

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO COMPLEMENTARIO AL ROBOT KUKA KR16 PARA LA ADAPTACIÓN DE UNA CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE

## Autores

Byron Oswaldo Suntaxi Correa

Alberto Emilio Llanos Escobar

E-mail: byron2204@hotmail.com

E-mail: albertollano@hotmail.com

Escuela Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería Mecatrónica, 02/2013,  
Sangolquí-Ecuador

**Palabras Clave:** Celda Flexible, Banda Transportadora, Manufactura, Robot KUKA, Entenalla Neumática

## RESUMEN

Uno de los robot KUKA KR-16 del laboratorio de robótica industrial de la ESPE cuenta con un gripper multifuncional, el cual tiene cuatro tareas, sujeción, taladrado, pintado y aspirado; a pesar que el gripper tenga tantas herramientas, sin que exista un módulo complementario en el laboratorio no se podría realizar algún proceso industrial eficiente. Por tal motivo se ha decidido diseñar un módulo complementario para adaptar una celda flexible de manufactura en el laboratorio de robótica industrial de la ESPE; dicho módulo consta de una estación de transporte (banda transportadora), una estación de procesamiento (entenalla neumática automatizada), estación de pintado (caja de pintura) estación de paletizado (pallet de llegada) y un pallet dispensador de material (pallet de salida). Las dos primeras estaciones mencionadas se comunican con el robot KUKA KR16 mediante el módulo de entradas y salidas digitales WAGO que posee el controlador del robot KRC2. Por tal motivo en la programación del robot se puede controlar las estaciones de transporte y procesamiento, es decir el robot controla la banda transportadora y la entenalla neumática automatizada, con éstas nuevas herramientas se puede elaborar una variedad de procesos casi industriales y didácticos de acuerdo con las herramientas existentes en el laboratorio, alcanzando el verdadero potencial del Robot KUKA KR16 en una celda flexible de manufactura.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos principales de los brazos robóticos KUKA KR16 ubicados en el laboratorio de robótica de la ESPE es constituir parte de un sistema flexible de manufactura.

Por esto se ha realizado el diseño, construcción e implementación de un módulo que consta de banda transportadora con sensores de presencia, entenalla neumática automatizada, una caja de pintura y dos módulos de paletizado, que permitan adaptar una estación flexible de manufactura en el

laboratorio de robótica industrial de la ESPE simulando un proceso de manufactura real y aplicable en la industria local.

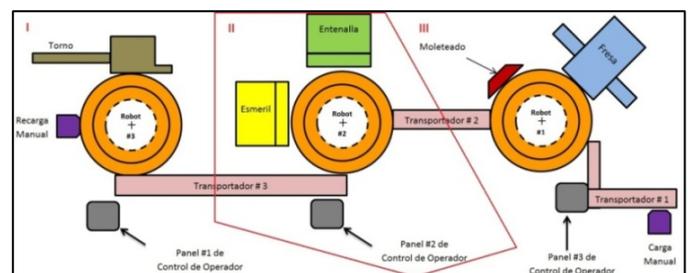


Fig. 1. Esquema de una celda flexible de manufactura [aquí se puede apreciar tres celdas flexibles diferentes]



Se concluye que el **ancho máximo** tentativo de la banda será **640 mm** y el **largo máximo** de la banda **1455 mm**.

La cinta transportadora adquirida es de marca **Habasit**, se seleccionó una cinta de 1200 mm de largo.

La cinta seleccionada para la banda transportadora viene con un ancho de fábrica de 400 mm  $\pm$  30 mm; en el mercado éste tipo de cintas son usadas generalmente como cintas de caminadoras.

Ésta cinta es de **poliuretano cubierto de nylon**, lo que le ayuda a mantener la misma longitud.

Para la longitud del soporte de la mesa de apoyo se toma en cuenta la longitud de la cinta ensamblada 1239 mm, además de los ejes de los rodillos cuyo diámetro es 45 mm, y para el ancho se toma el grosor de la cinta de 430 mm, más 50 mm a cada lado; la mesa está forrada, de una plancha de chapa metálica de acero A653 galvanizado de 1 mm de espesor.

