

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO Y SUS
OPERADORES**

**CRISTIAN CHIQUITO VALENCIA
CARLOS JOSÉ SANTIAGO OSORIO**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
SANTIAGO DE CALI**

2014

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO Y SUS
OPERADORES**

**CRISTIAN CHIQUITO VALENCIA
CARLOS JOSÉ SANTIAGO OSORIO**

Proyecto de grado

**Víctor Javier Escallón Santamaría M.Sc
Profesor Tiempo Completo**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
SANTIAGO DE CALI**

2014

Contenido

1.	TEMA	5
1.1.	TÍTULO DEL PROYECTO	5
1.2.	DELIMITACIÓN Y ALCANCE	5
1.3.	PROBLEMA A TRATAR	5
1.3.1.	Identificación del problema	5
1.3.2.	Justificación	6
2.	OBJETIVOS	7
2.1.	Objetivo general	7
2.2.	Objetivo del proyecto	7
2.3.	Objetivos específicos	7
3.	MARCO DE REFERENCIA	8
3.1.	Antecedentes y marco teórico	8
3.2.	Marco lógico	10
3.3.	Aporte crítico	11
4.	ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	12
4.1.	Recursos disponibles	12
4.1.1.	Humanos	12
4.1.2.	Económicos	12
4.1.3.	Tecnológicos	12
4.2.	Cronograma	12
4.3.	Equipo de investigadores	12
5.	Desarrollo del Proyecto	13
5.1.	Objetivo específico 1. Identificación de las variables de entrada que determinan el desempeño de un sistema automatizado	13
5.1.1.	Variables que definen el desempeño de un sistema productivo	13
5.1.2.	Variables que definen el desempeño de un robot	14
5.1.3.	Variables que afectan el desempeño de un humano	16
5.2.	Objetivo específico 2. Relaciones causales entre variables de entrada de un sistema automatizado y las variables de salida	19
5.3.	Objetivo específico 3. Diseño de escenarios de interacción entre el brazo robótico y operadores humanos	25

5.4. Objetivo específico 4. Evaluación de escenarios de simulación y resultados:	47
6. CONCLUSIONES	56
7. Recomendaciones	58
8. Anexos	62
Anexo A. Cronograma	62
Anexo A. Cronograma	63
Anexo B. Encuesta	64
Anexo C. Práctica Picking.....	70

1. TEMA

1.1. TÍTULO DEL PROYECTO

Análisis del desempeño de un sistema automatizado y sus operadores

1.2. DELIMITACIÓN Y ALCANCE

Este proyecto se desarrollará en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi, en donde se pondrá el brazo robótico Scorbot ER 9 Pro en interacción con operadores humanos en el desarrollo de una serie de experimentos que simulen actividades de sistemas de producción y se analizarán diferentes escenarios, aprovechando los aditamentos del laboratorio, con el fin de medir el desempeño y la calidad del sistema bajo diferentes condiciones.

1.3. PROBLEMA A TRATAR

1.3.1. Identificación del problema

Tradicionalmente, la automatización se ha implementado con el propósito de aumentar dos variables fundamentales de la producción: la consistencia y la velocidad, (Weimer, 2006). La consistencia se refiere a la posibilidad que los dispositivos mecánicos y automáticos tienen de ejecutar procesos de forma repetible, aplicando los mismos parámetros (presión, temperatura, trayectoria de movimiento, entre otros) en cada ejecución. La velocidad se refiere a que los dispositivos automáticos deberían poder ejecutar tareas específicas a mayores velocidades que los operadores humanos.

Por otro lado, en Colombia se identifica la necesidad de formar y capacitar profesionales en automatización industrial, gestión tecnológica y sistemas de manufactura, para aumentar la productividad, (Carvajal, 2003).Entonces se hace indispensable facilitar el desarrollo tecnológico mediante proyectos de innovación y automatización, para mejorar la competitividad, en especial de las Mipymes, (DNP y Colciencias, 2005).

La automatización completa todavía no es una opción. Rahimi (1992) y Mital (2000) aseguran que la interacción con operadores es completamente necesaria ya que, dentro de un proceso productivo, hay muchas operaciones en las que el hombre va a tener siempre mejor desempeño que el robot, mayor flexibilidad en sus habilidades y capacidad de tomar decisiones.

De cualquier forma, aún con operadores involucrados en la automatización, se espera que una mayor consistencia resulte en una mejor calidad de los productos y que una mayor velocidad tenga como consecuencia una tasa de producción mayor (y menores tiempo de respuesta a los clientes). Sin embargo, existen numerosos reportes de proyectos de automatización que no han generado los beneficios esperados, causando insatisfacción entre los operarios y la gerencia por igual.

Estos resultados inesperados se le atribuyen principalmente al mal uso que se le da a los equipos que se adquieren en el proceso de automatización, ya que no se realiza un análisis sistémico global del sistema de producción en el que se encontrarán y de la interacción que tendrán con los operarios, lo que hace que innumerables factores imprevistos impidan la consecución de las metas de desempeño planteadas para dichos sistemas.

1.3.2. Justificación

La automatización de procesos es un tema que, en la industria, se estudia desde un punto de vista financiero. Surge como una necesidad en planta y luego se materializa o no después de un análisis económico. Con este proyecto se pretende involucrar otros aspectos de mucha relevancia en la automatización como la calidad y el desempeño de la máquina, para medir qué tan viable y en qué cantidad se debe hacer dicha implementación de un sistema automático o semi-automático. De esta forma, este proyecto servirá en el campo profesional como una ayuda para los empresarios en la etapa de planeación de la automatización, para determinar factores relevantes de carácter funcional dentro de un análisis sistémico y logren determinar la mejor combinación hombre-máquina que deben hacer en su determinada industria, más allá de la inversión que se deba hacer o de cuándo se recuperará.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Contribuir al desarrollo de la automatización industrial a nivel académico y empresarial, enfocado a la región.

2.2. Objetivo del proyecto

Construir un modelo sistémico del funcionamiento de un sistema semi-automático (con interacción entre un brazo robótico y operadores humanos) que permita evaluar el desempeño del sistema con base en indicadores de calidad, consistencia y productividad.

2.3. Objetivos específicos

- Identificar las variables principales que intervienen en el desempeño de un sistema semi-automático en diferentes configuraciones operacionales.
- Identificar relaciones causales entre variables de entrada de un sistema automatizado y las variables de salida.
- Diseñar cuatro escenarios de interacción entre el robot y el humano que puedan hacer parte de sistemas de producción semi-automáticos.
- Evaluación de escenarios de simulación y resultados.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Antecedentes y marco teórico

Para aumentar la calidad y productividad de las empresas manufactureras se han realizado estudios de los sistemas automáticos y semiautomáticos con la interacción entre sistemas y personas. Neumann et.al. (2002) consideran los efectos ergonómicos de la implantación de automatización parcial en el trabajo de los operadores en actividades de ensamblaje. Parasuraman y Riley (1997) estudian cuatro resultados diferentes (uso, mal uso, desuso, abuso) en la aplicación de tecnologías de automatización, haciendo un análisis específico de las circunstancias de uso de estas tecnologías en relación con las necesidades de trabajo de los operadores, y caracterizan las principales causas de los cuatro resultados mencionados. Squirea y Parasuraman (2010) estudian la interacción entre controladores humanos y robots semiautónomos, específicamente en circunstancias de carga de trabajo y cambios de tarea durante operaciones asignadas; y proponen un conjunto de variables a considerar en sistemas semiautónomos de complejidad creciente. Gorchach y Wessel (2007) analizan factores como la economía, necesidades de flexibilidad y calidad del producto para escoger el nivel adecuado de automatización según las circunstancias de una determinada planta. Los autores proponen que la máxima automatización posible no es siempre la más recomendable, y que una consideración multi-factorial es la más aconsejable al decidir automatizar o des-automatizar una determinada operación.

Por otro lado, Colledani y Tolio (2009), desarrollaron un método analítico para evaluar el rendimiento de un sistema con máquinas monitoreadas usando Control estadístico de procesos. Afirman que menor trabajo en proceso no siempre significa mayor tasa de producción de partes conformes, mejoras locales pueden tener un impacto negativo en el desempeño del sistema, situar un gran número de dispositivos de inspección no siempre conlleva a una tasa de producción de partes conformes mayor.

La evaluación del desempeño de un robot es un tema amplio que se ha estudiado desde varias perspectivas. J.J. Jiang y C.W. Raman Lin desarrollaron un enfoque integral para la evaluación de la flexibilidad de un centro de trabajo. S.K. Das y P. Nagendra proporcionan ideas sobre el impacto de la flexibilidad de la ruta, la máquina y el mix de productos. Mishra, A. et al. (2010) proponen una metodología sistemática para medir los factores de desempeño más relevantes de un robot: flexibilidad, producibilidad y confiabilidad.

En la literatura existen varios enfoques sobre la gama de errores cognitivos humanos, (Michael E. Fotta et al., 2004), pero uno de los más aceptados es

Generic Error Modeling System (GEMS) propuesto por Reason (1990). GEMS es un esquema de clasificación de error que se opone a los errores relacionados al ambiente.

