

Recibido: 10 de Febrero de 2011/Aceptado: 12 de  
Mayo de 2011 Publicado en línea: 30 de junio de  
2011

## Automatización Básica de un Brazo de Pulpo de Serigrafía

V. Samuel Jiménez López

*Universidad Tecnológica Regional del Sur*  
*Tablaje Catastral #792 Vía del Ferrocarril Mérida-Peto C.P. 97970, Tekax de Álvaro*  
*Obregón, Yucatán, México.*  
[samijimenez\\_2@hotmail.com](mailto:samijimenez_2@hotmail.com)

**Resumen.** El presente trabajo se plantea desde la perspectiva mecatrónica donde la integración electromecánica requiere de un sistema que optimice los parámetros de la automatización. Se presenta un estudio inicial en cuanto a la pertinencia de la automatización efectuada con una población muestra de usuarios dónde se validan las hipótesis iniciales de trabajo que conciernen a la determinación de los elementos prioritarios para ser automatizados. Se presentan alternativas para el estudio pormenorizado para el análisis de las componentes ergonómicas fundamentales. Sobre estos resultados se presenta la taxonomía de automatización propuesta sobre cada uno de los elementos que debieran ser optimizados acorde a los requerimientos particulares. Se pretende que el presente trabajo apoye a la futura adaptación/automatización/diseño de las tecnologías mecatrónicas correspondientes a los requerimientos específicos de la población Yucateca, donde los aspectos de género requieren la adopción específica de tecnologías en favor de la igualdad de oportunidades para las mujeres. Una automatización orientada a facilitar el trabajo de las operadoras en el sector de la serigrafía podría tener un impacto importante en las comunidades.

**Palabras Clave:** Automatización, Serigrafía, Mecatrónica, Brazo de Pulpo, Taxonomía.

**Abstract.** This job is presented from the mechatronics point of view where the electro mechanic integration require a system which optimizes the automation parameters. It is presented as an initial study in terms of the relevance of the automation made with a population sample of users where hypothesis are validated at the beginning of this work, which is concern to the determinations of the priority elements to be automated. It introduces alternatives for the detailed study for the analysis of the most important ergonomics components. About these results it is presented the automation taxonomy proposed on each of the elements that should be optimized accord to the particular requirements. It is intended that the present work supports the future adaptation/automation/design of the mechatronics technologies corresponding to the specific requests of the Yucatán population, in which it provides the specific technologies adoption in favour of the equality of opportunities for women. An automation oriented to make it easier for the women operators in the serigraphy industrial sector, which could have an important impact in the communities.

**Key Words:** Automation, Serigraphy, Mechatronics, Octopus arm, Taxonomy.

## 1. Introducción

La automatización en los sistemas productivos, se define como una tecnología relacionada con la aplicación de sistemas mecánicos y electrónicos integrados con sistemas computarizados para operación y control de la producción [1].

Los sistemas de manufactura automatizados modernos, operan en la fábrica sobre la materia prima en donde realizan operaciones, tales como procesamiento, ensamblaje, inspección o manejo de materiales. Y estas operaciones automatizadas son realizadas con un reducido nivel de participación humana comparada con el correspondiente proceso manual [2]. En los sistemas altamente automatizados la participación humana es muy reducida.

Para lograr la automatización de procesos con la tecnología Mecatrónica primeramente se debe realizar un profundo análisis del tipo de equipo que se utiliza en el proceso, de las operaciones susceptibles de automatizar, de las condiciones de trabajo en que se desarrollan las actividades y principalmente las condiciones ergonómicas y antropométricas de los trabajadores en su relación hombre-máquina, para determinar los efectos físicos y mentales que repercuten en los operadores debido a las condiciones de trabajo a las que están sometidos, lo que nos conducirá a determinar los procesos en los que se requiere algún grado de automatización.

En Yucatán un alto porcentaje del trabajo manual en las empresas maquiladoras del estado lo hacen mujeres. El trabajo que desempeñan se relaciona a diferentes áreas industriales como son la electrónica, la industria del vestido, del plástico y en la

actualidad se van involucrando en las áreas de automatización y robótica en donde se requiere de algunas características corporales, como es la estatura, que choca directamente con la media poblacional del estado que se ubica en 1.60 m las mujeres y de 1.65 m los hombres. Dado que este tipo de equipos están diseñados para la media poblacional del país de origen, nos vemos en la necesidad de adecuar las condiciones de trabajo de los operadores a las características de las maquinas [5].

El caso en cuestión se orienta hacia el análisis y rediseño de un dispositivo manual denominado Pulpo de Serigrafía de 6 brazos, con fines de planificar su automatización con el uso de tecnología Mecatrónica. Una vez analizados los aspectos dinámicos (esfuerzo, repetitividad) se procedió a hacer un estudio en cuanto a las entidades y oportunidades de automatización con el fin último de mejorar las condiciones de trabajo de los operadores.

El diseño de dispositivos para procesos, si bien pasa por etapas de diseño ergonómico, pocas veces es orientado hacia patrones fisionómicos propios de la comunidad que los adopta [6]. Por ejemplo en Yucatán, como se menciona en párrafos anteriores, la altura media es de 1.60 m, mientras que en los países de procedencia del equipo la altura media es de 1.70 m.

Una mención especial se dedica a la imperante necesidad de utilizar herramientas de cómputo para simulación y emulación de los elementos constitutivos tanto de operación manual como automatizada. Para esto se requiere simular y visualizar (por computadora) el efecto de las mejoras propuestas. Existen varias plataformas de simulación que cumplen dicho cometido.