Para la parte estructural del proyecto se ha decidido utilizar tubo estructural rectangular de acero A500 Gr.A, de 25 mm x 50 mm con un espesor de 1.5 mm.

Se ha usado dos motores para que la banda pueda girar sentido horario y anti horario, ya que en cualquier sentido la banda va estar tensionada.

Para el diseño se consideró una capacidad de carga máxima de 8 paquetes simultáneos sobre la banda transportadora, cada una de 10 kg que es la máxima capacidad que soporta el gripper Mecatrónico multifuncional del robot KUKA KR16.

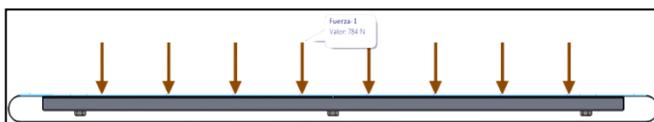


Fig. 5. Distribución de las fuerzas sobre la banda

Para el dimensionamiento también se debe tener en cuenta que el robot KUKA KR16 tiene como controlador KRC2, que cuenta con un módulo de salidas digitales marca WAGO y será aprovechado en este caso para el control de la banda transportadora y nos otorga salidas digitales de **24Vdc**.

El motor seleccionado fue **Motor Bosch 24Vdc 13W**.

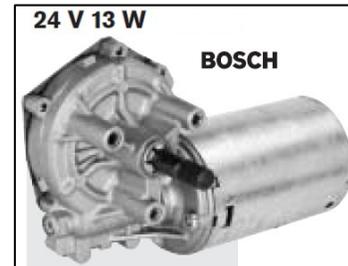


Fig. 6 Motor Bosch de 24Vdc. (Fuente: <http://www.bosch.com>)

Debido a que el motor que trabaja a 24Vdc, se podrá realizar las conexiones de una manera más directa al módulo WAGO del controlador KRC2 utilizando relés eléctricos de protección, ya que la corriente del mismo es 5 amperios.



Fig. 7. Relé Bosch 24Vdc (Fuente: <http://www.bosch.com>)

En la conexión eléctrica total de la banda transportadora se utilizó un total de 6 relés de las características mencionadas: 4 relés para la conexión de los motores con las salidas digitales de 24 Vdc del módulo WAGO y 2 relés para la selección del cualquiera de los modos de operación de la banda:

- **Modo manual:** que la banda se puede ser manipulada desde controlador de la banda.
- **Modo KRC2:** que la banda puede ser controlada desde el KCP del robot y ser directamente utilizada en la programación de robot.

Tomando en cuenta las características eléctricas de los motores, que son 24 voltios de tensión y 5 amperios de corriente, se necesita adquirir una fuente que cumpla primordialmente con los requisitos antes mencionados de salida y una entrada de 110 voltios, que es el voltaje que tienen las conexiones del laboratorio.

La fuente seleccionada fue **Fuente 24Vdc** marca **WAGO**



Fig. 8. Fuente 24Vdc WAGO EPSITRON 787-722

Los sensores seleccionados son los siguientes: **Sensor Fotoeléctrico de barrera 24Vdc** **SICK**.

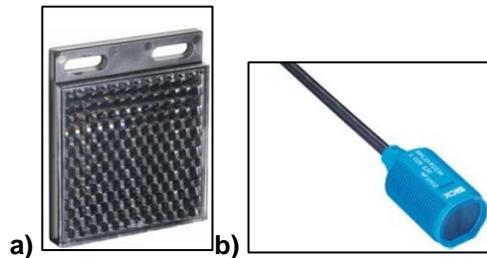


Fig. 9. a) Reflector óptico angular P250 b) Sensor SICK fotoeléctrico reflexivo MHL15-P2236 de 24 Vdc. (Fuente: <http://www.sick.com>)

El sensor tiene una señal de entrada y salida de 24V por lo que se conectan directamente al módulo WAGO. El máximo valor de detección del sensor es de 5 m.