En este proyecto se desea evaluar el desempeño de un sistema automatizado, por lo que se hace uso de los escenarios “Best-Case Performance” dado que los tiempos de procesamiento son regulares, se toma la línea de producción como un perfecto balance; y el segundo escenario que se conoce como “Practical Worst-Case Performance” que involucra variabilidad en los tiempos de procesamiento, por lo que se considera una línea de producción no balanceada.

Se define TH_{PWC} como el rendimiento en el escenario “Practical Worst-Case Performance”, por lo que si el rendimiento actual TH supera el TH_{PWC} se asume que el sistema actual es bueno. Aunque lo ideal es obtener un rendimiento igual a TH en “Best-Case Performance”, es imposible debido a paradas para cambios de producto, reparación de máquinas y otras variables que no se pueden controlar

Los autores no encontraron referencias a trabajos de investigación sobre el desempeño de un sistema compuesto por máquinas y humanos a escala regional. Es interesante observar que en este campo es posible generar modelos sistémicos que, desde un punto de vista de Ingeniería Industrial, permitan analizar los sistemas y sus circunstancias de operación para relacionar correctamente las variables complejas que afectan un sistema y los resultados esperados en el sistema al modificar cualquiera de ellas.

3.2. Marco lógico

Tabla No.1. Matriz de marco lógico.

Jerarquía de objetivos	Metas	Indicador verificable	Fuente de verificación	Supuestos
Objetivo general	Construir un modelo sistémico del funcionamiento de un sistema semi-automático (con interacción entre un brazo robótico y operadores humanos) que permita evaluar la calidad y el desempeño productivo del sistema.		Comité de proyecto de grado, tutor metodológico y tutor temático.	
Objetivo del proyecto	Contribuir a la formación de empresarios en la etapa de automatización para determinar factores relevantes de carácter funcional dentro de un análisis sistémico y logren determinar la mejor combinación hombre-máquina que deben hacer en su determinada industria, más allá de la inversión que se deba hacer o de cuándo se recuperará.		Empresarios de la ciudad.	Disposición de empresarios a evaluar el proyecto.
Objetivo específico 1	Identificar las variables principales que intervienen en el desempeño de un sistema semi-automático en diferentes configuraciones operacionales.	Si / No	Tutor temático.	Acordes a los indicadores usados en el entorno empresarial.
Actividad 1.1	Documentar variables que afecten el desempeño de un robot.	Si / No	Tutor temático.	Existen investigaciones sobre el tema.
Actividad 1.2	Documentar variables que afecten el desempeño de un humano.	Si / No	Tutor temático.	Existen investigaciones sobre el tema.
Actividad 1.3	Documentar variables que afecten el desempeño de un sistema humano-robot.	Si / No	Tutor temático.	Existen investigaciones sobre el tema.
Objetivo específico 2	Identificar las relaciones causales entre estas variables y entre las variables de entrada y las variables de resultado a medir (calidad y desempeño).	Si / No	Tutor temático.	Acordes a los indicadores usados en el entorno empresarial.
Actividad 2.1	Documentar relaciones causales entre variables que intervienen y sistemas humano-robot.	Si / No	Tutor temático.	Existen investigaciones sobre el tema.
Actividad 2.2	Documentar la medición de la calidad y desempeño de un sistema productivo.	Si / No	Tutor temático.	Existen investigaciones sobre el tema.

Objetivo específico 3	Diseñar escenarios de interacción entre el robot y el humano que puedan hacer parte de sistemas de producción semi-automáticos.		Tutor temático.	Similares a los procesos automatizados presentes en las empresas en cuestión.
Actividad 3.1	Consultar a expertos en automatización industrial acerca de las empresas que hayan implementado este proceso de manera adecuada en la ciudad.	Mínimo 3 expertos.	Tutor temático.	Existen empresas que hayan automatizado sus procesos de forma parcial o total en la ciudad.
Actividad 3.2	Visitar dichas empresas para conocer sus procesos productivos e identificar cuales son los que presentan semi-automatización.	Cumplimiento visitas / Visitas programadas	Tutor temático.	Se logra establecer un contacto directo con dichas empresas.
Actividad 3.3	Establecer secuencias similares a los procesos de producción vistos teniendo en cuenta la capacidad del espacio de trabajo disponible.	Mínimo 3 secuencias.	Expertos y tutor temático.	El espacio de trabajo disponga de los recursos necesarios.
Actividad 3.4	Retroalimentar las secuencias con expertos en automatización.	Si / No	Expertos y tutor temático.	Disposición de expertos.
Objetivo específico 4	Evaluar dichos escenarios, utilizando simulación de manera continua aplicando las variables identificadas y sus relaciones, para caracterizar circunstancias de operación que sirvan a los empresarios para tomar decisiones de automatización con mejor previsión del comportamiento del sistema.		Tutor temático.	
Actividad 4.1	Ejecutar las secuencias.	Secuencias ejecutadas / Secuencias establecidas	Tutor temático.	Disponibilidad de espacio y aditamentos necesarios.
Actividad 4.2	Cuantificar el desempeño y la calidad del sistema en cada escenario con base en las variables documentadas.		Tutor temático.	Resultados de la ejecución de las secuencias son confiables.
Actividad 4.3	Comparar los resultados de los escenarios.		Tutor temático.	Disponibilidad de documentación de variables.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Aporte crítico

Carlos Pedreros, director ejecutivo de la Asociación Colombiana de Profesionales de Instrumentación y Automatización Industrial, ISA Colombia, afirma que Colombia se mantiene en el marco de aprendizaje en el área de automatización respecto a otras naciones y no existe suficiente documentación acerca del desempeño de la interacción hombre-robot que permita la creación de procesos automatizados, por lo que este proyecto de grado proporcionará una base para la evaluación sistemática en la decisión de automatizar procesos en las empresas.

4. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

4.1. Recursos disponibles

4.1.1. Humanos

Las personas que directa o indirectamente se relacionan con este proyecto son: tutor temático, tutor metodológico, expertos en automatización, personas pertenecientes a empresas que hayan implementado y/o controlen el proceso de automatización parcial o total en empresas de la ciudad.

4.1.2. Económicos

Los gastos principalmente serán cubiertos por parte de los investigadores para transportes a las visitas empresariales.

4.1.3. Tecnológicos

Se dispone del espacio del Laboratorio de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi. Este laboratorio cuenta con un brazo robótico, Scorbot ER-9 Pro.

4.2. Cronograma

Ver anexos 1 y 2.

4.3. Equipo de investigadores

Cristian Chiquito Valencia y Carlos José Santiago Osorio, estudiantes de octavo semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi, autores del proyecto.

Víctor Javier Escallón Santamaría, Maestría en Ingeniería Industrial, tutor temático.

Jairo Guerrero Bueno, Maestría en Ingeniería Industrial, tutor metodológico.

5. Desarrollo del Proyecto

5.1. Objetivo específico 1. Identificación de las variables de entrada que determinan el desempeño de un sistema automatizado

5.1.1. Variables que definen el desempeño de un sistema productivo

En toda empresa siempre existe un objetivo (por lo general es generar utilidad). Los involucrados en la toma de decisiones en la planta utilizan herramientas de diferentes tipos con el fin de tener control sobre las operaciones y así lograr el objetivo propuesto de la mejor manera y evaluar el desempeño en términos de mediciones.

Toda empresa, ya sea manufacturera o de servicios, utiliza medios diferentes para lograr su objetivo principal, y estos medios dependen de la especificidad de su sistema y de su estrategia de negocio. Si dichos medios varían de una compañía a otra, entonces también variará la importancia que tengan unas medidas de desempeño con respecto a otras. Por ejemplo, para una empresa que produce arroz debe ser muy importante mantener un tiempo de ciclo siempre bajo, de tal forma que su producto siempre esté listo para entregárselo al cliente; mientras que para una empresa que fabrique autos de lujo, mantener unos estándares de calidad inmejorables debe ser su filosofía.

Es claro que el rendimiento de un sistema se ve afectado por cualquier mal funcionamiento de alguna de sus partes. En particular, el rendimiento de un sistema semi-automatizado se ve afectado por el rendimiento de sus operadores y el de sus máquinas. Por lo tanto, se necesita evaluar los factores que afectan el desempeño del sistema semi-automatizado como un conjunto, no cada parte por separado. Entonces se propone un modelo sistémico para el análisis del desempeño de un sistema automatizado y sus operadores.

Con base en esto, es realmente complicado generalizar factores que determinen el desempeño de los sistemas productivos en general; sin embargo, Hopp y Spearman (2001) mencionan que hay ciertos postulados que caracterizan ampliamente un sistema de producción: rendimiento exactamente igual a la demanda, completa utilización de todos los equipos, tiempo de ciclo y lead time lo más pequeños que sea posible, excelente servicio al cliente, excelente calidad, inexistente inventario de materia prima y de productos terminados, y mínimo WIP.