La automatización debe procederse de forma gradual y sobre todo, justificando el impacto en cuanto a la automatización de sus partes y también de cada una de las acciones. Es importante aclarar que los resultados esperados no dependen de la formulación de una estrategia de total automatización: **baste con justificar un aumento en el desempeño del operador(a) a partir de una semi-automatización.**

### Formulación del problema

El problema fundamental encontrado en el proceso de serigrafía, es la relación hombre – máquina dadas las características de diseño de los equipos de procedencia extranjera, así también el trabajo serigráfico provoca alta fatiga en la operación principal que es el raseo.

(aplicación de las tintas para impresión de la imagen) el cual requiere de esfuerzo físico y debe realizarse en forma repetitiva durante la jornada de trabajo.

### Objetivos

- 1.- Resolver el problema de la relación hombre – máquina mediante una automatización mínima en los brazos del pulpo de serigrafía que se relacionan directamente a la posición de trabajo en la serigrafía.
- 2.- Disminuir el esfuerzo físico mediante una automatización básica del pulpo de serigrafía en el movimiento principal que es la operación de raseo.
- 3.- Desarrollar un plan de automatización progresiva en el pulpo de tipo manual existente en la Universidad Tecnológica Regional del Sur, de tal manera que resulte

técnicamente accesible y que no represente costos muy elevados para su adaptación.

## 2. Desarrollo del Proyecto

### Ergonomía y Antropometría del trabajo

La Ergonomía es el estudio del trabajo en relación con el entorno en que se lleva a cabo (el lugar de trabajo) y con quienes lo realizan (los trabajadores). Se utiliza para determinar cómo diseñar o adaptar el lugar de trabajo al trabajador a fin de evitar distintos problemas de salud y de aumentar la eficiencia [6]. En otras palabras, para hacer que el trabajo se adapte al trabajador en lugar de obligar al trabajador a adaptarse a él.

Para efectos del presente estudio solo nos ocuparemos de la antropometría y de la ergonomía biomecánica, que son las áreas

### Antropometría

La antropometría es una de las áreas que fundamentan la ergonomía, y trata con las medidas del cuerpo humano que se refieren al tamaño del cuerpo, formas, fuerza y capacidad de trabajo [5]. En la ergonomía, los datos antropométricos son utilizados para diseñar los espacios de trabajo, herramientas, equipo de seguridad y protección personal, considerando las diferencias entre las características, capacidades y límites físicos del cuerpo humano. Las dimensiones del cuerpo humano han sido un tema recurrente a lo largo de la historia de la humanidad; un ejemplo ampliamente conocido es el del dibujo de Leonardo da Vinci, donde la figura de un hombre está circunscrita dentro de un cuadro y

un círculo, donde se trata de describir las proporciones del ser humano "perfecto". Sin embargo, las diferencias entre las proporciones y dimensiones de los seres humanos no permitieron encontrar un modelo preciso para describir el tamaño y proporciones de los humanos. Los estudios antropométricos que se han realizado se refieren a una población específica, como lo puede ser hombres o mujeres, y en diferentes rangos de edad [5].

### Ergonomía biomecánica

Por las características del trabajo en estudio, es importante resaltar la Ergonomía Biomecánica ya que está directamente relacionada al estudio del cuerpo humano desde el punto de vista de la mecánica clásica o Newtoniana y la biología, pero también se basa en el conjunto de conocimientos de la medicina del trabajo, la fisiología, la antropometría y la antropología [8]. Su objetivo principal es el estudio del cuerpo con el fin de obtener un rendimiento máximo, resolver algún tipo de discapacidad o diseñar tareas y actividades para que la mayoría de las personas puedan realizarlas sin riesgo de sufrir daños o lesiones. Algunos de los problemas en los que la biomecánica ha intensificado su investigación, ha sido el movimiento manual de cargas y los micro-traumatismos repetitivos o trastornos por traumas acumulados. Una de las áreas donde es importante la participación de los especialistas en biomecánica es en la evaluación y rediseño de tareas y puestos de trabajo para personas que han sufrido lesiones o han presentado problemas por micro-traumatismos repetitivos, ya que una persona

que ha estado incapacitada por este tipo de problemas no debe de regresar al mismo puesto de trabajo sin haber realizado una evaluación y las modificaciones pertinentes, pues es muy probable que el daño que sufrió sea irreversible y se resentirá en poco tiempo [9]. De la misma forma, es conveniente evaluar la tarea y el puesto donde se presentó la lesión, ya que en caso de que otra persona lo ocupe existe una alta posibilidad de que sufra el mismo daño después de transcurrir un tiempo en la actividad [10].