Para dimensionar el alto de la bancada de la entenalla, se ha usado la morfología y dimensiones del robot KUKA KR16, y su zona de trabajo en el eje X.

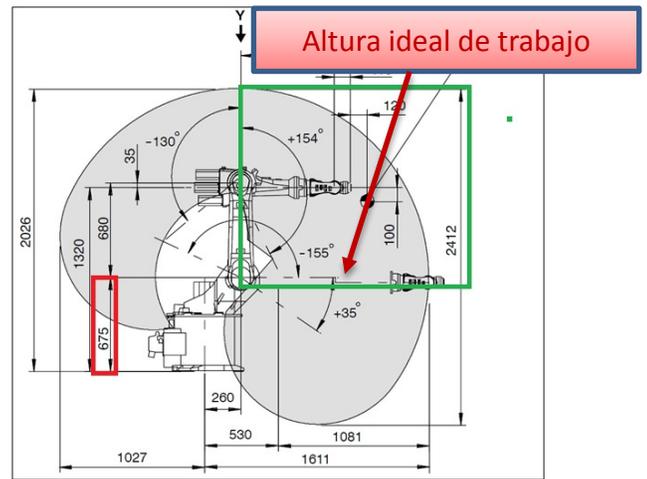


Fig. 10. Esquematación zonal ideal de trabajo robot KUKA KR16 (Fuente: <http://www.kuka.com>)

La banda transportadora va a tener un control el cual tiene las opciones de colocar ésta en modo manual o KRC2.



Fig. 11. Controlador propio banda transportadora

## 5. DISEÑO DE LA ENTENALLA NEUMÁTICA AUTOMATIZADA.

La presión máxima de la instalación neumática en el laboratorio es 90 psi; por lo tanto se han realizado los diseños con esa presión, se ha usado cilindros neumáticos de 32 mm.

Se ha decidido usar dos cilindros para evitar pandeos en el eje del mismo, y satisfacer el requerimiento de las fuerzas ejercidas en la entenalla.

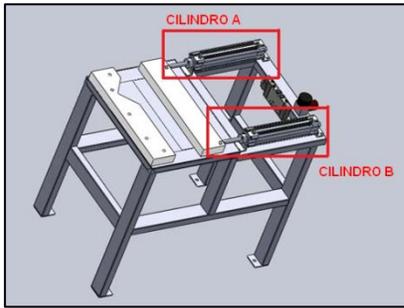


Fig. 12. Disposición de los cilindros neumáticos en la antena

Se ha escogido un cilindro de doble efecto **FESTO DNCB-32-160-PPV-A**. Que le da a la antena una fuerza máxima de 102 kg



Fig. 13. Cilindro Estándar DNCB, ISO 15552. FESTO (Fuente: <http://xdki.festo.com>)

Se ha proyectado que una sola electroválvula que controle los dos cilindros, para que estos trabajen de una manera más sincronizados.

Se escogió una electroválvula distribuidora **5/2 FESTO CPE18-M1H-5L-1/4**.



Fig. 14. Electroválvula 5/2. (Fuente: <http://xdki.festo.com>. FESTO. Alemán. 15/12/2012)

Se eligió unas mangueras que cumplan con el requerimiento de presión del sistema de 6.21 bar o 90 psi; las mangueras escogidas fueron: mangueras de

poliuretano PHHU 6x4 neumáticas, cuya máxima resistencia a la presión es de 10 bar.

En el diseño de las pinzas de la antena se ha considerado que ésta debe ser capaz de sujetar objetos rectos, como cubos y objetos cilíndricos; por tal motivo una sección de las pinzas es recta, la cual está destinada para los objetos rectos, mientras que para los objetos cilíndricos se ha usado una sujeción de tres puntos.