Con esta información, se definen las variables que afectan el desempeño de un sistema productivo, automatizado o no:

- Rendimiento: definido como el porcentaje de partes de las que se producen, que son realmente usadas. El rendimiento perfecto sería usar (o vender) todas las partes que se producen y que no sobren partes... Producir lo que la demanda pide. Hacer de menos significa perder ventas y hacer de más significa sobreproducción.
- Inventarios: tanto de MP, PT y WIP. Lo ideal sería que los proveedores y la propia empresa trabajaran JIT, lo que involucra que el inventario de materia prima y el inventario de producto terminado sean cero. Además, que el producto en proceso sea el mínimo requerido para cumplir con el rendimiento esperado.
- Tiempo de ciclo: definido como el tiempo que tarda la empresa en convertir materia prima en un producto terminado. Un tiempo de ciclo corto tiene sus repercusiones directas en la reducción de costos.
- Lead time: Definido como el tiempo que pasa desde que el cliente pone una orden hasta que se le entrega su pedido. Es importante por motivos de competitividad.
- Servicio al cliente: definido como la fracción de la demanda que se satisface a tiempo. Varía la forma de medirlo dependiendo de la forma de producción de la empresa (make-to-order, make-to-stock, etc.).
- Calidad: Para propósitos operacionales, definida como la fracción de partes que son realizadas correctamente a la primera vez; sin reprocesos y sin desperdicios inesperados.

5.1.2. Variables que definen el desempeño de un robot

Automatización puede ser definido como la tecnología con la cual un proceso o procedimiento se logra sin la ayuda de un humano. Un sistema automatizado consiste de tres elementos básicos:

- Energía para automatizar el proceso, requerida para las operaciones del proceso (mover la unidad de trabajo) y para las operaciones de control básicas.
- Programa de instrucciones, ejecutados durante el ciclo de trabajo que sirven para determinar el nivel de interacción del sistema automatizado con el operador, establecer varias secuencias y procesos.
- Sistema de control, que ejecuta el programa de instrucciones como un ciclo abierto (no hay retroalimentación de las acciones por falta de sensores), o como un ciclo cerrado donde intervienen parámetros, procesos, variable de salida, sensor retroalimentador, controlador y actuador.

Un robot industrial es una máquina multifuncional reprogramable con características antropomórficas, diseñada para mover objetos a través de movimientos programados y/o enseñados a responder a estímulos sensoriales.

Los robots pueden reemplazar a los humanos en ambientes de trabajo peligrosos e incómodos debido a su consistencia y repetitividad, gracias a su capacidad de ser reprogramables y controlados por computador. Estas son algunas de las cualidades que proyectan a un robot industrial comercialmente y tecnológicamente en un marco importante de manufactura.

La capacidad del robot para posicionar los objetos, y por lo tanto las variables que afectan su desempeño, depende de la precisión y repetitividad para controlar el proceso industrial. Existe otro término conocido como control de resolución que indica el mínimo cambio en la posición que el dispositivo de retroalimentación puede detectar.

El control de resolución depende de dos factores: limitaciones en los componentes electromecánicos que forman la unión entre eje y los componentes rígidos del robot (links), y la capacidad de almacenamiento (bits) del controlador para cada eje. El factor determinante para el control de resolución es el sistema mecánico porque la estructura mecánica del robot manipulador es mucho menos rígida que la de una herramienta mecánica.

La habilidad de un robot manipulador para posicionar un mecanismo de eje-link en la posición exacta definida como punto direccionable está limitada por errores mecánicos en el eje y los links asociados. Los errores mecánicos pueden generarse a través de juegos de engranaje, desviación del link, fugas de líquido hidráulico, combinaciones.

La repetitividad es la medida de la capacidad del robot para posicionar el gripper en un punto enseñado previamente en toda la carga de trabajo. La precisión es la capacidad del robot para posicionar el gripper en un punto deseado en toda la carga de trabajo. Características como velocidad, carga útil, y dirección de acercamiento afectan la repetitividad y precisión del robot.

El concepto de automatización se puede ver desde diferentes niveles. El nivel más bajo de automatización consiste en dispositivos o instrumentos como sensores y actuadores. El nivel de máquina tiene que ver con la implementación de hardware en el nivel anterior para nombrar robots industriales, bandas transportadoras. El nivel de célula o sistema opera bajo instrucciones del nivel de planta y se refiere a un grupo de máquinas coordinadas por un computador o proceso de manufactura. El nivel de planta es el sistema de producción, que recibe instrucciones del sistema de información de la empresa y lo traduce a planes de producción. El nivel de empresa es el más alto y maneja todas las funciones necesarias en cuanto a la administración de la empresa, mercadeo y ventas, contabilidad, diseño, investigación y desarrollo, planes agregados, y programación maestra de la producción.

Los procesos de manufactura se pueden clasificar como: operaciones de procesamiento que usan energía para alterar propiedades físicas y añadir valor al material; y operaciones de ensamble en las cuales se unen dos o más partes separadas formando una nueva entidad. Otras operaciones que se realizan normalmente en una fábrica son: manejo de materiales y almacenamiento, inspección y pruebas, y coordinación y control. Los procesos de formación (solidificación, procesamiento de partículas, deformación y eliminación de material), mejoramiento de propiedades (tratamiento térmico), procesos de superficie (limpieza y tratamientos de superficie); y las operaciones de ensamble, procesos de unión (soldadura fuerte y blanda, unión adhesiva) y fijación mecánica (sujetadores roscados, fijación permanente).

5.1.3. Variables que afectan el desempeño de un humano

Contrario a las máquinas, los humanos se proponen alcanzar metas. Los humanos no producen, sino que trabajan. Según Cavassa (2000), la teoría más acogida en cuanto a la motivación de los empleados, basándose en las variables que definen el trabajo de las personas en cuanto a motivaciones, sentimientos, actitudes, habilidades y emociones, es la Teoría basada en las necesidades de Maslow.

Se plantea que los seres humanos están motivados por múltiples necesidades y que éstas presentan un orden jerárquico. Los niveles generales de necesidades que nos motivan son:

- Fisiológicas: necesidades más básicas de los humanos, incluyen agua, oxígeno, alimento, que extrapoladas al ámbito organizacional o ambiente de trabajo se traducen en temperatura adecuada, ventilación, y salario con el cual se pueda sobrevivir.
- Seguridad: necesidades de un entorno físico y emocional seguro y estable. Trabajos peligrosos pero bajo condiciones de seguridad certificada, prestaciones sociales y duración del trabajo.
- Pertenencia: necesidad de formar parte de un grupo y ser aceptado. Deseo de entablar buenas relaciones con los compañeros, relación positiva con los superiores.
- Estima: necesidad de reconocimiento y aprecio por parte de los compañeros, mayor responsabilidad y crédito por las aportaciones a la empresa.
- Autorrealización: necesidad de desarrollar todo el potencial de uno mismo y ser mejor persona. Oportunidades brindadas por la empresa para capacitaciones y posibilidad para crecer.

Dentro de esta jerarquía de necesidades es importante resaltar el papel que tiene el conocimiento de los factores que regulan el comportamiento del trabajador en el

estudio ergonómico de la interacción Hombre-Máquina para incrementar la productividad, el rendimiento, la calidad, la seguridad y el bienestar del sistema.

Se busca reducir la fatiga de los trabajadores, mejorar el ambiente laboral y condiciones de seguridad. Estas reducciones deben estar encaminadas a la reducción del error humano, teniendo en cuenta las relaciones que existen entre las características de la tarea y las probabilidades de error en su ejecución.

La integración de estos factores trata de enfocarse en alcanzar condiciones óptimas para la actividad laboral, evitando resultados negativos que se podrían producir por enfocarse en uno de los dos elementos.

Curva de Aprendizaje:

Es difícil proponer un método general para medir cuantitativamente las variables que afectan el desempeño de un humano en los diferentes sistemas de producción que existen en las empresas.

De acuerdo con Imhoff (1978), la curva de aprendizaje es un registro gráfico de las mejoras que se producen a medida que se incrementa la experiencia. Se puede aplicar a individuos u organizaciones. Se basa en tres suposiciones:

- El tiempo necesario para completar la tarea, unidad o producto será menor cada vez que se realice.
- La tasa de disminución del tiempo por tarea será cada vez menor.
- La reducción del tiempo será un factor previsible.

Este fenómeno responde a la condición humana de aprendizaje que hace que, a medida que el hombre realiza su trabajo, aprenda del mismo y ajuste las condiciones para mejorar la eficiencia del proceso.

La curva de aprendizaje es útil para representar la previsión de la mano de obra interna, programación de la producción, establecimiento de costos, y presupuestos, evaluación estratégica de la eficiencia de la empresa.

Mediante esta herramienta se propone un seguimiento a las habilidades de los operarios para identificar las relaciones causales entre la interacción Hombre-Máquina y el desempeño del sistema.

Comparación entre operador humano y robot

“Mientras que la automatización de un sistema de control resulta en desempeño predecible y consistente, carece de juicio humano, adaptabilidad y lógica. Aunque los humanos proporcionan esto, somos impredecibles, inconsistentes y estamos sujetos a emociones y motivaciones” Haight y Kecojevic (2005).

Las ventajas y desventajas de humano y máquina se muestran en la tabla No.2

Tabla No.2.Ventajas y desventajas de humano y máquina.

Humano		Máquina	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Juicio	Inconsistente	Consistente	No juicio
Adaptable	Propenso a errores	Predecible	No puede ser programado para toda eventualidad
Sentido común	Impredecible	Eficiente	Sin sentido común
Interactivo	Emocional y emotivo	Uniforme y confiable	Limitado a diseño, instalación y uso humano

Fuente: Kirlik (1993)

Se puede automatizar un sistema para incrementar la velocidad de operación, la tasa de producción, reducir la ineficiencia, asegurar la consistencia de las especificaciones físicas o para que el operador humano se dedique a la planeación y toma de decisiones, Kirlik (1993). El operador humano puede reconocer señales del sistema de control, registrar la información y ajustar el proceso, monitorear el estado del sistema y reportar los casos fuera de control.

