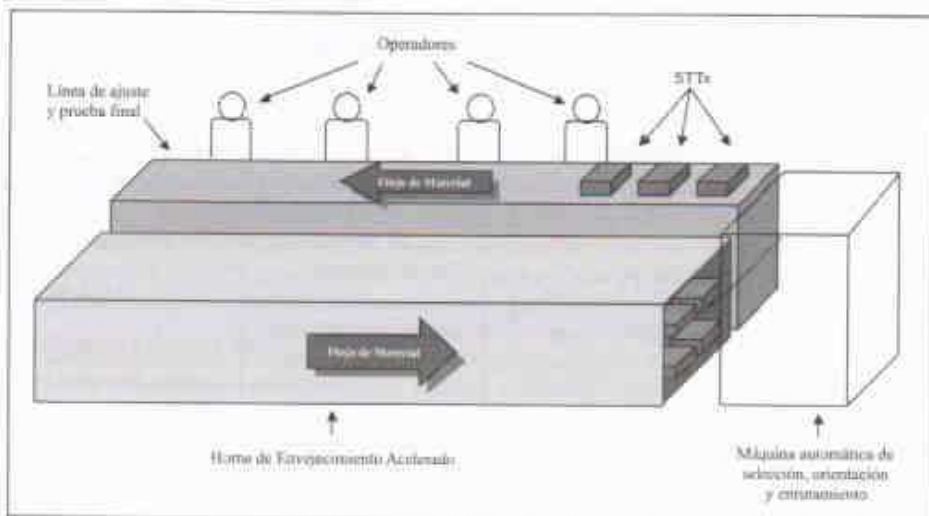


Fig. 1 Esquema de la línea de producción

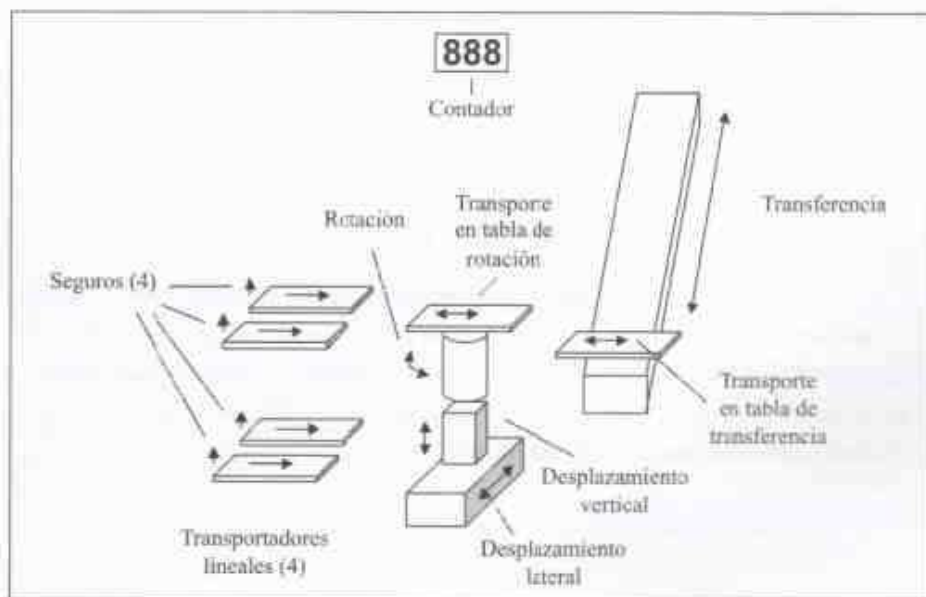


Fig. 2 Esquema de la máquina automática de selección, orientación y enrutamiento.

3. Propuesta y Solución

Una propuesta fue la de agregar unos interruptores que permitieran habilitar y deshabilitar individualmente los puertos de recolección y a su vez, permitiera continuar la producción con las restantes bandas. Sin embargo, ello presentó dos problemas: 1) el primer operador de la banda de ajuste y prueba tenía que percatarse del hecho y tomar la acción correspondiente bajo una previa capacitación y 2) se requería de otro PLC ya que todas las 32 entradas disponibles se encontraban utilizadas. Nota: se usan 19 de las 24 salidas disponibles para los actuadores y el contador.

La solución implementada fue la de descomponer la maquinaria en módulos funcionales con entradas y salidas interdependientes y dejar que el PLC decidiera mediante este nuevo programa acerca de pasar a recoger los STTs de una línea en particular del horno o no.