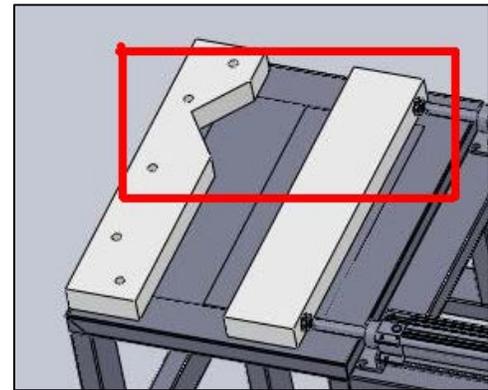


Fig. 15. Pinzas de la antena

El largo de la antena se ha elegido a partir de las dimensiones del cilindro neumático escogido, ya que dicho largo cubre el tamaño del cilindro, la carrera del cilindro y las mordazas.

Para dimensionar el alto de la bancada de la antena, se ha usado la morfología y dimensiones del robot KUKA KR16, y su zona de trabajo en el eje X.

Para seleccionar el ancho de la bancada de la antena se ha usado como referencia el tamaño de las probetas que el gripper multifuncional puede manipular.

Se ha realizado las conexiones neumáticas con los elementos seleccionados.

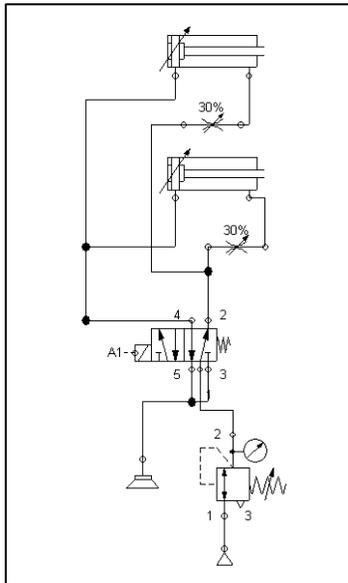


Fig. 16. Conexión Neumática

La electroválvula es activada con una señal de 24 V proveniente del módulo WAGO, en el armario KRC2 del robot.

## 6. DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE PINTADO.

Para elaborar la caja de pintado se ha ideado que ésta tenga la forma de un prisma rectangular, Con un lado hueco, para que, por ésta abertura pueda entrar el gripper del robot, manipular la probeta y realizar el proceso de pintado.

La altura máxima que la estación alcanza es de 1205 mm, se la ha obtenido a partir de la altura del alcance máximo del robot.



Fig. 17. Diagrama esquemático caja de pintado

## 7. DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE PALETIZADO Y SUMINISTRO DE MATERIAL

Para ambas estaciones se ha usado un pallet de fibra de madera prensada, con medidas normalizadas.



Fig. 18. Pallet de fibra de madera prensada (Fuente: <http://inkapaletsbarcelona.com>)

## 8. SIMULACIÓN, MODELACIÓN Y VALIDACIÓN VIRTUAL DEL MÓDULO MEDIANTE SOFTWARE

Se ha realizado la modelación en SolidWorks de la banda transportadora, entenalla automatizada, y estación de pintado, mientras que la validación y simulación se las ha elaborado para la banda y la entenalla.

Los resultados que se ha obtenido de la simulación son los máximos esfuerzos que soportan la bancada, la máxima deflexión y el mínimo factor de seguridad.

Los resultados obtenidos en la banda transportadora son:

$$\sigma_r = 142.07 \text{ MPa} \text{ Esfuerzo que soporta la bancada}$$

$$\delta_r = 0.7434 \text{ mm} \text{ Deflexión que soporta la bancada}$$

$$FS. = 4.37 \text{ Factor de seguridad}$$

Los resultados obtenidos en la entenalla automatizada son:

$$\sigma_r = 77.88 \text{ MPa} \text{ Esfuerzo que soporta la bancada}$$

$$\delta_r = 0.1935 \text{ mm} \text{ Deflexión que soporta la bancada}$$

$$FS. = 7.19 \text{ Factor de seguridad}$$

## 9. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE OPERACIÓN.

Se ha realizado las siguientes pruebas de funcionamiento:

Se tomó las distancias entre los orificios de las probetas prismáticas, para sacar la desviación estándar en el proceso de taladrado, dicha desviación es: **0.752773**.