En un sistema semi-automatizado el operador debe poder confiar en la automatización para que el proceso sea preciso, confiable y consistente. La confianza es un factor muy relevante para la seguridad, el riesgo y la reducción de errores en el sistema. La falta de confianza puede producir cualquier tipo de desviación del estándar deseado.

Todo sistema debería tener como meta la maximización del número de operadores para poder usar las ventajas de cualquiera de ellos, y maximizar el desempeño del sistema incluyendo máquinas en las operaciones para contrarrestar las desventajas que tienen los operadores humanos, Haight y Kecojevic (2005).

5.2. Objetivo específico 2. Relaciones causales entre variables de entrada de un sistema automatizado y las variables de salida

Para lograr el diseño de ambientes semi-automatizados, se planearon diversas actividades que ayudarían con el desarrollo de este objetivo. Entre las actividades se hicieron consultas a expertos en automatización y encargados de proyectos orientados a este fin en empresas de la región, además de visitas a dichas empresas.

Estas actividades tuvieron como fin ayudarnos a referenciar el nivel de automatización en la región y así poder diseñar escenarios ligados a la realidad, a los procesos productivos que tienen cabida en la industria cercana y de esta forma que nuestro producto final, llámese modelo sistémico, pueda ser una herramienta útil para los empresarios caleños.

La encuesta (Ver anexo 4) se desarrolló de manera compartida con un Proyecto de Grado de maestría. Con esta herramienta se pretendió capturar información relacionada con lo que los empresarios consideraban importante en términos de desempeño de un sistema automatizado (lo correspondiente a este proyecto de grado) e importante en términos de variabilidad (para el PDG de maestría).

Al no haber una población lo suficientemente grande de personas potenciales a encuestar, cabe mencionar que esta encuesta es una prueba piloto y brinda una mirada superficial. Aunque el conocimiento de los encuestados es confiable, la poca cantidad de encuestas respondidas no permite realizar un análisis estadístico o aceptar como prueba fehaciente los resultados obtenidos.

Resultados Encuestas:

En el archivo de Excel adjunto se encuentran graficados los resultados de las encuestas. Estos se resumen a continuación:

- Los encuestados han realizado procesos de evaluación técnica en su propia empresa y el proceso de automatización evaluado se ha llevado a cabo. Esto evidencia la confianza que se puede tener, en términos cualitativos, a la información recogida. La fuente es confiable.
- Según los resultados de la encuesta, se evidenció que para los expertos en automatización, las principales estrategias de manufactura para competir en el mercado son la Reducción de costos y la Flexibilidad. Mientras tanto, la Velocidad no representa un factor relevante como estrategia de manufactura para competir en el mercado.
- Las actividades principales que se automatizan en el Valle del Cauca tienen que ver con procesos de Empaque y Paletizado, debido a la velocidad que

ofrece la máquina con respecto al operario. También se ve automatización en los procesos de soldadura y trabajo en altas temperaturas, por motivos de salud ocupacional. Además, es común encontrar automatización en procesos de Chequeo, como lectura de códigos de barras, detección de faltantes y control de calidad por visión artificial.

- Para los empresarios del Valle del Cauca, los factores que generan mayor motivación para invertir en automatización son:
 - Aumento de la capacidad productiva
 - Flexibilidad del proceso
- También se evidencia que la automatización en el Valle del Cauca aún está inexplorada. Los proyectos de automatización en las empresas por lo general se hacen al nivel de Máquinas, sin pretender automatizar una línea de producción o por lo menos una celda de manufactura.
- De igual forma, se rescató de la encuesta que los factores que son relevantes para la evaluación del rendimiento de un sistema automatizado contra un sistema no automatizado son los siguientes:
 - Especificaciones del sistema instalado
 - Capacidad del sistema o máquina
 - Factores ambientales
 - Características de la materia prima
 - Costos de operación
 - Número de referencias a producir
 - Ciclos de mantenimiento especificados por el fabricante
 - Número de operadores
 - Roles del operador
- Por último, la encuesta también ayudó a encontrar los parámetros que pueden generar complicaciones a la hora de querer automatizar total o parcialmente un proceso:
 - Desde la perspectiva de la implementación del proceso, los encuestados estuvieron de acuerdo con que la Sincronización de procesos, la Capacitación y la Resistencia al cambio por parte de los operarios significan factores relevantes que complican la automatización. Sin embargo, a su parecer, los recortes de personal y el espacio físico necesario para el montaje no representan complicaciones.
 - Desde la perspectiva financiera, los altos costos de la implementación representan el mayor obstáculo a la hora de automatizar, mientras que no se considera que no haya fuentes de financiación externas.
 - Desde la perspectiva del entorno, los encuestados consideran que en Colombia hay poca información disponible con respecto al tema, además de que el nivel de demanda es insuficiente para tener la necesidad de automatizar, aunque esto puede significar una falta de pensamiento más globalizado sin explorar nuevos negocios basados

en exportaciones, sino quedarse en una zona de confort. Del mismo modo, se presume que en Colombia hace falta personal capacitado y que no existen proveedores para las MP o insumos que requiera el proceso automatizado.

Debido a que no existe información exacta sobre cuántas empresas en el Valle del Cauca poseen algún tipo de proceso automatizado, no se puede determinar con mucha certeza una muestra representativa estadísticamente para la simulación de los procesos más usados en el sector. Por lo tanto, se diseñan las prácticas de automatización y los experimentos de acuerdo a las operaciones más usadas en el mundo: manejo de materiales, soldadura, embalaje, procesamiento y ensamble, Karabegovic (2011), Kalpakjian y Schmid (2003).

Modelo Cualitativo del desempeño de un sistema automatizado.

Existen dos tipos de modelos fundamentalmente: los modelos cualitativos, representados como diagramas causales, y los modelos cuantitativos, representados como diagramas de flujos y acumuladores. Schaffernicht, M. (2008).

Las relaciones causales entre las variables antes mencionadas y las de desempeño se representan en el siguiente diagrama causal. Acogemos aquí la definición de sistema como “cierto aspecto de la realidad al que podemos adscribir una descripción en la que básicamente se enuncien una serie de partes componentes y una forma de interacción entre ellas que suministre un vínculo que las organice en la unidad que es el sistema”, (Aracil, 1997). Por otro lado, un modelo es “una maqueta que pretende reproducir un determinado aspecto de la realidad”, (Aracil, 1997). Así, la gráfica No.1, representa diagrama causal que considera los atributos asociados a los elementos del sistema semi-automatizado y sus relaciones.

sistema. Pero todo sistema de producción se basa en una demanda de productos como variable exógena. Lo que interesa en este modelo son los indicadores de rendimiento, utilización e inventario, porque son los que reflejarán cuánto se está produciendo, el aprovechamiento que se tiene de los recursos, y el nivel de existencias que se requieren para satisfacer la demanda.

Para contar la historia del diagrama, se partió en que a medida que el nivel de automatización aumenta, se incrementa la consistencia del proceso, esto es, se reduce la variabilidad de la operación generando un proceso de mayor calidad en cuanto a partes buenas se refiere (dada una programación adecuada del robot y buena interacción entre humano y robot). Así, el rendimiento de partes buenas aumenta, logrando que el indicador de Eficiencia del rendimiento mencionado anteriormente aumente. Debido al aumento de este indicador, la Eficiencia del inventario se reduce porque se ha logrado cumplir con la demanda de productos. Pero se forma un ciclo reforzador porque a medida que se aumenta el inventario para satisfacer la demanda, se quiere reducirlo o mantenerlo bajo para evitar costos, entonces entre más satisfacción de demanda menor es el inventario. Para concretar este lado de la historia, a mayor inventario de producto terminado, producto en proceso y materia prima, se está mejor preparado ante situaciones de incertidumbre.

Además, a mayor nivel de automatización el humano tiende a trabajar más rápido de lo normal porque es consciente de que el robot puede reemplazarlo. El robot es visto como una amenaza y no como una ayuda al proceso. Este aumento en el ritmo de trabajo normalmente ocasiona fallas en la interacción humano-robot por la precisión que requiere el proceso, lo que da lugar a fallas en el producto, reduciendo la calidad del proceso. La capacitación de los operarios es una variable que influye directamente en el tiempo de procesamiento manual, al igual que la motivación (una variable difícil de cuantificar).

Podemos observar que hay tres ciclos representados como importantes, dos de ellos reforzadores y el otro compensador. El primer ciclo reforzador se explica así: entre mejor desempeño tienen los operarios, mejor la calidad, aumentando el rendimiento y diluyendo la necesidad de aumentar el nivel de automatización y reduciendo el desempeño del humano (en cuanto a competencia con el robot). El segundo ciclo reforzador: el inventario incluye materia prima, producto en proceso y producto terminado, y hace referencia al inventario de seguridad que se mantiene para evadir la incertidumbre de la demanda y poder satisfacerla; entre más inventario, mejor se está preparado contra la incertidumbre y mayor satisfacción, pero a mayor satisfacción de la demanda el inventario de seguridad tiende a reducirse por los altos costos. El ciclo compensador que se presenta proviene de un mayor rendimiento (unidades por minuto), que viene dado por mejor uso de los recursos, líneas más balanceadas que generan menores inventarios y se acomodan a las necesidades del cliente, y hace más predecible el comportamiento del sistema.