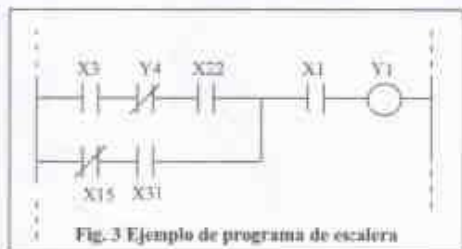


Fig. 3 Ejemplo de programa de escalera

Para ello, ya que no se contaba con documentación alguna de la máquina, se siguió la siguiente metodología:

a). Encontrar la asociación entre sensores y entradas al PLC. Esto se logró activando y desactivando uno a uno de los sensores y observar el estado de las entradas del PLC.

b) Encontrar la asociación entre salidas y actuadores en la máquina. Se logró "forzando" en el PLC una a una de las salidas y observando el actuador que presentaba algún cambio.

c) A cada grupo de actuadores que tenía una función específica dentro de la máquina se etiquetó con el nombre de esta función. Así surgieron los grupos: dosificador, enrutador y transportador.

d) Se codificó fuera de línea en una computadora personal el programa grafet que generaría el comportamiento requerido en la máquina.

e) Se respaldó el programa original del PLC en una computadora personal y se descargó el nuevo programa basado en grafet en el PLC.

f) Se depuró el programa y se le asignó el valor adecuado a las variables de ajuste.

El programa resultante tiene el formato de la figura 4:

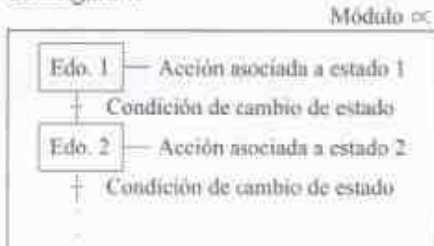


Fig. 4 Ejemplo de programa grafet.

A juicio del autor equivale a cambiar un programa de computadora personal, de código lineal a uno orientado a objetos.

4. RESULTADOS

El programa se implementó exitosamente, logrando que cualquier una, dos, o tres bandas que no entregasen STTs sean descartadas de la secuencia de recolección, dejando así sólo el paro cuando ninguna de las bandas entregase STTs y reanudándose automáticamente su operación normal de la banda con problema cuando sus condiciones se reestablecieran. No se requirió de esta forma, de la continua supervisión de un operador, ni de la compra de otro PLC, ni tiempos caídos debido a recableados. Las interacciones con la máquina se llevaron a cabo solamente en tiempos sin producción (el tiempo de carga y descarga del programa del PLC tomaba aproximadamente 15 segundos). Se incrementó la producción y fueron eliminados los tiempos muertos debido a STTs atorados o por bandas rotas en el horno de envejecimiento. Estos problemas representaban en su momento más del 85% del tiempo muerto de la línea de producción.

5. CONCLUSIONES

Con la aproximación de grafet y modularidad (individualidad de comportamiento de conjunto de actuadores, o individualidad de objetos) se logró un programa más eficiente, legible, de fácil mantenimiento y productivo. Se eliminaron tiempos muertos, no se agregaron operaciones adicionales y no se realizaron inversiones costosas y se evitaron prolongados paros de línea.

6. REFERENCIAS

- [1] Groover M. "Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing", Prentice Hall, USA, 2da Ed, 2001.
- [2] Favela A. "Laboratorio integral de ingeniería de control", ITESM, México, 1996.
- [3] Palomera F. "Manual del laboratorio de sistemas de control automático", ITESM, México, 1996.
- [4] Palomera F. "Manual del laboratorio de control de procesos", ITESM, México, 1996.

² Nota del autor: lo que se detectó es la correcta asociación de entradas con sensores en la entrada del horno y ya que la longitud de dicho horno es considerable (~ 20 m) se asoció la colaboración de un técnico y mediante un enlace de "salida-salida" se detectó su asociación. Este proceso fue algo más que manual y sin sentido para otros usuarios del mismo nivel de EP de "salida-salida" en la planta de manufactura.

Caracterización de un robot manipulador articulado

ABDALÁ CASTILLO SALOMÓN
NECO CABERTA RAÚL

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

1. INTRODUCCION

El Scorbot-ER V plus, es un robot (figura 1) perteneciente a una celda de manufactura (CIM), instalada en el laboratorio de mecatrónica, del Cenidet. De acuerdo a sus características: se puede decir que el Scorbot - ER V plus tiene una configuración de tipo manipulador articulado y cuenta con una arquitectura poliarticulada

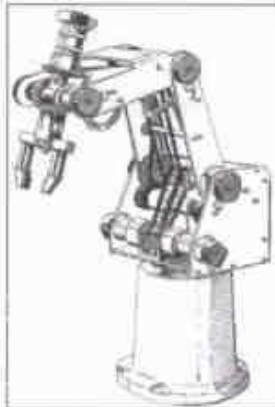


Figura 1 Scorbot - ER V plus.

Este robot dispone de manuales para el usuario, que contienen información necesaria para su instalación, conocimiento y manejo. Es un robot de 5 GDL (grados de libertad), cada articulación realiza movimientos rotatorios desarrollados por actuadores que son servomotores de 12 voltios de corriente directa (VCD) y su posicionamiento se registra a través de encoders.