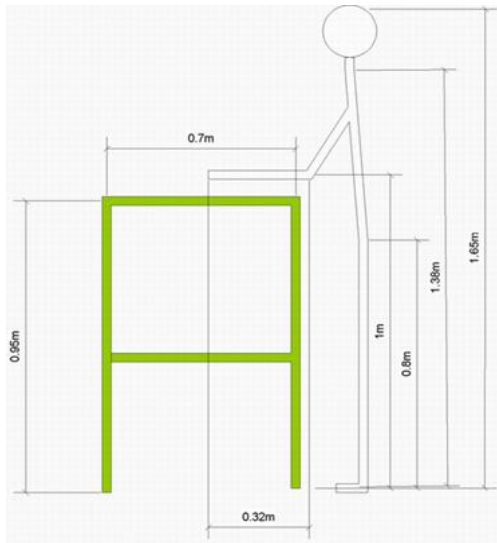
Como se puede apreciar en la figura 1 el área normal de trabajo de un operador estando sentado, es de 15" (38 cm.), fuera de esa distancia requiere un esfuerzo adicional y consecuentemente la inclinación del cuerpo para alcanzar la máxima distancia que es de 50 cm. aprox. [5]



**Fig. 1.** Alcance de los brazos en posición sentado

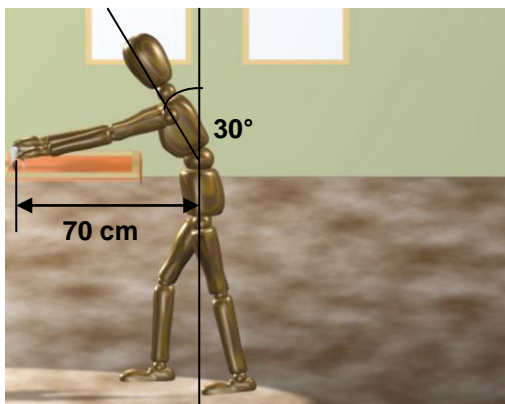
Cuando el operador trabaja de pie, como en el caso de la serigrafía, la distancia normal de trabajo es de aprox. 32 cm. distancia a la cual no requiere de mayor esfuerzo para realizar sus operaciones pero para alcanzar la distancia máxima de 70 cm requiere de una inclinación corporal y por consecuencia mayor esfuerzo en las operaciones a ejecutar [6]. La

figura No. 2 nos muestra, en un trabajo de pie, las distancias de trabajo apropiadas.



**Fig. 2.** Alcance de trabajo en posición de pie.

En el trabajo de serigrafía las condiciones reales que se presentan se muestran en la siguiente figura.



**Fig. 3.** Condiciones reales de trabajo.

Como se puede apreciar, el movimiento principal se refleja en la columna vertebral la cual sufre una inclinación de aproximadamente  $30^\circ$  con los brazos extendidos al frente sosteniendo el raso cuyo peso es de 300 a 450 gr. si consideramos que de acuerdo a la biomecánica el peso de cada brazo es de 5.77 kg y considerando el peso del raso [10].

Entonces se debe soportar un peso de 6.07 a 6.22 kg el cual se concentra directamente en la columna vertebral la cual requiere de una fuerza de 84 a 87 kg para lograr el equilibrio.

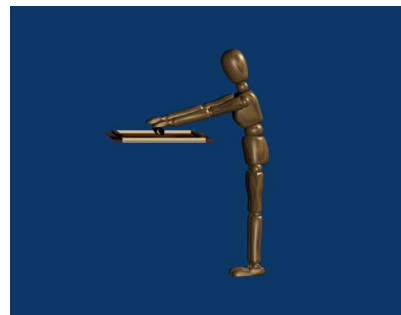
### Simulación en Blender

Para poder visualizar más objetivamente la relación hombre – máquina bajo las condiciones que se presentan en este trabajo, se vio la conveniencia de utilizar una plataforma de programación que fuera accesible y que permitiera simular con relativa facilidad la operación de raseo en el trabajo de serigrafía por lo que se optó por utilizar el programa denominado BLENDER ya que integra una serie de herramientas para crear un amplio rango de contenidos 3D, con los beneficios añadidos de ser una multiplataforma y tener un tamaño de 5MB.

Las primeras pruebas permitieron visualizar el uso del software dando por resultado las imágenes que se presentan.



**Fig. 4.** Prueba 1 simulación en Blender



**Fig. 5.** Prueba 2 simulación en Blender

En la prueba final se da la caracterización del espacio donde se recrea la operación completa de raseo y el movimiento corporal del (la) operador(a) con lo cual se concluye la animación.



**Fig. 6.** Prueba final de simulación en Blender

### Cinemática del movimiento del brazo humano

El sistema hombre - máquina se considera como una combinación de uno o más seres humanos y/o uno o más componentes físicos, que actúan recíprocamente para efectuar, a partir de unas entradas de energía e informaciones determinadas, una producción deseada.

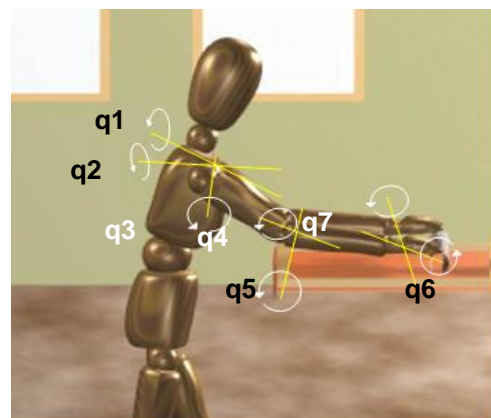
La relación del hombre con la máquina de impresión serigráfica requiere de un análisis cinemático para poder determinar la necesidad de automatización de las operaciones ya que el trabajo recae específicamente en los brazos y en el movimiento de la columna vertebral, lo que representa daños irreversibles al tener un trabajo constante y repetitivo.