5.3. Objetivo específico 3. Diseño de escenarios de interacción entre el brazo robótico y operadores humanos

Se plantearon prácticas que simulen los procesos de paletizado, soldadura y etiquetado.

El trabajo realizado en este objetivo inicialmente consistió en dos partes, el diseño de las prácticas y el diseño de los experimentos.

En primera instancia, basados en la literatura y la encuesta realizada en el segundo objetivo, se logró identificar los procesos que más se automatizaban en la industria. De esta forma, se ingeniaron las rutinas en el Laboratorio de Ingeniería Industrial para los procesos de Soldadura, Etiquetado y Paletizado.

A continuación se describen con más detalle cada una de las prácticas, que además están enfocadas a servir como prácticas para los cursos de Ingeniería Industrial.

Para cada una de las prácticas, un grupo de Procesos y Procedimientos realizó un estudio de tiempos, que se define como el proceso de determinar el tiempo que requiere un operador hábil y capacitado, trabajando a ritmo normal para desarrollar una area específica (Meyers y Sthephens, 2006).

El estudio de tiempos es importante porque provee el estándar de tiempos que demora un proceso y sus operaciones. El estándar de tiempos facilita el balanceo de la línea de ensamble determinando el desempeño de cada trabajador. Debido a que operación a medir no tiene tiempos estándar porque solo refleja la realidad de los procesos que se realizan en las empresas que tienen un tipo de automatización, no la simulación de un proceso específico, se emplea un estudio de tiempos con cronómetro.

Practica No. 1	
Nombre de práctica	Simulación de una actividad de Etiquetado (Robot-Humano)
Duración	3 horas aproximadamente

INTRODUCCIÓN

Se simula una actividad de etiquetado en la cual se combinarán la interacción del brazo robótico con la interacción humana. Se desarrollan tres secuencias, variando en cada una el nivel de automatización; es decir, la carga de trabajo del brazo robótico. La primera secuencia será con un nivel del 0% de automatización, la segunda el 33% y la tercera el 50%.

El Etiquetado es un proceso muy importante en la industria ya que la etiqueta se ha convertido en un importante comunicador de la imagen de la marca del producto que representa. Es un proceso complejo ya que los adhesivos deben poder cumplir con su labor independientemente de las condiciones del producto, como por ejemplo la superficie del envase o el diseño de la misma etiqueta.

En la industria existen adhesivos para cualquier tipo de trabajo de etiquetado sobre superficies de vidrio o plástico, adhesivos de base acuosa que brindan economía en adquisición y un maquinado limpio, alta velocidad en la línea y resistencia a altas temperaturas.

OBJETIVO

Esta práctica apunta a medir el desempeño de un sistema semi-automatizado en cuanto a velocidad y consistencia del proceso y la calidad del producto terminado, a partir de la simulación, la toma de tiempos y las inspecciones al producto terminado; comparando la capacidad del proceso variando los niveles de automatización.

PALABRAS CLAVE

Proceso semi-automatizado; Etiquetado; Control de calidad; Desempeño.

MATERIALES



Para llevar a cabo la secuencia que se plantea, se necesita tener a disposición los siguientes elementos:

- Estación de trabajo de Brazo Robótico Scorbot ER-9 Pro
- Mesa auxiliar ubicada al lado izquierdo del brazo robótico.
- Stickers blancos de 5x4 cm.
- Sellos
- Botellas plásticas pequeñas. Ver foto al final
- Tapas de las botellas
- Pines de ajuste
- Recipientes plásticos de tres compartimientos (simula la estiba)
- Software OpenCim para la programación de la rutina
- Cronómetros

Se necesita una persona por cada estación, cada una con un acompañante que tome el tiempo de su operación. También se necesita de una persona que tome los tiempos de operación del brazo robótico. Además de dos personas que hagan control de calidad al final de la línea. Se recomienda que el brazo robótico sea operado únicamente por el monitor del laboratorio, por motivos de seguridad.

INSTRUCCIONES DE PREPARACIÓN

Rutina 33% de automatización:

Siguiendo la rutina de encendido de la estación, se debe abrir en OpenCim la secuencia llamada Etiquetado 33. La mesa auxiliar se debe situar al lado izquierdo del brazo robótico; en ella irán las estaciones 1 y 2 (se debe delimitar el espacio de la mesa, ya sea con cinta de enmascarar o algo de uso semejante). Para este nivel de automatización se necesitan tres estudiantes, cada uno con un compañero que tome sus tiempos de operación. Uno irá ubicado en la estación 1

donde tendrá al alcance los stickers y las botellas sin tapa. El segundo estará en la estación 2 y tendrá a la mano las tapas y las botellas semiprocesadas de la estación 1. El tercero trabajará cercano al robot, ubicándole las botellas en el lugar donde el robot operará.

Al final, 2 personas en el área de Control de Calidad tendrán a la mano una cámara para registrar fotográficamente los PT y un computador o un cuaderno para registrar el estado de los mismos.

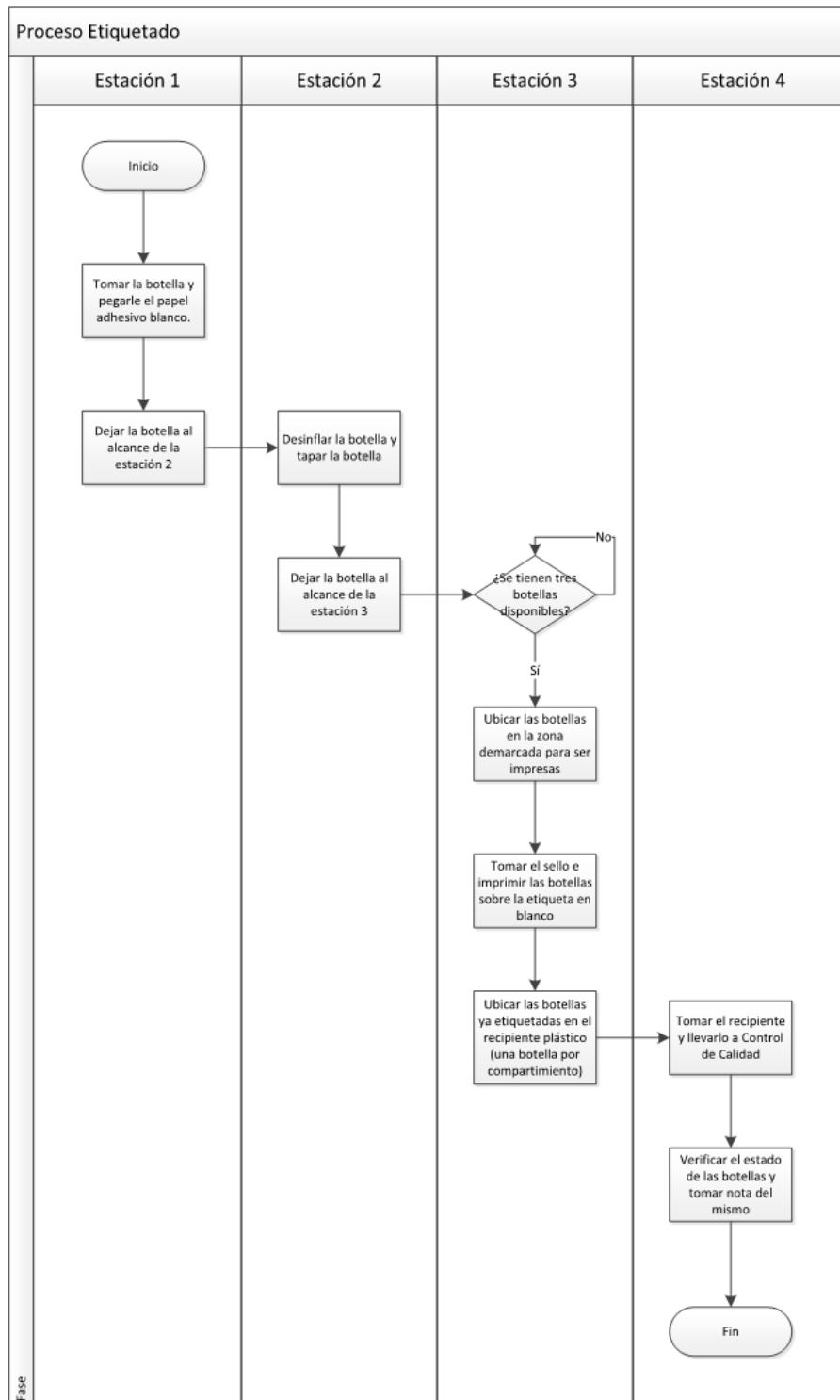
Rutina 50% de automatización:

Se debe abrir en OpenCim la secuencia llamada Etiquetado 50. La preparación del espacio será igual que la anterior; la diferencia radicará en que el trabajo de la estación 3, antes realizada por un operario, ahora la hará el robot.

Rutina 0% de automatización:

La distribución del espacio estará igual que en las rutinas anteriores, aunque el robot no vaya a operar; esto para no variar las distancias ni la cantidad de movimientos que debe hacer el robot en las anteriores rutinas con respecto a las del humano. Un operario más estará ubicado en el lugar del robot y será el encargado de tomar el sello e imprimir los stickers. La misma persona que toma los tiempos al robot en las otras secuencias será el encargado de tomarle los tiempos al operario.