Cada par generado por los servomotores es transmitido por sistemas de engranaje y bandas dentadas, su capacidad máxima de carga es de un kilogramo, los elementos que lo integran están contruidos de acero, plástico y aluminio siendo este último el que constituye la mayor parte de su estructura, su sistema de control consta de un controlador del tipo PID.

2. Dinámica inversa

El modelo dinámico inverso expresa las fuerzas y pares que intervienen, en función de la evolución temporal de las coordenadas articulares y sus derivadas. Resolver las ecuaciones dinámicas de movimiento para un robot no es una tarea simple debido a los grandes números de grados de libertad y sistemas no lineales que lo componen; para poder definir dichas ecuaciones en el Scorbot ER V plus se empleó la formulación de movimiento de Lagrange.

Para el desarrollo del modelo se omitieron los dos últimos grados de libertad, ya que pertenecen a la orientación del efector final y sus efectos no son significativos para el comportamiento dinámico del robot. En general se consideró al manipulador como un sistema rígido, concentrando las masas en el centro de cada eslabón tal y como lo muestra la figura 2; además fueron considerados los efectos de fricción provocados por las transmisiones mecánicas que en este

RESUMEN

Hoy en día dentro del sector industrial se puede ver que el uso de los robots manipuladores es amplio, cumpliendo tareas que para el ser humano resultan peligrosas o monótonas.

Un robot manipulador puede ser diseñado y programado para diversas tareas, sin embargo, esta no es una tarea fácil para ello es necesario un análisis teórico de su funcionamiento de acuerdo a sus características físicas (arquitectura, configuración, grados de libertad, tipo de control, etc.) por eso resulta importante el desarrollo de modelos matemáticos como lo pueden ser los modelos dinámicos que en este trabajo se desarrollaron para el robot manipulador Scorbot ER V plus aplicando la ecuación de movimiento de Lagrange combinada con la función de disipación de Rayleigh, empleando los modelos resultantes para la simulación en PC y utilizando el software Matlab/Simulink, las simulaciones fueron comparadas con pruebas físicas realizadas al Scorbot ER V plus, tales pruebas consistieron en la adquisición de señales de corriente que se convirtieron posteriormente a señales de par de tal forma que se pudiera dar una comparación entre estas señales y las obtenidas de la simulación, validando así los modelos dinámicos, el error obtenido fue entre un 20 y un 30%, lo cual se considera bueno tomando en cuenta que las simulaciones fueron hechas bajo condiciones ideales las cuales no se pudieron tener en las pruebas físicas.

caso se da por engranajes (esta consideración es importante ya que estos efectos pueden alcanzar un orden de un 25% del par requerido para mover al manipulador en situaciones típicas [1]). Esto hace que el sistema sea no conservativo, sin embargo, el sistema puede ser resuelto por medio de la formulación de Lagrange y finalmente aplicando la función de disipación de Rayleigh se permite adicionar los efectos de fricción al modelo dinámico. En el análisis de cada eslabón, los efectos de las Energías Cinética y Potencial de los eslabones anteriores (si existen) repercuten en el análisis del eslabón en cuestión. Las pérdidas debidas a los buelgos y excentricidades en los engranajes, así como la eficiencia del motor fueron despreciadas dentro del análisis de la ecuación de movimiento de Lagrange.

La figura 2 muestra las condiciones dinámicas del manipulador, donde cada variable está definida de la siguiente manera:

- W = Carga aplicada
- m_i = Masa del i-ésimo eslabón
- g = Constante de gravedad
- l = Radio de giro para la masa de la base
- a = Longitud del primer eslabón
- b = Longitud del segundo eslabón
- I_i = Inercia i-ésima del eslabón
- V_i = Velocidad lineal del i-ésimo eslabón
- K_i = Energía cinética del i-ésimo eslabón
- P_i = Energía potencial del i-ésimo eslabón

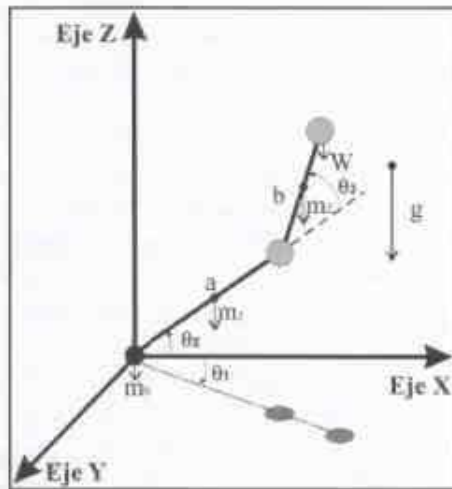


Figura. 2 DCL de la dinámica inversa.

A continuación se muestra el desarrollo del modelo dinámico inverso [1][2][3][4][5].

K_b = Energía cinética de la base

$$K_b = \frac{1}{2} I_b \dot{\theta}_1^2 \quad (1)$$

$$I_b = m_b l^2 \quad (2)$$

$$K_b = \frac{1}{2} m_b l^2 \dot{\theta}_1^2 \quad (3)$$

P_b = Energía potencial de la base

La energía potencial es cero debido a que un posible cambio en el ángulo θ , no altera la altura de la masa m_b sobre la vertical.