El trabajo de impresión serigráfica implica poner en movimiento todas las articulaciones de los brazos que en una representación cinemática veremos que se representa como una cadena abierta de cinco segmentos rígidos conectados entre sí por 4

uniones articulares simples, como se presenta en la siguiente tabla [10]:

Segmento	Definición	Grados libertad
<b>Tórax</b>	Origen del sistema articulado	0
<b>Clavícula</b>	Desde la articulación esterno-clavicular hasta la acromio-clavicular	2
<b>Humero</b>	Desde la articulación gleno-humeral hasta la articulación del codo	3
<b>Antebrazo</b>	Desde el codo hasta la muñeca	2
<b>Mano</b>	A partir de la muñeca	2

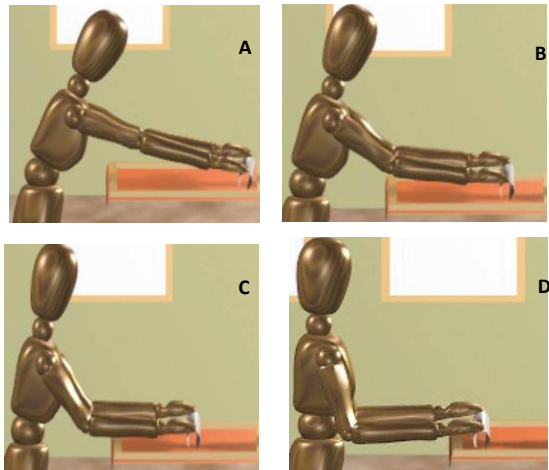
En la figura 7 se muestran las articulaciones de los brazos con sus ejes principales, que describen los movimientos desde la unión clavicular hasta la muñeca y las manos.



**Fig. 7.** Articulaciones de los brazos con sus ejes principales

Como se puede apreciar, el movimiento de raseo para impresión se ve reflejado en el movimiento de inclinación de la columna vertebral, los hombros, codo y en menor

medida en las muñecas del operador. En la siguiente secuencia de imágenes se puede ver perfectamente todos los movimientos que se realizan, los cuales inician con la extensión hasta la distancia de inicio del raseado donde se extienden completamente los brazos y hay una inclinación de la columna vertebral (Fig. 8A).



**Fig. 8:** Secuencia de movimientos en la operación de raseo

Con el rasero se aplica una fuerza vertical (F) de 10 a 15 kg para que exista una aplicación uniforme y suficiente de la tinta para la impresión de la figura en la prenda de trabajo (Fig. 8B); se desliza (el rasero) horizontalmente hacia el cuerpo del operador sin dejar de ejercer la fuerza vertical (Fig. 8C) hasta quedar nuevamente en posición de iniciar un nuevo ciclo (Fig. 8D).

### Problema de desproporción en el proceso de producción en Serigrafía

La utilización del pulpo de serigrafía requiere de ciertas características corporales para que permitan un fácil y cómodo manejo del equipo, por lo que mediante un estudio basado en la ergonomía y las proporciones dimensionales

del pulpo se pretende encontrar las condiciones óptimas de operación y la justificación del nivel mínimo de automatización requerido en el equipo.

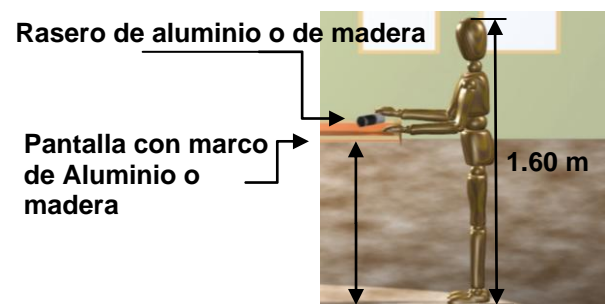
El trabajo de serigrafía se desarrolla en distintas posiciones adoptadas por el cuerpo humano y de acuerdo con el tamaño medio del habitante del sureste mexicano, existe una desproporción dado el origen del equipo de trabajo (EE.UU.), que como todos sabemos la talla es distinta.

Dado este problema, se pretende que bajo un análisis cinemático y dinámico se determinen las condiciones más favorables de trabajo y se proponga un rediseño del equipo y/o se justifique la automatización progresiva de las operaciones más importantes del proceso de serigrafía, el cual se describe a continuación.

Proceso de operación para imprimir en serigrafía

Equipo a utilizar:

- Pulpo de serigrafía
- Pantalla con marco de aluminio o madera
- Rasero de aluminio o madera para aplicación de las tintas.



**Fig. 9.** Condiciones de operación inicial



### Ciclo de Operación

Una vez que se ha revelado la pantalla con la imagen a imprimir, se realiza la operación de registro de imágenes, lo que consiste en hacer coincidir perfectamente las imágenes a imprimir, serán tantas imágenes como colores tenga el dibujo.

Los pasos siguientes se llevan a cabo como sigue:

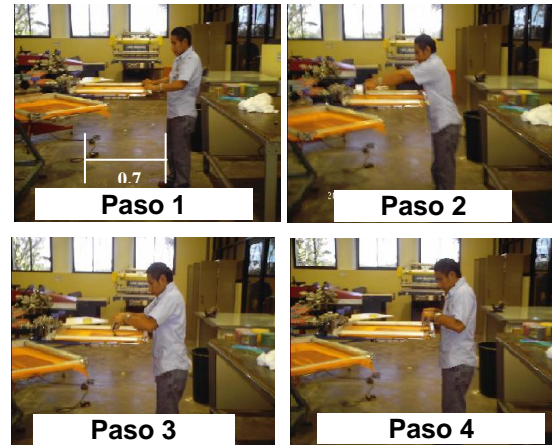
- 1.- Colocar en la mesa de trabajo la prenda a imprimir, esta operación se realiza tantas veces como lo indique el programa de producción.
- 2.- Una vez colocada la prenda en la mesa de impresión, la cual tiene una altura de 0.95 m, el operador levanta los brazos a una altura de 1.45 m para bajar la pantalla aplicando una fuerza no considerable.(Fig.10 y Fig. 11 paso 1).