Se ha tomado las distancias de las probetas cuando están en el pallet de llegada con el borde del pallet en el eje X, y en el eje Y; en los dos procesos.

Se ha realizado la diferencia entre las medidas obtenidas en los dos procesos y el los dos ejes, para obtener la desviación estándar de esta diferencia.

Desviación estándar en el eje X: **0.833333**.

Desviación estándar en el eje Y: **0.866025**.

Se ha realizado pruebas de carga para validar la banda transportadora.

Número	Prueba	Estado	Estado
1	Con 10 kgf		Aprobado
2	Con 40 kgf		Aprobado
3	Con 80 kgf		Aprobado
4	Prueba de inercia		Aprobado

Para la validación de la entenalla se ha realizado las siguientes pruebas:

Número	Prueba	Estado	Estado
1	Sujeción		Aprobado
2	Taladrado		Aprobado
3	Fuerza de sujeción 1		Aprobado
4	Fuerza de sujeción 2		Aprobado
5	Sujeción objetos suaves		Aprobado
6	Sujeción objetos irregulares		Aprobado

Después de realizar las pruebas en el laboratorio con los procesos, se ha obtenido los siguientes tiempos

- **Proceso 1:** 12 min, 55.08 s.

- **Proceso 2:**

-Ciclo 1: 03 min, 45.77 s.

-Ciclo 2: 07 min, 31.78 s.

-Ciclo 3: 11 min, 19.83 s.

- **Proceso 3:** 03 min, 09 s.

-Proceso taladrado de la probeta prismática: 2 min, 09 s.

-Proceso pintado probeta cilíndrica: 1 min, 00 s.

## 10. CONCLUSIONES

- Se construyó tres módulos complementarios al robot KUKA KR-16: una entenalla neumática automatizada con dos actuadores lineales alimentados neumáticamente que sujetan objetos con una fuerza de 51 kgf, cada uno, a una presión de 90 Psi, diseñada para sujetar objetos de hasta 160 mm, aquí se podrán realizar trabajos de drilling y milling. Una banda transportadora que sirve para trasladar objetos entre dos robots del laboratorio y con ayuda de los sensores de presencia realizar procesos de paletizado; estos están conectados directamente al controlador del robot; una cámara de pintado adaptada para las necesidades y realidad del laboratorio, pues servirá principalmente para evitar que no exista derrames de pintura en el laboratorio y que exista un lugar específico donde se pueda realizar proceso de pintado o afines.