K_1 = Energía cinética del eslabón 1

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{a}{2} \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{a}{2} \cos \theta_1 \right)^2 \dot{\theta}_1^2 \right) \quad (4)$$

Aplicando la identidad $\cos^2 \theta = \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\theta \right]$

a la ecuación 4 se obtiene:

$$K_1 = \frac{1}{8} m_1 a^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{16} m_1 a^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{16} m_1 a^2 \cos 2\theta_1 \dot{\theta}_1^2 \quad (5)$$

P_1 = Energía potencial del eslabón 1

$$P_1 = m_1 g \frac{a}{2} \text{sen} \theta_1 \quad (6)$$

K_2 = Energía cinética del eslabón 2

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 V_2^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\theta}_2^2 \quad (7)$$

$$V_2^2 = x_2^2 + y_2^2 \quad (8)$$

$$x_2 = a \cos \theta_1 + \frac{1}{2} b \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (9)$$

$$y_2 = a \text{sen} \theta_1 + \frac{1}{2} b \text{sen}(\theta_1 + \theta_2) \quad (10)$$

Derivando y elevando al cuadrado las ecuaciones (9) y (10) para sustituir en (8) y aplicando identidades trigonométricas tenemos:

$$V_2^2 = a^2 \dot{\theta}_1^2 + ab(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2) \cos \theta_1 + \frac{1}{4} b^2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2) \quad (11)$$

$$I_2 = m_2 x_2^2 \quad (12)$$

$$x_2^2 = a^2 \cos^2 \theta_1 + ab \cos \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) + \frac{1}{4} b^2 \cos^2(\theta_1 + \theta_2) \quad (13)$$

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 a^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 ab(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2) \cos \theta_1 + \frac{1}{8} m_2 b^2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2) + \frac{1}{4} m_2 a^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{4} m_2 a^2 \cos 2\theta_1 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 ab \cos \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{16} m_2 b^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{16} m_2 b^2 \cos 2(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2 \quad (14)$$

P_2 = Energía potencial del eslabón 2

$$P_2 = m_2 g a \text{sen} \theta_1 + \frac{1}{2} m_2 g b \text{sen}(\theta_1 + \theta_2) \quad (15)$$

K_c = Energía cinética con respecto a la carga

$$K_c = \frac{1}{2} W V_c^2 + \frac{1}{2} I_c \dot{\theta}_c^2 \quad (16)$$

$$V_c^2 = x_c^2 + y_c^2 \quad (17)$$

$$x_c = a \cos \theta_2 + b \cos(\theta_2 + \theta_1) \quad (18)$$

$$y_c = a \sin \theta_2 + b \sin(\theta_2 + \theta_1) \quad (19)$$

Derivando y elevando al cuadrado las ecuaciones (18) y (19) para sustituir en (17) y aplicando identidades trigonométricas tenemos:

$$V_c^2 = a^2 \dot{\theta}_2^2 + 2ab(\dot{\theta}_2^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \cos \theta_1 + b^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_1)^2 \quad (20)$$

$$I_c = W x_c^2 \quad (21)$$

$$x_c^2 = a^2 \cos^2 \theta_2 + 2ab \cos \theta_2 \cos(\theta_2 + \theta_1) + b^2 \cos^2(\theta_2 + \theta_1) \quad (22)$$

$$\begin{aligned} K_c = & \frac{1}{2} W a^2 \dot{\theta}_2^2 + W a b (\dot{\theta}_2^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \cos \theta_1 \\ & + \frac{1}{2} W b^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_1)^2 + \frac{1}{4} W a^2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{4} W a^2 \\ & \cos 2\theta_2 \dot{\theta}_1^2 + W a b \cos \theta_2 \cos(\theta_2 + \theta_1) \dot{\theta}_1^2 \\ & + \frac{1}{4} W b^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{4} W b^2 \cos 2(\theta_2 + \theta_1) \dot{\theta}_1^2 \end{aligned} \quad (23)$$

P_c = Energía potencial con respecto a la carga

$$P_c = W_g a \sin \theta_2 + W_g b \sin(\theta_2 + \theta_1) \quad (24)$$

Ecuación de Lagrange

La ecuación de movimiento de Lagrange se obtiene con la sumatoria de las energías cinéticas y potenciales en el manipulador [2].

$$L = \Sigma K_c - \Sigma P_c \quad (25)$$

Donde:

ΣK_c Sumatoria de las energías cinéticas

ΣP_c Sumatoria de las energías potenciales

Por lo que el Lagrangiano quedaría como:

$$L = K_0 + K_1 + K_2 + K_c - P_0 - P_1 - P_2 - P_c \quad (26)$$

Para obtener el par aplicado a partir de la ecuación de movimiento de Lagrange, se emplea:

$$\tau = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} \quad (27)$$

3. FRICCIÓN

Se sabe que la formulación de movimiento de Lagrange sólo hace referencia a sistemas conservativos, sin embargo, a través de la *función de disipación de Rayleigh* se pueden incluir pérdidas como la fricción en un sistema conservativo. Un modelo en el que se incluyen estos efectos de fricción quedaría de la siguiente manera:

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + G(q) + F_c \dot{q} = \tau \quad (28)$$

Donde:

$M(q)$ Matriz de inercia

$V(q, \dot{q})$ Vector de las fuerzas centrífugas

$F_c \dot{q}$ Vector de las fuerzas de fricción

$G(q)$ Vector de fuerzas gravitacionales

τ Par requerido

v_c Coeficiente constante conocido de fricción

F_v Matriz diagonal con términos V_c

vec Denota vector

$\dot{q} = \dot{\theta}$ Vector de velocidades angulares

Expresando la ecuación 28 en forma matricial se tiene:

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} J \\ K \\ P \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M \\ N \\ O \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 & 0 & 0 \\ 0 & v_2 & 0 \\ 0 & 0 & v_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad (29)$$

Donde:

$$\begin{aligned} A = & m_1 l^2 + \frac{1}{8} m_1 a^2 + \frac{1}{8} m_1 a^2 \cos 2\theta_2 \\ & + \frac{1}{2} m_2 a^2 + \frac{1}{2} m_2 a^2 \cos 2\theta_2 \\ & + m_3 a b \cos \theta_2 \cos(\theta_2 + \theta_1) \\ & + \frac{1}{8} m_2 b^2 + \frac{1}{8} m_2 b^2 \cos 2(\theta_2 + \theta_1) \\ & + \frac{1}{2} W a^2 + \frac{1}{2} W a^2 \cos 2\theta_2 \\ & + 2W a b \cos \theta_2 \cos(\theta_2 + \theta_1) \\ & + \frac{1}{2} W b^2 + \frac{1}{2} W b^2 \cos 2(\theta_2 + \theta_1) \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned}
 J = & -\frac{1}{4} m_1 a^2 \sin 2\theta_1 \dot{\theta}_1^2 \\
 & - m_2 a^2 \sin 2\theta_1 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \\
 & - m_1 ab \sin \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \\
 & - m_1 ab \cos \theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \dot{\theta}_2 \\
 & - \frac{1}{4} m_2 b^2 \sin 2(\theta_1 + \theta_2) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \dot{\theta}_2 \\
 & - W a^2 \sin 2\theta_1 \dot{\theta}_1^2 \\
 & - 2W ab \sin \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \\
 & - 2W ab \cos \theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \dot{\theta}_2 \\
 & - W b^2 \sin 2(\theta_1 + \theta_2) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \dot{\theta}_2
 \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned}
 E = & \frac{1}{4} m_1 a^2 + a^2 m_2 + m_1 ab \cos \theta_1 \\
 & + \frac{1}{4} m_2 b^2 + W a^2 + 2W ab \cos \theta_1 + W b^2
 \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned}
 F = & \frac{1}{2} m_1 ab \cos \theta_1 + \frac{1}{4} m_2 b^2 \\
 & + W ab \cos \theta_1 + W b^2
 \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned}
 K = & -\frac{1}{2} m_1 ab (2\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_1 \dot{\theta}_1 \\
 & - W ab (2\theta_1 + \theta_2) \sin \theta_1 \dot{\theta}_1 \\
 & - \frac{1}{8} m_1 a^2 \sin 2\theta_1 \dot{\theta}_1^2 - \frac{1}{2} m_2 a^2 \sin 2\theta_1 \dot{\theta}_1^2 \\
 & - \frac{1}{2} m_2 ab \sin \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2 \\
 & - \frac{1}{2} m_1 ab \cos \theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2 \\
 & - \frac{1}{8} m_2 b^2 \sin 2(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2 \\
 & - \frac{1}{2} W a^2 \sin 2\theta_1 \dot{\theta}_1^2 \\
 & - W ab \sin \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2 \\
 & - W ab \cos \theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2 \\
 & - \frac{1}{2} W b^2 \sin 2(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2
 \end{aligned} \quad (34)$$

$$\begin{aligned}
 N = & \frac{1}{2} m_1 ga \cos \theta_1 + m_2 ga \cos \theta_1 \\
 & + \frac{1}{2} m_2 gb \cos(\theta_1 + \theta_2) \\
 & + W ga \cos \theta_1 + W gb \cos(\theta_1 + \theta_2)
 \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned}
 H = & \frac{1}{2} m_1 ab \cos \theta_1 + \frac{1}{4} m_2 b^2 \\
 & + W ab \cos \theta_1 + W b^2
 \end{aligned} \quad (36)$$

$$I = \frac{1}{4} m_2 b^2 + W b^2 \quad (37)$$

$$\begin{aligned}
 P = & -\frac{1}{2} m_2 ab \sin \theta_1 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 - W ab \sin \theta_1 \\
 & \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \frac{1}{2} m_2 ab \sin \theta_1 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_1) \\
 & - \frac{1}{2} m_2 ab \cos \theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2 \\
 & - \frac{1}{8} m_2 b^2 \sin 2(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2 \\
 & + W ab \sin \theta_1 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_1) \\
 & - W ab \cos \theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_1^2
 \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned}
 O = & \frac{1}{2} m_2 gb \cos(\theta_1 + \theta_2) + W gb \cos(\theta_1 + \theta_2)
 \end{aligned} \quad (39)$$