**Fig. 10.** Operador de pulpo de serigrafía

- 3.- Para aplicar la tinta, el operador toma el rasero y esparce tinta sin ejercer fuerza en la pantalla, solo para cubrir la imagen con la tinta. (Fig. 11 paso 2)
- 4.- Con el mismo rasero extiende sus brazos hasta una distancia de 0.70 m y hace la aplicación de la tinta con una fuerza vertical de aproximadamente 10 a 15 kg y verifica

que haya penetrado suficiente tinta para cubrir perfectamente la imagen, si no es así, entonces repite la operación hasta que se cubra totalmente la imagen. (Fig.11 paso 3 y 4).



**Fig. 11.** Ciclo de operación

Este ciclo de trabajo se repite por tantos colores como tenga el dibujo y por cada prenda a imprimir, el cual puede ser de 500 a 600 ciclos por turno de trabajo, en promedio.

### 3. Diseño y Construcción De Prototipo De Brazo Para Pulpo De Serigrafía.

#### Diseño Mecánico

Las consideraciones para el diseño del prototipo del brazo para pulpo de serigrafía se basan en el estudio de la cinemática donde partiendo de que “La teoría de máquinas y mecanismos es una ciencia de aplicación que ayuda a comprender las relaciones existentes entre la geometría y los movimientos de los elementos de una máquina o mecanismo, así como también las fuerzas que generan tales movimientos” [12] y que La mecánica es una rama de la física que se ocupa del análisis científico de los movimientos, del tiempo, de las fuerzas, sus causas y sus efectos. Según



consideremos el tiempo como factor determinante la mecánica se divide en estática y en dinámica; la primera se ocupa del análisis de los sistemas estacionarios, es decir, de aquellos en que el tiempo no es un factor determinante, y la segunda, se refiere a los sistemas cuya posición cambia con el tiempo [13]. Las causas del movimiento de un cuerpo rígido se pueden separar de manera conveniente en la parte mecánica.

El prototipo desarrollado se basa en la CINEMÁTICA la cual estudia la posición, el desplazamiento, la rotación y la rapidez con que se efectúan los cambios de posición, (velocidad y aceleración), en cualquier cuerpo; como es el cambio de posición de los raseros en el trabajo de serigrafía.

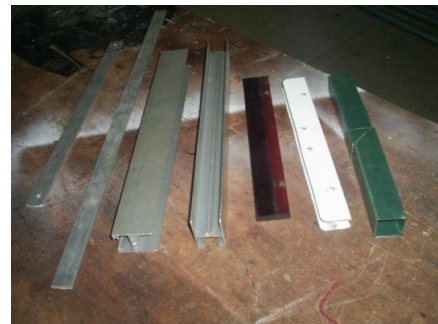
### Construcción del prototipo

Tomando en consideración los problemas ergonómicos y antropométricos descritos en párrafos anteriores, se elaboró un prototipo para planear la automatización básica de un brazo del pulpo de serigrafía, el cual pretende mostrar una secuencia progresiva de automatización iniciando por el movimiento principal que es el raseo, el cual representa el mayor esfuerzo en el trabajo de impresión dado que la concentración de fuerza se localiza en los brazos y la columna vertebral.

El prototipo permitirá determinar las adecuaciones necesarias que se tendrán que realizar en el pulpo de ocho estaciones de trabajo, que se tiene en los talleres de la UTR Sur y estimar el costo resultante de las mismas. Así también, se modifica la relación hombre – máquina permitiendo reducir considerablemente la fatiga del operario(a).

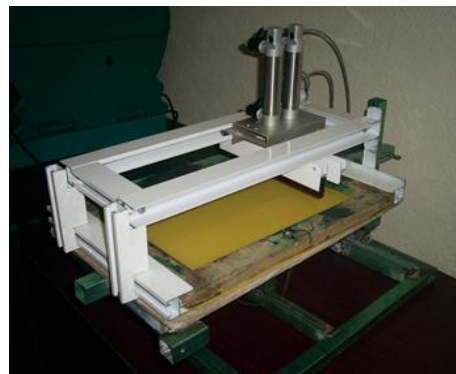
Para su construcción se utilizaron los siguientes materiales:

- Perfil de aluminio (cabezal) de 1"
- Perfil para ventana de aluminio 1"
- Platina de aluminio de ½"
- Perfil cuadrado tubular de 1"
- Hule para rasero
- Tabla de madera para la mesa de trabajo



**Fig. 12.** Materiales utilizados para prototipo

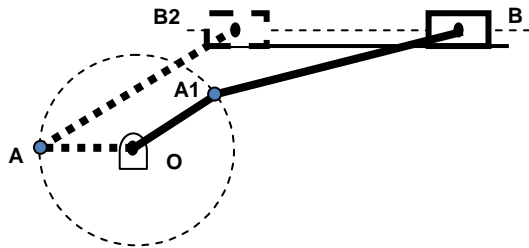
En el ensamble de todos los componentes del prototipo se utilizó básicamente tornillería y la soldadura solamente fue utilizada en el armado de la estructura, quedando como se muestra en la siguiente figura.