DESARROLLO



Con la secuencia de la práctica, representada en el diagrama de flujo anterior, se definen las operaciones que deberán realizar cada uno de los agentes en las diferentes configuraciones o rutinas del experimento.

Rutina 33%:

1. El primer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 1 del diagrama de flujo.
2. El segundo operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 2 del diagrama de flujo.
3. Las actividades del bloque Estación 3 las harán un operario y el robot. El operario hará la verificación de las tres botellas, y los movimientos propios de las botellas, mientras que el robot sellará los stickers.
4. En última instancia, dos operarios harán el control de calidad, tomarán nota y sacarán fotos.
5. Para cada operario y robot, un compañero les tomará el tiempo a cada uno, con excepción del control de calidad.
6. Se harán 6 repeticiones del experimento, cada repetición con un batch de producción de 5 recipientes de tres botellas. Luego se analizan los resultados de la toma de tiempos y las observaciones del control de calidad.

Rutina 50%:

1. El primer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 1 del diagrama de flujo.
2. El segundo operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 2 del diagrama de flujo.
3. El brazo robótico realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 3 del diagrama de flujo.
4. En última instancia, dos operarios harán el control de calidad, tomarán nota y sacarán fotos.
5. Para cada operario y robot, un compañero les tomará el tiempo a cada uno, con excepción del control de calidad.
6. Se harán 6 repeticiones del experimento, cada repetición con un batch de producción de 5 recipientes de tres botellas. Luego se analizan los resultados de la toma de tiempos y las observaciones del control de calidad.

Rutina 0%:

1. El primer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 1 del diagrama de flujo.

2. El segundo operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 2 del diagrama de flujo.
3. El tercer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 3 del diagrama de flujo.
4. En última instancia, dos operarios harán el control de calidad, tomarán nota y sacarán fotos.
5. Para cada operario, un compañero les tomará el tiempo a cada uno, con excepción del control de calidad.

Se harán 6 repeticiones del experimento, cada repetición con un batch de producción de 5 recipientes de tres botellas. Luego se analizan los resultados de la toma de tiempos y las observaciones del control de calidad.

RESULTADOS

Independientemente del curso que esté desarrollando el experimento, se recomienda hacer un análisis estadístico de los datos recogidos, identificando las distribuciones que mejor se ajustan a los datos y simulando un mayor número de corridas.

Practica No. 2	
Nombre de práctica	Simulación de una actividad de Paletizado (Robot-Humano)
Duración	3 horas aproximadamente

INTRODUCCIÓN

Se simula una actividad de paletizado en la cual se combinarán la interacción del brazo robótico con la interacción humana. Se desarrollan tres secuencias, variando en cada una el nivel de automatización; es decir, la carga de trabajo del brazo robótico. La primera secuencia será con un nivel del 0% de automatización, la segunda el 33% y la tercera el 50%.

El paletizado es el proceso mediante el cual se dispone cuidadosamente la mercancía sobre una estiba. En la industria es un proceso netamente logístico, que se realiza con el fin de proteger las condiciones del producto al momento de almacenarlo o transportarlo.

Cuando una carga está paletizada, se facilita su manipulación, se ahorra espacio y se consigue uniformidad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que no es simplemente apilar cajas sobre una plataforma de madera, ya que se debe tener cuidado con muchas variables, como la altura o el peso de la carga, y así evitar aplastamiento o inestabilidad de la mercancía; entre muchas otras cosas.

OBJETIVO

Esta práctica apunta a medir el desempeño de un sistema semi-automatizado en cuanto a velocidad y consistencia del proceso y la calidad del producto terminado, a partir de la simulación, la toma de tiempos y las inspecciones al producto terminado; comparando la capacidad del proceso variando los niveles de automatización.

PALABRAS CLAVE

Proceso semi-automatizado; paletizado; Control de calidad; Desempeño.

MATERIALES



Para llevar a cabo la secuencia que se plantea, se necesita tener a disposición los siguientes elementos:

- Estación de trabajo de Brazo Robótico Scorbot ER-9 Pro
- Mesa auxiliar ubicada al lado derecho del brazo robótico.
- Alimentador de piezas por gravedad.
- Piezas de Jenga
- Estibas (propias del laboratorio)
- Pines de ajuste
- Software OpenCim para la programación de la rutina
- Cronómetros

Se necesita una persona por cada estación, cada una con un acompañante que tome el tiempo de su operación. También se necesita de una persona que tome los tiempos de operación del brazo robótico. Además de dos personas que hagan control de calidad al final de la línea. Se recomienda que el brazo robótico sea operado únicamente por el monitor del laboratorio, por motivos de seguridad.

INSTRUCCIONES DE PREPARACIÓN

Rutina 33% de automatización:

Siguiendo la rutina de encendido de la estación, se debe abrir en OpenCim la secuencia llamada Paletizado 33. La mesa auxiliar se debe situar al lado derecho del brazo robótico; en ella irá la estación 1. Para este nivel de automatización se necesitan tres estudiantes, cada uno con un compañero que tome sus tiempos de operación. Uno irá ubicado en la estación 1 donde tendrá al alcance las estibas y las láminas de fomi. El segundo estará en la estación 2 y tendrá a la mano los pines y la estiba semiprocesada de la estación 1. El robot armará la estiba en el área que el segundo operario preparó y por último, el tercer operario llevará la estiba armada hacia la zona de control de calidad.

Al final, 2 personas en el área de Control de Calidad tendrán a la mano una cámara para registrar fotográficamente los PT y un computador o un cuaderno para registrar el estado de los mismos.

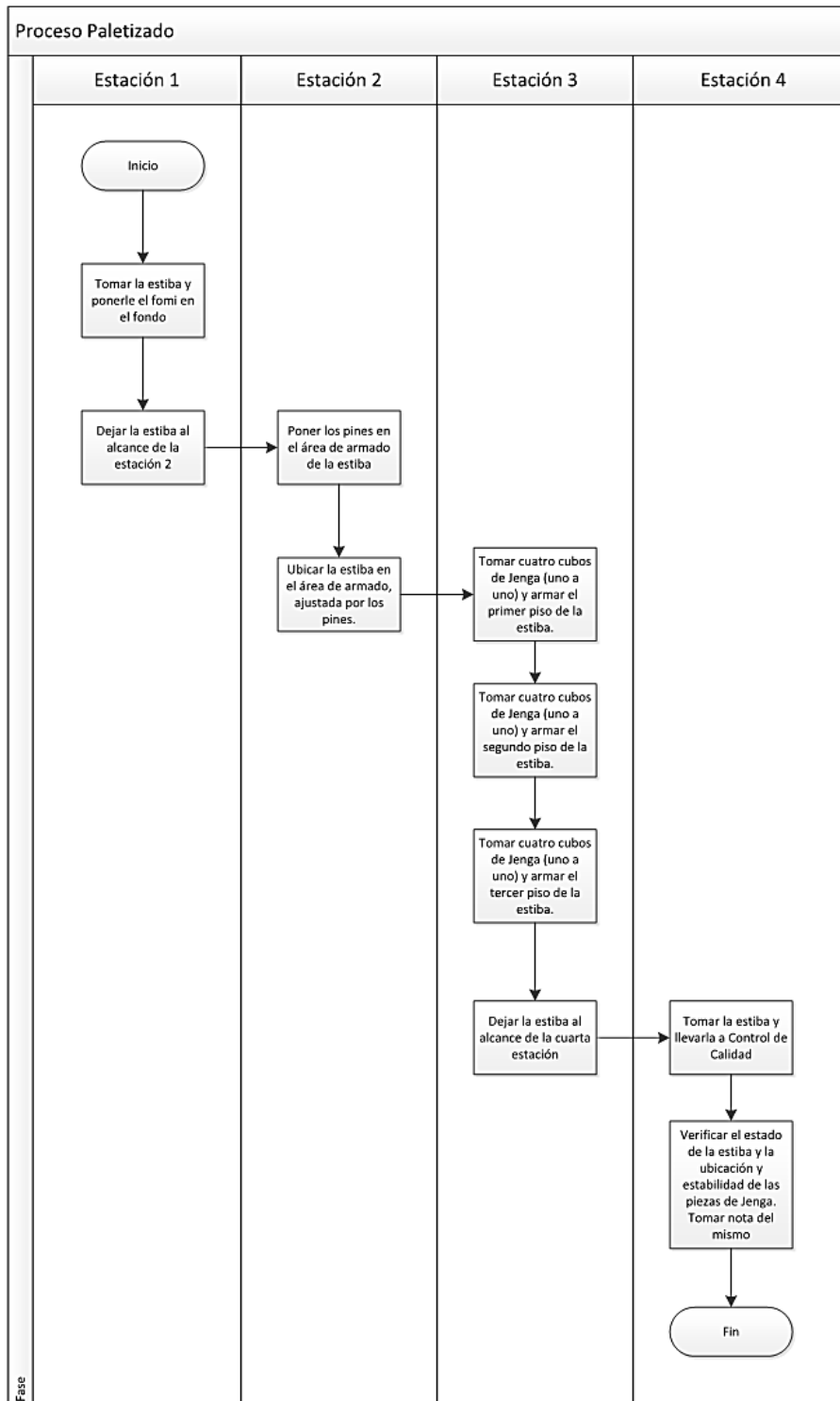
Rutina 50% de automatización:

Se debe abrir en OpenCim la secuencia llamada Paletizado 50. La preparación del espacio será igual que la anterior; la diferencia radicará en que el trabajo de la estación 2, antes realizada por un operario, ahora la hará el robot.