Tomando en cuenta los cofactores nulos finalmente se puede describir la ecuación 29 como:

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & E & F \\ 0 & H & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} J \\ K \\ P \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ N \\ O \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} v_1 & 0 & 0 \\ 0 & v_2 & 0 \\ 0 & 0 & v_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \quad (40)$$

Por lo que la ecuación 40 representa el modelo dinámico inverso del robot manipulador articulado que se aplica para el "Scorbot-ER V plus" y cualquier otro robot de construcción similar.

Dinámica directa

El modelo dinámico directo expresa la evolución temporal de las coordenadas articulares y sus derivadas, en función de las fuerzas y pares que interviene.

Para la obtención del modelo dinámico directo; se emplea el modelo dinámico inverso, partiendo de la ecuación 40; y aplicando la regla de Cramer para resolver las siguientes ecuaciones.

$$\tau_1 = A\dot{\theta}_1 + J + v_1\dot{\theta}_1 \quad (41)$$

$$\tau_2 = E\dot{\theta}_2 + F\dot{\theta}_1 + K + N + v_2\dot{\theta}_2 \quad (42)$$

$$\tau_3 = H\dot{\theta}_2 + I\dot{\theta}_1 + P + O + v_3\dot{\theta}_3 \quad (43)$$

Utilizando un cambio de variables para comodidad en el manejo de términos se emplea:

$$\dot{\theta}_1 = X \quad (44)$$

$$\dot{\theta}_2 = Y \quad (45)$$

$$\dot{\theta}_3 = Z \quad (46)$$

Si se dice que $(A + v_1)X = T$, $(E + v_2)Y + FZ = Q$ y que $HY + (I + v_3)Z = S$; además de despejar en las ecuaciones 41, 42 y 43 queda como:

$$T = \tau_1 - J - v_1 \theta_1 \quad (47)$$

$$Q = \tau_2 - K - N - v_2 \theta_2 \quad (48)$$

$$S = \tau_3 - P - O - v_3 \theta_3 \quad (49)$$

Sustituyendo los pares en las ecuaciones 47, 48 y 49, sufren la siguiente modificación:

Resultando:

$$\theta_1 = \frac{T}{A} \quad (53)$$

$$\theta_2 = \frac{I[\tau_2 - K - N - v_2 \theta_2]}{IE - FH}$$

$$F[\tau_2 - P - O - v_3 \theta_3]$$

$$\frac{IE - FH}{IE - FH} \quad (54)$$

$$\theta_3 = \frac{E[\tau_2 - P - O - v_3 \theta_3]}{IE - FH}$$

$$\frac{H[\tau_2 - K - N - v_2 \theta_2]}{IE - FH} \quad (55)$$

Por lo que las ecuaciones 53, 54 y 55 representan el modelo dinámico directo del robot manipulador articulado que se aplica para el "Scorbot-ER V plus" y cualquier otro robot de construcción

4. VALIDACIÓN DEL MODELO DINÁMICO INVERSO

Lo primero que se planteó para poder realizar la validación, es la planeación de experimentos. Se hizo una réplica de esta interfase del robot hacia el controlador junto con una serie de programas y de ahí se fueron adquiriendo las señales de los valores de la corriente de los motores para cada articulación del robot. Estos valores de corriente fueron convertidos a par. En las pruebas se utilizó un comando del ACL llamado "Mprofile paraboloid" que es el encargado de ordenarle al controlador que siga el perfil de velocidad deseado (en este caso parabólico mostrado en la figura 3). Así se aseguró que el perfil de velocidad fué parabólico.

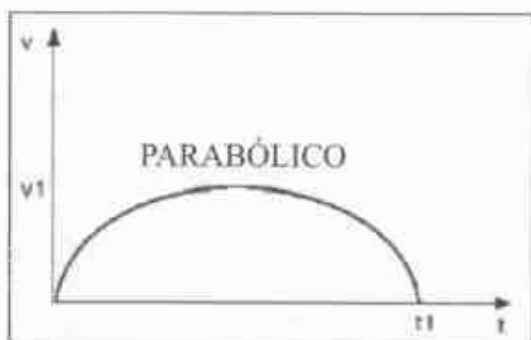


Figura 3. Parábola de velocidad.

La figura 4 muestra la señal de par requerido por la articulación de la base, obtenida al transformar la señal de corriente demandada por el motor, en la prueba 1 y la figura 5 muestra la señal de par requerido para el movimiento de cintura en simulación bajo las mismas condiciones de la prueba 1.