**Fig. 13.** Ensamble final del prototipo

La operación de avance y retroceso de los raseros, inicialmente se llevará a cabo por medio de un mecanismo manual, para lo cual, auxiliado por la cinemática que estudia la posición, el desplazamiento, la rotación y la rapidez con que se efectúan los cambios de

posición, (velocidad y aceleración) en cualquier cuerpo, se consideró un sistema mecánico de pistón – biela – corredera que dará el movimiento rectilíneo al carro de los cilindros [14], como se muestra:



**Fig. 14.** Cadena cinemática de tipo cerrada, para el movimiento horizontal del carro porta cilindros

Para el diseño del prototipo se consideró el movimiento principal de la operación que es un movimiento lineal sobre una superficie plana el cual requiere de una fuerza vertical para la aplicación de la tinta en la superficie de trabajo.

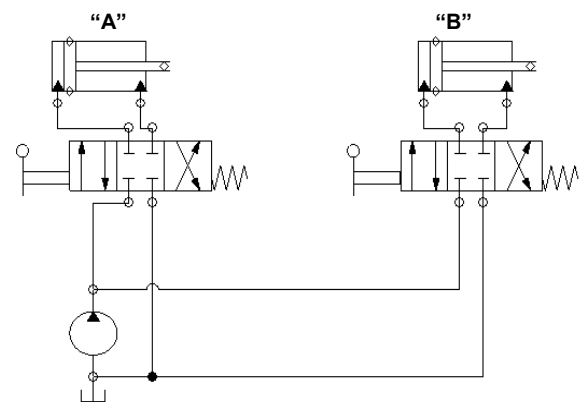
### Neumática

La automatización industrial, a través de componentes neumáticos, es una de las soluciones más simples y rentables, con una gran aceptación en el presente y con un mayor futuro de aplicación en la industria.

Como es ya sabido, el aire comprimido es la mayor fuente de potencia neumática en la industria con múltiples ventajas. Es seguro, económico, fácil de transmitir, y adaptable. Su aplicación es muy amplia en un gran número de industrias, así también algunas aplicaciones son prácticamente imposibles con otros medios energéticos [15].

El sistema neumático del prototipo, se compone de dos cilindros de doble efecto "A" y "B" como se ilustra en el diagrama

simplificado; el ciclo se inicia con la extensión del cilindro "A" constando la primera fase de ese único movimiento para extender la tinta en la pantalla sin hacer presión y en la segunda fase el cilindro se retrae; al momento que el cilindro "A" se retrae el cilindro "B" se extiende. La tercera fase comenzará una vez que el cilindro "B" esté extendido y el "A" retraído, y consta del movimiento de regreso del cilindro "B" el cual hace la presión necesaria para que la tinta quede impresa en las prendas según el diseño a imprimir.



**Fig. 15.** Diagrama Neumático Simplificado

El equipo seleccionado para la operación neumática del sistema se compuso de los siguientes elementos:

Dos cilindros de doble efecto FESTO código DSNU-25-50-P-A-19221 con las siguientes características:

- Carrera 50 mm
- Diámetro del émbolo 25 mm
- Diámetro del vástago 10 mm
- Extremo del vástago Rosca exterior
- Presión de funcionamiento 1 – 10 bar (1.01 a 10.19 kg/cm<sup>2</sup>)
- Fuerza teórica con 6 bar, retroceso 247.4 N (27 kg-fza)
- Fuerza teórica con 6 bar, avance 294.5 N (30 kg-fza)

La selección de este tipo de cilindro se debe a que la fuerza que ejerce el trabajador en la operación de impresión es de 10 a 15 kg (98 a 147 N) mismo que se encuentra en el rango de trabajo de este y en la operación de raseo no se requiere de una mayor carrera del vástago.

Válvulas 5/2 VMPA 24 VCC de 4 mm normalizadas con accionamiento eléctrico – neumático con las que se cuenta en el banco neumático de la UTR Sur.

### **Planificación de la automatización del brazo de pulpo de serigrafía**

Dado las altas inversiones que se requieren para tener equipos con tecnologías más avanzadas, aun cuando se considere maquinaria (pulpos de serigrafía) de tipo manual; se desarrolla el plan de automatización que irá creciendo gradualmente hasta completar la automatización total del pulpo de serigrafía de la UTR Sur, buscando costos razonables y accesibles para su ejecución.

Por tal razón, debido a que el trabajo de raseo es el que requiere de mayor esfuerzo por las condiciones ya mencionadas, se consideró como la primera operación a automatizar.

En esta etapa solamente la acción de cubrir la imagen con tinta y el raseo para imprimir las imágenes se realizarán por medio de neumática mediante actuadores cilíndricos de doble efecto y el movimiento horizontal del raseo se hará por medio de un sistema mecánico de pistón – biela – corredera. Para tal efecto se desarrolló el prototipo que nos permitirá diseñar la automatización del pulpo de serigrafía de 8 estaciones de trabajo

existente en la Universidad Tecnológica Regional del Sur.

La segunda etapa de automatización contempla el movimiento horizontal de raseo, el cual según el nivel de automatización requerido por el usuario podría ser por medio de pistón neumático o por medio de motor eléctrico y cadena que, cualquier opción, coordinada con el movimiento lineal neumático de la operación del raseo quedaría automatizada totalmente esta operación.