- b) Se realizaron giras técnicas a los laboratorios de robótica de la ESPE-L y a empresas dedicadas a la fabricación de bandas, además de revisar catálogos y libros para llegar a obtener el diseño definitivo de la banda transportadora, la entenalla es un resultado de investigación de la eficiencia en procesos de robótica pues el método convencional de entenallas mecánicas con tornillo sin fin hubiese demorado cualquier tarea, en cambio, el utilizar un principio neumático disminuye el factor hora / trabajo, siendo éste más eficiente, de ésta forma se llegaron a los diseños definitivos.
- c) Para la construcción se utilizaron materiales comunes en el mercado ecuatoriano como el grilón, además se emplearon elementos industriales de marcas reconocidas y fácil adquisición como motores Bosch y fuentes WAGO, sensores industriales reflexivos Sick, además de tubos de acero estructurales ASTM A500 Gr-A perfiles angulares, donde se obtuvo experiencia con respecto a la adquisición de materiales y proveedores de materiales mecánicos, electrónicos y de control.
- d) Se utilizó elementos de control a 24V, para así poder utilizar las salidas en los módulos WAGO del robot. Además se empleó entradas del mismo módulo para realizar el proceso de manufactura final del proyecto para así evitar cualquier tipo de daño hacia el controlador del robot, garantizando que el proyecto no signifique ninguna amenaza para el KUKA KR-16 por motivo de corriente eléctrica mal maniobrada.
- e) Una celda flexible de manufactura es mucho más eficiente que métodos manuales y otras maquinarias, ya que se demora mucho menos tiempo a la vez que manufactura una mayor cantidad de piezas; y como es flexible está abierto a la posibilidad de realizar varios procesos solo cambiado la programación.
- f) Se dotó al laboratorio de robótica industrial de varios módulos para obtener una celda flexible que multiplicará la utilidad de los robots que se encuentran en el mismo, pues con las funciones de las que dispone el gripper se podrá apreciar la verdadera utilidad y potencia que pueden llegar a tener dichos robots, ampliando la capacidad de ingenio de los alumnos para posibles aplicaciones en la industria, aportando así modernidad e innovación al país.
- g) El proyecto funciona, cumpliendo las expectativas en el diseño. Se complementa bien con el Robot KUKA KR16 y el gripper Mecatrónico existente a tal punto que el momento realizar un proceso de manufactura los módulos reaccionan en tiempo real. las posibles colisiones y el área de ocupación se han reducido al mínimo mientras que la cantidad de actividades que se puede realizar con el robot se ha incrementado a máxima capacidad,
- h) En el proceso de taladrado realizado se ha procedido tomar las distancias entre los orificios de las probetas prismáticas, y se obtuvo desviación estándar 0.752773 mm, la cual es mínima y por lo tanto se ha obtenido un proceso de calidad, validando de esta manera la realización de procesos de

taladrado de mayor complejidad con la celda flexible.

- i) En el proceso de paletizado realizado se ha procedido tomar las distancias de las probetas cuando están en el pallet de llegada, tanto en el eje X donde se obtuvo desviación estándar 0.833333 mm y en el eje Y donde se obtuvo una desviación estándar de 0.866002 mm, las cuales son mínimas y por lo tanto se ha obtenido un proceso de calidad, validando de esta manera la realización de procesos de paletizado y garantizando que el producto que se procese en esta celda va a salir siempre bien ordenado.
- j) Se ha determinado que con el módulo complementario al robot KUKA KR16 adaptado como una celda flexible se pueden realizar como mínimo 10 prácticas de robótica, sistemas flexible ya que aquí se pueden realizar procesos de drilling, milling, pintado, reconocimiento de componentes industriales de una celda flexible, manipulación de objetos en un pallet con el robot, movimientos y programación del robot.
- k) Se ha verificado mediante 3 pruebas de esfuerzo y 1 prueba de inercia el correcto funcionamiento de la banda transportadora y que la misma funcionó exitosamente a esfuerzos de 10, 40 y 80 Kgf, además al poner varias probetas en forma de pila arrancando y parando la banda estas no se desparramaron.
- l) Se ha comprobado que la entenalla automatizada puede realizar distintos tipos de sujeciones tanto de objetos en forma curvilínea como recta, además tiene una fuerza total

máxima de agarre de 102 Kgf con lo cual se ha podido realizar procesos como el de taladrado sin ningún problema.

- m) Se pudo observar que la cámara de pintura cumplió el objetivo de marcar un espacio definido para este proceso ya que aquí se trabajó con pintura industrial y no hubo rezado del mismo en el resto del laboratorio.
- n) Se demostró que el tiempo de ciclo de un proceso y el número de piezas manufacturadas con la celda flexible es demasiado amplio comparado a otras máquinas llegando a ser casi 9 veces más efectivo, esta cantidad es muy beneficiosa si se traslada este número a la industria.