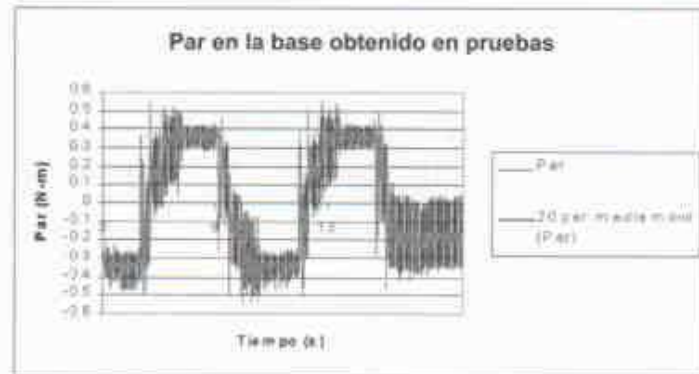


Figura 4 Gráfica del par en prueba 1 en experimentos

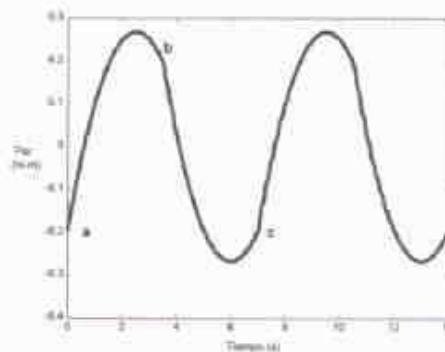


Figura 5 Gráfica del par en prueba 1 en simulación.

5. RESULTADOS

Para el modelo cinemático inverso los resultados de la validación fueron aceptables dado que se obtuvieron mediciones con errores dentro de un rango de 20 y 30% para lo cual se explica que pertenecen a los efectos de fricción no incluidos (fricción seca), a la eficiencia de los actuadores, a la fuente de alimentación, a la eficiencia en el equipo de medición, entre otros tantos. Además de que el modelo fue validado frente a los modelos de un robot planar y a los modelos de un péndulo simple en simulación como un primer grado de validación obteniendo resultados congruentes en un 100%.

En lo que concierne a la validación de la dinámica directa, se hizo a través de la comparación de las gráficas de posición, velocidad y aceleración. Obtenidas al simular los dos sistemas dinámicos dentro de Matlab-Simulink ya que su resolución fue hecha por métodos diferentes. En tales gráficas, se pudo observar una completa igualdad en forma y magnitud para cualquier caso y así con esto se considera que el modelo dinámico directo está validado.

El desarrollo de estos modelos servirá de base para una línea de investigación dentro del área de mecatrónica en el Cenidet donde se espera continuar en proyectos que involucren este tema.

6. CONCLUSIONES

Aún las porciones más limitadas del mundo real son demasiado complejas para ser totalmente comprendidas y descritas por el esfuerzo humano. Casi todas las situaciones de problemas son extremadamente complejas, ya que contienen un número casi infinito de elementos, variables, parámetros, relaciones, restricciones, etc. Cuando intentamos construir un modelo, podemos incluir un número infinito de hechos y dedicar mucho tiempo a recolectar hechos detallados acerca de cualquier situación y definiendo las relaciones entre ellos. En consecuencia, se deben ignorar la mayoría de las características reales de un evento en estudio y abstraer de la situación real sólo aquellos aspectos que conformen una visión idealizada del evento real. Todos los modelos son simplificaciones y abstracciones del mundo real [6]. Es decir, que la simulación sólo da una idea o predicción del comportamiento del sistema analizado.

7. REFERENCIAS

- [1] Introduction to robotics mechanics and control
John J. Craig
Addison-Wesley Publishing Company, 1989
- [2] Control of robot manipulators.
F.L. Lewis, C.T. Abdalla,
D.M. Dawson Mac Millan Publishing Company, 1993
- [3] Fundamentos de robótica.
A. Barrientos, L. F. Peñín,
C. Balaguer, R. Aracil Mc Graw Hill, 1997
- [4] Robótica: Manipuladores y robots móviles.
Anibal Ollero Baturone
Alfaomega marcombo, 2001
- [5] Robot dynamics and control.
Mark W. Spong, M. Vidyasagar
John Wiley & Sons, 1989
- [6] Simulación de sistemas.
Robert E. Shannon
Trillas, 1988

**AQUI PODRIA
IR TU
ANUNCIO**

Eventos

**10 Concurso de Minirobótica
5 y 6 de Mayo del 2005
Organiza: IEEE Querétaro - ITESM
Querétaro**

<http://www.minirobotica.org/Minirobo.htm>
Los miembros de la Asociación Mexicana de
Mecatrónica A.C.
Gozarán de un descuento en su inscripción.
Favor de estar al pendiente de esta
información en la
Pag. electrónica del Concurso

**1er. Congreso y Taller Internacional de
Mecatrónica**

**11 al 14 de Mayo del 2005
Mérida, Yucatán**

**Organizado por la
Asociación Mexicana de Ingenieros
Meánicos y Electricistas A.C.**

Informes:

<http://www.itmerida.mx/Fla/amime/>

Los miembros de la Asociación Mexicana de
Mecatrónica A.C.