Las distintas etapas en las que se dividió la automatización corresponden a que, como se mencionó anteriormente, que la mayoría de las empresas de serigrafía son pequeños talleres de tipo familiar y no manejan volúmenes de producción que justifique la adquisición de maquinaria totalmente automatizada, además, de que carecen de los recursos económicos suficientes para la adquisición de este tipo de equipo. Lo que les permitirá tener la opción de escoger el nivel de automatización del equipo que resulte conveniente para los volúmenes de producción que se tengan, a un costo razonable.

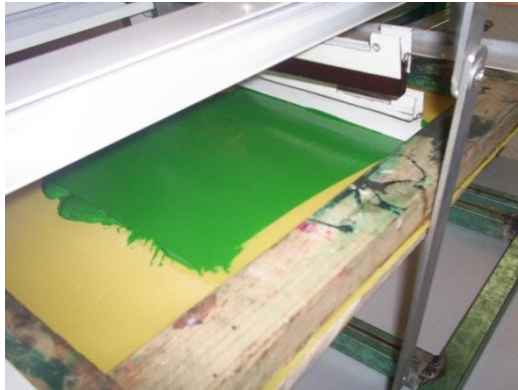
## **4. Resultados Experimentales**

### **Operación del equipo**

Las pruebas de operación se realizaron en el laboratorio pesado de la Universidad Tecnológica Regional del Sur, auxiliados por el banco neumático donde se conectó el prototipo a las válvulas del mismo.

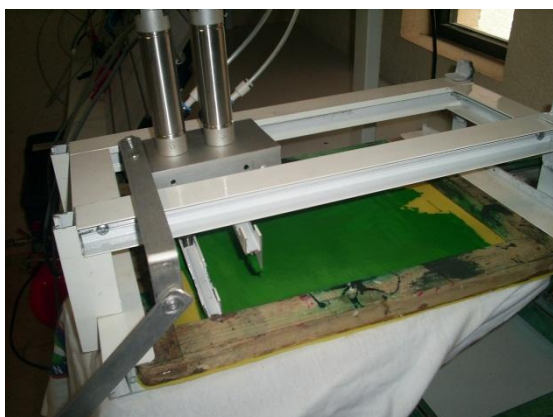
En la operación de raseo y dado que cada rasero es movido por un pistón, se observó que al realizar el movimiento de desplazamiento horizontal, los raseros tienen una leve desviación diagonal, presentando la

siguiente situación: en el caso del rasero de aplicación de la tinta cuando no se ejerce presión, la inclinación en forma diagonal del rasero no le afectó y esto permitió que la tinta se expanda correctamente a lo ancho de la pantalla.



**Fig. 16.** Aplicación de tinta con rasero de expansión

En el caso del rasero de impresión, en las primeras pruebas, la tinta no se aplicó uniformemente debido a la desviación diagonal del rasero y a una pequeña inclinación de los soportes del marco con malla respecto a la mesa de trabajo, quedando como se muestra en las figuras.



**Fig. 17.** Raseo de impresión no uniforme



**Fig. 18.** Falta de penetración en el raseo

En el caso de la inclinación con respecto a la mesa de trabajo se, solucionó este problema parcialmente nivelando los soportes del marco de madera, con lo cual se pudo tener mayor penetración de la tinta al momento del raseo.

Con respecto a la desviación diagonal del rasero de impresión al igual que el rasero de expansión de tinta, la solución definitiva es la instalación de un segundo cilindro que actuara en forma paralela evitando así, el movimiento diagonal.

En ambos casos se determinó que se debe instalar un segundo pistón por cada rasero, lo cual asegurará un desplazamiento totalmente paralelo entre los raseros de impresión y asegurará una excelente imagen impresa.

### **Grado de Acoplamiento Operador-Máquina**

El sistema mecánico de pistón – biela – corredera permitió el deslizamiento horizontal de los cilindros para ejecutar las dos funciones que son la impregnación de la tinta sobre la malla y la impresión de la imagen en la prenda de trabajo. Se detectó además que la fuerza a aplicar para hacer el movimiento horizontal no es significativa lo cual disminuye el esfuerzo y

facilita el trabajo del (la) operador(a). Por otro lado, con este sistema, el operador ya no tendrá que permanecer parado todo el tiempo, para llevar a cabo la operación, logrando tener una posición más cómoda por consecuencia tendrá un mayor rendimiento en el trabajo.

Con las pruebas realizadas se pudo observar que para la automatización del pulpo de serigrafía de ocho estaciones que existe en la Universidad, no representa grandes dificultades ya que las características del equipo permite la posibilidad de hacer las adaptaciones necesarias para el riel de deslizamiento de los raseros, además que no es necesario automatizar todas las estaciones de trabajo, solamente con una o dos estaciones es suficiente y aumentamos considerablemente la producción.

Aun cuando se pudo controlar la impresión de la figura, nivelando los soportes con respecto a la mesa de trabajo, quedan algunos problemas por resolver como son lo sombreado de los contornos de la figura impresa, y ajustes al equipo para que se pueda mantener la calidad de la impresión en forma continua, lo cual se alcanzará con el ensamble del segundo cilindro para raseo y para la expansión de la tinta; con lo que se resuelve el problema de la desviación de los raseros al realizar el movimiento horizontal, lo que redundará en una impresión de las imágenes con la calidad requerida.

## 5. Conclusiones

Dada la existencia de una gran variedad de maquinaria para el trabajo de serigrafía de tipo manual de fabricación nacional y teniendo en cuenta que por su diseño es el operador(a) el que tiene que ajustarse a la máquina y no la

máquina al operador(a), el prototipo desarrollado cumple con el objetivo de facilitar la relación hombre – máquina al sustituir el esfuerzo físico en la operación principal que es el raseo, con lo cual el trabajo será más eficiente.