## 11. RECOMENDACIONES

- a) La Mecatrónica se debería aceptar que es una carrera con varias ciencias y especialidades afines, unidas sinérgicamente, por lo que, el utilizar materiales y equipos mecánicos, electrónicos y de control demuestra que la interacción y cooperación entre ramas es parte misma de la Mecatrónica.
- b) Conocer a fondo el funcionamiento, la fisonomía del Robot KUKA KR16 y su gripper Mecatrónico multifuncional. Entender que los motores tienen una energía tal que el robot puede convertirse en un arma mortal si no se lo maneja con cuidado. por lo que se debería implementar seguridades externas al robot, como barreras tangibles e intangibles para garantizar extrema seguridad.
- c) Debido a que ésta clase de robots están configurados para hacer actividades repetitivas

por largos periodos de tiempo, la programación debe estar hecha con sumo cuidado, verificando cada punto que se programa ver, ya que muchas veces, cuando el proceso se encuentra en marcha un movimiento puede ser imperceptible al sentido de reacción humana.

- d) Encontrarse en buenas condiciones físicas y psicológicas, ya que después de programar el robot se ha verificado que puede ser igual o más difícil que reaccionar frente a un automotor.
- e) A pesar de la dotación que se realiza al laboratorio con la construcción de ésta celda, se debería equipar el laboratorio con otras.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abedrabbo, J. (2012). Especificaciones del gripper mecatronico. *Manual de operaciones gripper multifuncional.*, 1-3.

Abedrabbo, J., & Guerrero, J. (2012). Especificaciones del gripper mecatrónico multifuncional. In *Diseño y construcción de un gripper Mecatrónico multifuncional para el laboratorio de robótica de la ESPE* (pp. 50-51). Sangolquí: Ergotronica.

Asociación Francesa de Normalización,. (2012). Definiciones de robótica. *Le France Normalisation*, 16-17.

III, U. C. (2007, 05 12). *Estudio de Sistemas de Manufactura flexible*. Retrieved from <http://www.docstoc.com>

ISO, Organización Internacional de Estándares. (2001). Definiciones industriales. *ISO 9001-2000 No. 1*, 5-6.

Kuka Corporation. (2009, 12 23). Retrieved from Sitio web de KUKA: <http://www.kuka.com>

Laboratorio de sistemas flexibles. (2010, 12 23). Retrieved from sitio web de Biblioteca Vrtual Universidad de Antioquia: <http://www.virtual.unal.edu.co>.

Leal, J. (1999). *Flexibilidad Industrial*. Mexico: Mc Graw Hill.

Pirelli, W. (1992). Dimensionamiento de rodillos. In *Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadore* (p. 82). Madrid: Mc Graw Hill. (España).

herramientas que faciliten y amplíen el conocimiento de los alumnos que cursan asignaturas como: robótica o automatización industrial.

- f) Toda máquina o equipo requiere un mantenimiento adecuado para lograr una larga vida útil y evitar posibles fallas prematuras, por lo que se sugiere limpiar la entenalla y la banda adecuadamente después de su uso, cuidar que las chumaceras tengan el nivel de grasa necesaria para lubricar continuamente los equipos y tener cuidados el momento de manipular el robot y los módulos pues su mal uso puede desembocar en daños irreparables.

Planeta del pallet. (2007, 07 02). Retrieved from sitio web de A. Planeta del pallet: <http://www.planet.net>

Revista Académica e institucional de la UCPR. (2008, 04 11). Retrieved from sitio web de Revista Académica e institucional de la UCPR: <http://www.ucp.edu.co>

RIA, Robotic Industry Association. (1.990). *Future Machine. Robotic Industry Association Magazine Nro8*, 1-4.

Schey, J. (2002). Factor de seguridad. In *Procesos de manufactura* (pp. 16 - 18). México: Mc Graw Hill.

Schwartz, A. (2001). *Manufactura del futuro*. Arizona: Pc World.

Sena, J. A. (2007). *Análisis y diseño de sistemas de flexibles de manufactura*. México: McGraw Hill.

Siegling, T. (2002). Templadores en una banda. In *Bandas de transporte y procesamiento* (p. 8). Berlín: Forbo Systems,.

Solidworks Corporation. (2012, 11 01). Retrieved from sitio web de Solidworks Corporation: <http://www.solidworks.com>

Universidad Autónoma de Madrid. (2008, 12 01). Retrieved from sitio web de Universidad Auónoma de Madrid: <http://www.docstoc.com>