**Gozan de un 50% de descuento.
Este descuento no se aplica a los talleres**

**7 Congreso Iberoamericano de Ingeniería
Mecánica**

12-14 de Octubre del 2005

AMIME A.C.

Informes

<http://www.cibim7.ipn.mx/presentacion.htm>

**4to. Congreso Nacional de Mecatrónica
3, 4 y 5 de Noviembre, Saltillo**

**Organiza la
Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.**

**y la
Universidad Tecnológica de Coahuila
Informes:**

<http://www.mecamex.net/congreso>

<http://www.utc.edu.mx/>

Los miembros de la Asociación Mexicana de
Mecatrónica A.C.

Gozan de un 50% de descuento.

ENTREVISTA



**Entrevista con el
Dr. Emilio Vargas Soto
Fundador de la
Asociación Mexicana de
Mecatrónica A.C.**

¡ Contáctanos !

www.mecamex.net

integrate@mecamex.net

- ¿ En su concepción actual, que es para usted la Mecatrónica ?

Trás una larga reflexión, considero que la Mecatrónica es una disciplina, en el sentido de cómo ordenamos nuestras ideas bajo diferentes enfoques, de forma que la mecatrónica se orienta a innovar o mejorar procesos, productos o servicios, esto bajo un enfoque integral considerando principalmente aspectos de la Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica y los Sistemas Computacionales.

- ¿ Se considera Usted un Ingeniero Mecatrónico ?

Cuando yo estude Ingeniería no existía en México esta opción educativa, en este sentido no me considero un Ingeniero en Mecatrónica. Sin embargo, estude Ingeniería Mecánica en nuestro País, Maestría con especialidad en Electrónica de Control, y un Doctorado en Informática y Automática en el extranjero. Por esta razón, considero tener una formación en Mecatrónica lo que me ha permitido apoyar programas educativos en nuestro País, participar en Asociaciones Civiles en donde se promueve la Mecatrónica y la Robótica, así como desarrollar proyectos tecnológicos en México, Europa y Japón.

- ¿ En dónde trabaja y qué hace ?

Soy investigador en la Unidad de Investigación y Posgrado del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial. Mis actividades principales están asociadas al liderazgo y apoyo en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico del Centro, así como docencia en los programas de Especialidad, Maestría y Doctorado en Mecatrónica del mismo Centro.

- ¿ Porqué formar una Asociación de Mecatrónica ?

Esta es una pregunta que me han hecho muchas veces. Me interesa trascender y hacer algo por lo cual sea recordado una vez que mi cuerpo deje de existir. Hacer algo positivo por mi País, y llegar al final del camino con una satisfacción de haber hecho lo que creí adecuado. Es por eso que mi compromiso como especialista en Mecatrónica me llevó a buscar la creación de la Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. en el 2000. Estoy convencido que a través de la Asociación se seguirá beneficiando mucha gente. Recientemente, como resultado del trabajo de esta Asociación, se ha creado el Centro de Articulación Productiva en Mecatrónica, el cual se orienta básicamente a mantener y lograr nuevas oportunidades de trabajo y de negocios entre las Pequeñas y Medianas Empresas.

- ¿ Cómo percibe el futuro de la Mecatrónica en México ?

En términos generales, estamos aprendiendo a enseñar Ingeniería Mecatrónica en los más de 65 programas que a nivel licenciatura se desarrollan en este momento en nuestro País, y en poco menos de 5 programas en Posgrado. Esto debido a que se trata de una opción educativa relativamente nueva. Sin embargo, en la gran mayoría de las empresas no se conoce que es la Ingeniería Mecatrónica, y por lo mismo hay una justificada desconfianza en las habilidades y experiencias que los Ingenieros Mecatrónicos pueden realizar. A medida que se vaya educando mejor, y formando una experiencia de grupos que dominen la filosofía de la Mecatrónica, no tengo la menor duda que se logrará un gran impulso en el desarrollo de una tecnología propia y una aceptación en el mercado laboral. Existe un amplio panorama de oportunidades para que la Ingeniería Mecatrónica permita mejorar o crear nuevos procesos, productos y servicios, todo es cuestión de nuestra imaginación y colaboración mutua.

4º Congreso Nacional de MECATRONICA

"Mas Competividad Mejor Calidad de Vida"



**3, 4 y 5
Noviembre 2005
Ramos Arizpe,
Coahuila.
México**

Informes:

www.mecamex.net/congreso

www.utc.edu.mx



Universidad
Tecnológica de Coahuila



ASOCIACION MEXICANA DE
MECATRONICA A.C.