El prototipo nos permite visualizar las adaptaciones necesarias para iniciar la automatización mínima y progresiva del pulpo de ocho brazos que se tiene en la UTR Sur para facilitar el trabajo, al considerar la antropometría de los operadores hombre y mujer específicamente de la península de Yucatán.

Al obtener como resultado la mejora de la relación hombre – máquina se tienen beneficios ya que al automatizar la operación principal, que es el raseo, se disminuye la fatiga, el esfuerzo físico se reduce considerablemente con lo cual se evita una posible lesión en la columna vertebral y se reduce también la monotonía del trabajo repetitivo.

En lo que respecta a la producción, en la operación manual y contando con la habilidad del operador se logra una producción de 350 a 400 prendas por turno de 6 hrs de trabajo lo que representa de 0.9 a 1.1 prendas por minuto; en las pruebas realizadas con la automatización de la operación del raseo y con una operadora no experimentada en el proceso, se calculó una producción de 1.38 prendas por minuto lo que representa aproximadamente 500 prendas por turno; por lo que una vez que el operador se familiarice con el sistema la producción puede incrementarse a 2 o más prendas por minuto lo que representa una producción de 720 prendas por turno significando una mejora de poco más del 40%.



**Fig. 19.** Prueba final de impresión, se aprecian sombras en el contorno de la imagen

## 6. Bibliografía

- [1] Mikell P. Groover. Fundamentos de Manufactura Moderna. Edit. McGraw Hill Interamericana de México, 2007.
- [2] José María González de Durama. Automatización de procesos industriales Universidad del País Vasco, febrero 2004. [www.vc.ehu.es/depsi/jg/APIslides.pdf](http://www.vc.ehu.es/depsi/jg/APIslides.pdf)
- [3] W. Bolton. Mecatrónica. Editorial Alfaomega
- [4] Beatriz Castilla Ramos. Mujeres mayas en la robótica y líderes de la comunidad Ayuntamiento de Mérida, ICY, UADY; Mérida, Yucatán, 2004.
- [5] David J. Osborne, Ergonomía en Acción: La adaptación del medio de trabajo al hombre. Primera impresión, Editorial: Trillas, México, D.F., 1992.
- [6] Cesar Ramírez Cavaza. Ergonomía y productividad. Editorial Limusa, 1991.
- [7] Manual de serigrafía. [www.serigrafia4t.com.ar](http://www.serigrafia4t.com.ar)
- [8] Cinética del movimiento humano. Prof. Edgar Lopategui Corsino. Universidad Interamericana de PR. [www.saludmed.com/CsEjerci/Cinesiol/Cinetica.html](http://www.saludmed.com/CsEjerci/Cinesiol/Cinetica.html), 2000
- [9] Carlos F. Rodríguez, Juan C. Botero, Hugo Quintero. Aplicación de la teoría de robots manipuladores a la biomecánica del brazo humano. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de los Andes, Bogota D.C. <http://revistaing.uniandes.edu.co/index.php>, Año 2007.
- [10] Movimiento del brazo humano: de los tres planos a las tres dimensiones. Carlos F. Rodríguez; Hugo Quintero; Helena shner Universidad de los Andes, Bogotá D.C. <http://revistaing.uniandes.edu.co/index.php>, Año 2005.
- [11] Descripción / análisis cinemático del movimiento humano. Edgar Lopategui Corsino. Universidad Interamericana de PR. [www.saludmed.com/CsEjerci/Cinesiol/Cinemat.html](http://www.saludmed.com/CsEjerci/Cinesiol/Cinemat.html), Año 2000
- [12] Baltazar López Martín (1966-2006). Análisis y Síntesis de Mecanismos [www.geocities.com/asm\\_cenidet/](http://www.geocities.com/asm_cenidet/)
- [13] Mecánica II. I. Zabalza Villava. [www.inem.unavarra.es/isidro/mecanica\\_II/Libro-mecanicaII.pdf](http://www.inem.unavarra.es/isidro/mecanica_II/Libro-mecanicaII.pdf), 2004
- [14] Erdman A. y Sandor G. Diseño de mecanismos, análisis y síntesis. Editorial Prentice Hall. México, 1997.
- [15] Iniciación a los automatismos neumáticos y electro-neumáticos. Instituto de Estudios Superiores Francisco Tomas y Valiente. Fuenmayor, La Rioja, España. [www.iestomasvaliente.edurioja.org/.../4automatismos/2-apunteselectroneumatica.pdf](http://www.iestomasvaliente.edurioja.org/.../4automatismos/2-apunteselectroneumatica.pdf).
- [16] Electromecánica Nivel Básico. Libro de trabajo TP201, Festo Pneumatic, 2005.





**M.I.M. Víctor Samuel  
Jiménez López.**

Egresado de la UPIICSA  
del IPN en la carrera de  
Ingeniería Industrial, curso  
la maestría de Ingeniería

Mecatrónica en la Universidad Modelo en  
Mérida, Yucatán.

Durante más de 20 años se ha desempeñado  
en la industria metalmecánica en las áreas de  
proyectos de inversión, desarrollo de nuevos  
productos y producción. Experiencia docente  
de 21 años en áreas de la Ingeniería Industrial,  
en la actualidad se desempeña como profesor  
de tiempo completo en la Universidad  
Tecnológica Regional del Sur del estado de  
Yucatán.