Rutina 0% de automatización:

La distribución del espacio estará igual que en las rutinas anteriores, aunque el robot no vaya a operar; esto para no variar las distancias ni la cantidad de movimientos que debe hacer el robot en las anteriores rutinas con respecto a las del humano. Un operario más estará ubicado en el lugar del robot y será el encargado de armar los tres pisos de la estiba. La misma persona que toma los tiempos al robot en las otras secuencias será el encargado de tomarle los tiempos al operario.

DESARROLLO



Con la secuencia de la práctica, representada en el diagrama de flujo anterior, se definen las operaciones que deberán realizar cada uno de los agentes en las diferentes configuraciones o rutinas del experimento.

Rutina 33%:

1. El primer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 1 del diagrama de flujo.
2. El segundo operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 2 del diagrama de flujo.
3. Las actividades del bloque Estación 3 las hará el brazo robótico.
4. El tercer operario llevará la estiba armada hacia la zona de control de calidad.
5. En última instancia, dos operarios harán el control de calidad, tomarán nota y sacarán fotos.
6. Para cada operario y robot, un compañero les tomará el tiempo a cada uno, con excepción del control de calidad.
7. Se harán 6 repeticiones del experimento, cada repetición con un batch de producción de 5 estibas. Luego se analizan los resultados de la toma de tiempos y las observaciones del control de calidad.

Rutina 50%:

1. El primer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 1 del diagrama de flujo.
2. Las actividades de los bloques Estación 2 y Estación 3 las hará el brazo robótico.
3. El segundo operario llevará la estiba armada hacia la zona de control de calidad.
4. En última instancia, dos operarios harán el control de calidad, tomarán nota y sacarán fotos.
5. Para cada operario y robot, un compañero les tomará el tiempo a cada uno, con excepción del control de calidad.
6. Se harán 6 repeticiones del experimento, cada repetición con un batch de producción de 5 estibas. Luego se analizan los resultados de la toma de tiempos y las observaciones del control de calidad.

Rutina 0%:

1. El primer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 1 del diagrama de flujo.

2. El segundo operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 2 del diagrama de flujo
3. El tercer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 3 del diagrama de flujo
4. El cuarto operario llevará la estiba armada hacia la zona de control de calidad.
5. En última instancia, dos operarios harán el control de calidad, tomarán nota y sacarán fotos.
6. Para cada operario y robot, un compañero les tomará el tiempo a cada uno, con excepción del control de calidad.
7. Se harán 6 repeticiones del experimento, cada repetición con un batch de producción de 5 estibas. Luego se analizan los resultados de la toma de tiempos y las observaciones del control de calidad.

RESULTADOS

Independientemente del curso que esté desarrollando el experimento, se recomiendo hacer un análisis estadístico de los datos recogidos, identificando las distribuciones que mejor se ajustan a los datos y simulando un mayor número de corridas.

Practica No. 3	
Nombre de práctica	Simulación de una actividad de Soldadura (Robot-Humano)
Duración	3 horas aproximadamente

INTRODUCCIÓN

Se simula una actividad de soldadura en la cual se combinarán la interacción del brazo robótico con la interacción humana. Se desarrollan tres secuencias, variando en cada una el nivel de automatización; es decir, la carga de trabajo del brazo robótico. La primera secuencia será con un nivel del 0% de automatización, la segunda el 33% y la tercera el 50%.

La soldadura es un proceso de ensamble permanente que permite unir dos piezas de un mismo material, generalmente metales. El principio de la soldadura con aporte es que entre los dos materiales se funde un tercero, el cual forma un charco de material fundido que, al secarse, se convierte en una unión fija a la que se le denomina cordón.

La pericia de la soldadura está en hacer rendir ese tercer elemento (el aporte) de tal forma que se haga un cordón fino y limpio y que el material no se desperdicie. El trabajo representa muchos riesgos para el operario, como la exposición a altas temperaturas, el riesgo visual, la descalcificación, etcétera; por lo tanto, la automatización de este proceso es una buena opción en cuestión de Salud Ocupacional.

OBJETIVO

Esta práctica apunta a medir el desempeño de un sistema semi-automatizado en cuanto a velocidad y consistencia del proceso y la calidad del producto terminado, a partir de la simulación, la toma de tiempos y las inspecciones al producto terminado; comparando la capacidad del proceso operado sólo por el robot con la del operado sólo por el humano y con la del operado por ambos agentes.

PALABRAS CLAVE

Proceso semi-automatizado; Soldadura; Control de calidad; Desempeño.

MATERIALES

Para llevar a cabo la secuencia que se plantea, se necesita tener a disposición los siguientes elementos:

- Estación de trabajo de Brazo Robótico Scorbot ER-9 Pro
- Dos mesas auxiliares, a cada lado de la estación del brazo.
- Un marcador Sharpie. (Simula al electrodo)
- Plantillas de madera
- Hojas del papel del tamaño de la plantilla de madera
- Cinta adhesiva transparente pequeña
- Software OpenCim para la programación de la rutina
- Cronómetros

Se necesita una persona por cada estación, cada una con un acompañante que tome el tiempo de su operación. También se necesita de una persona que tome los tiempos de operación del brazo robótico. Además de dos personas que hagan control de calidad al final de la línea. Se recomienda que el brazo robótico sea operado únicamente por el monitor del laboratorio, por motivos de seguridad.

INSTRUCCIONES DE PREPARACIÓN

Rutina 33% de automatización:

Siguiendo la rutina de encendido de la estación, se debe abrir en OpenCim la secuencia llamada Soldadura 33. Las mesas auxiliares se deben situar a ambos lados del brazo robótico; en la primera irán la Estación 1 y la Estación 2; en la segunda irá el Control de Calidad. Para este nivel de automatización se necesitan cuatro estudiantes, cada uno con un compañero que tome sus tiempos de operación. Uno irá ubicado en la estación 1 donde tendrá al alcance las la cinta y el papel. El segundo estará en la estación 2 y tendrá a la mano las plantillas de madera y el papel con cinta semiprocesado de la estación 1. El tercer operario y el robot realizarán las actividades de la Estación 3. El operario organizará el área de trabajo del robot, poniendo los pines y la plantilla. El robot tomará el marcador y escribirá en el papel las palabras LAB II para que luego el cuarto operario pueda retirar los pines y por último, tomará la plantilla y la llevará al control de calidad.

Al final, 2 personas en el área de Control de Calidad tendrán a la mano una cámara para registrar fotográficamente los PT y un computador o un cuaderno para registrar el estado de los mismos.

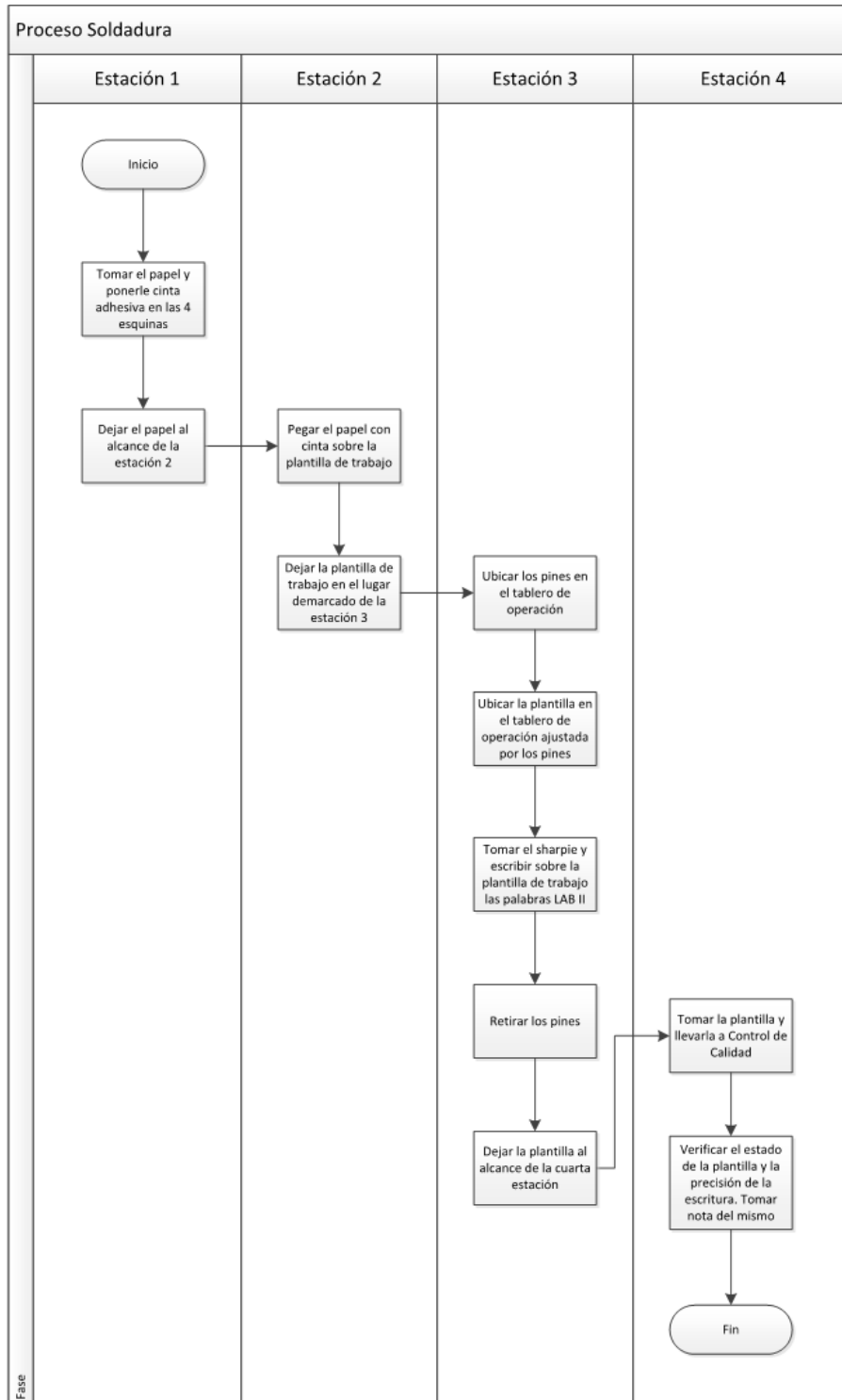
Rutina 50% de automatización:

Se debe abrir en OpenCim la secuencia llamada Soldadura 50. La preparación del espacio será igual que la anterior; la diferencia radicará en que el trabajo de la estación 3, antes realizada por un operario y el robot, ahora la hará el robot en su totalidad. Sólo se necesitan 3 operarios.

Rutina 0% de automatización:

La distribución del espacio estará igual que en las rutinas anteriores, aunque el robot no vaya a operar; esto para no variar las distancias ni la cantidad de movimientos que debe hacer el robot en las anteriores rutinas con respecto a las del humano. Con la misma distribución de puestos de la rutina de 33%, un operario más estará ubicado en el lugar del robot y será el encargado de escribir sobre la plantilla las palabras LAB II. La misma persona que toma los tiempos al robot en las otras secuencias será el encargado de tomarle los tiempos al operario.

DESARROLLO



Con la secuencia de la práctica, representada en el diagrama de flujo anterior, se definen las operaciones que deberán realizar cada uno de los agentes en las diferentes configuraciones o rutinas del experimento.

Rutina 33%:

1. El primer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 1 del diagrama de flujo.
2. El segundo operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 2 del diagrama de flujo.
3. Las actividades del bloque Estación 3 las harán dos operarios y el robot. El tercer operario organizará el espacio para la operación, pondrá los pines y la plantilla, mientras que el robot escribirá sobre la plantilla y el cuarto operario desarmará la zona de trabajo y llevará la plantilla a la zona de control de calidad.
4. En última instancia, dos operarios harán el control de calidad, tomarán nota y sacarán fotos.
5. Para cada operario y robot, un compañero les tomará el tiempo a cada uno, con excepción del control de calidad.
6. Se harán 6 repeticiones del experimento, cada repetición con un batch de producción de 5 plantillas escritas. Luego se analizan los resultados de la toma de tiempos y las observaciones del control de calidad.



Rutina 50%:

1. El primer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 1 del diagrama de flujo.
2. El segundo operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 2 del diagrama de flujo.
3. El brazo robótico realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 3 del diagrama de flujo.
4. El tercer operario llevará la plantilla a la zona de control de calidad.

5. En última instancia, dos operarios harán el control de calidad, tomarán nota y sacarán fotos.
6. Para cada operario y robot, un compañero les tomará el tiempo a cada uno, con excepción del control de calidad.
7. Se harán 6 repeticiones del experimento, cada repetición con un batch de producción de 5 plantillas de madera escritas. Luego se analizan los resultados de la toma de tiempos y las observaciones del control de calidad.

Rutina 0%:

1. El primer operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 1 del diagrama de flujo.
2. El segundo operario realizará las operaciones descritas en el bloque Estación 2 del diagrama de flujo
3. Tres operarios harán el trabajo de la Estación 3. Se hará igual que en la configuración de 33% de automatización, sólo que la escritura sobre la plantilla la hará un operario.
4. En última instancia, dos operarios harán el control de calidad, tomarán nota y sacarán fotos.
5. Para cada operario y robot, un compañero les tomará el tiempo a cada uno, con excepción del control de calidad.
6. Se harán 6 repeticiones del experimento, cada repetición con un batch de producción de 5 plantillas de madera escritas. Luego se analizan los resultados de la toma de tiempos y las observaciones del control de calidad.

RESULTADOS

Independientemente del curso que esté desarrollando el experimento, se recomienda hacer un análisis estadístico de los datos recogidos, identificando las distribuciones que mejor se ajustan a los datos y simulando un mayor número de corridas.

Habiendo programado las secuencias y probado su repetitividad y su precisión, se pasó a diseñar el experimento, que sería programado a realizarse con los estudiantes de los cursos de Procesos y Procedimientos, los cuáles contaban con la cantidad adecuada de personas para llevar a cabo las operaciones y la toma de tiempos.

Los experimentos se diseñaron de tal forma que existieran tres escenarios diferentes variando el nivel de automatización (0%, 33% y 50%). Este nivel de automatización se basó en la cantidad de operaciones de la secuencia y en el tiempo estimado de trabajo del robot.

Para cada escenario se tenía un batch de producción de 5 productos, lo que significaba una corrida. Por cada escenario se llevaron a cabo 6 corridas, aleatorizando el orden de los niveles de automatización; de esta forma, se fabricaron 30 productos por cada escenario, es decir, 90 productos por experimento. Cada uno de los tres grupos de Procesos y Procedimientos trabajó un experimento diferente.

La aleatorización se realizó de la siguiente manera:

Tabla No.3. Aleatorización del orden de las corridas.

Experimento 1:		Experimento 2		Experimento 3	
Nivel	Num aleatorio	Nivel	Num. Aleatorio	Nivel	Num. Aleatorio
0%	0,06884975 7	50%	0,05108798 5	50%	0,03479110 1
33%	0,08902249 2	50%	0,05108798 5	0%	0,04168828 4
0%	0,17432172 6	0%	0,20758690 1	50%	0,08377330 9
50%	0,18494216 7	33%	0,23923459 6	33%	0,08410901 2
0%	0,18802453 7	33%	0,24558244 6	33%	0,16910306 1
0%	0,21637623 2	0%	0,30466628	33%	0,24256111 3
33%	0,250618	33%	0,45982238 2	0%	0,26621295 8
0%	0,32163457 1	33%	0,46320993 7	0%	0,29905087 4
50%	0,54905850 4	33%	0,49665822 3	33%	0,34296700 9
50%	0,58970915 9	50%	0,52009643 8	33%	0,45780816 1
33%	0,64213995 8	0%	0,62126529 7	0%	0,54475539 4
33%	0,71089816	50%	0,64421521 7	50%	0,59883419 3
33%	0,76085696	33%	0,66829432 1	0%	0,62733848 1
50%	0,76607562 5	0%	0,76030762 7	0%	0,69722586 7
33%	0,79775383 8	0%	0,88006225 8	50%	0,70262764 4
50%	0,82140568 3	50%	0,88616596	50%	0,74227118 7
0%	0,93920712 9	0%	0,95474105	33%	0,78667561 9
50%	0,96261482 6	50%	0,97173986	50%	0,90984832 3

Cada línea de las tablas anteriores representa una réplica en un nivel determinado, cada replica es compuesta por 5 unidades producidas. De cada

réplica se saca un valor promedio de estos 5 valores para cada medición de tiempo.

Entre replicas así sean consecutivas dos o más del mismo nivel, se debe detener el proceso y comenzar desde cero.

Se debe tener una inspección de calidad en cada estación de trabajo y al final del proceso. Cada vez que se detecte una falla de calidad en alguna de las estaciones se debe anotar el tipo de falla y en la estación donde fue detectada.

Se debe tener un conteo de las partes utilizadas en total para la fabricación de las piezas, tanto las que pasan la inspección de calidad como las que fueron rechazadas en cualquier parte del proceso.

5.4. Objetivo específico 4. Evaluación de escenarios de simulación y resultados:

En este proyecto no hacemos distinción entre las variables de rendimiento y calidad definidas anteriormente, al igual que servicio al cliente. Al ser procesos nuevos en una empresa ficticia, no podemos medir las tres variables por separado. Lo mismo sucede para el lead time y el tiempo de ciclo.

Con lo que respecta a los estudiantes involucrados en las prácticas de laboratorio, su desempeño fue medido en tiempo, y a cada uno se le asoció su Curva de aprendizaje. Aunque el brazo robótico era mucho menos variable, el estudiante tenía la capacidad de mejorar su desempeño entre más repeticiones hacía. Las Curvas de Aprendizaje están graficadas en el archivo de Excel adjunto.

Los resultados que se muestran aquí proceden de una simulación de Montecarlo en el archivo de Excel adjunto en el proyecto. Las tres prácticas tienen como base producir mil productos con los criterios de calidad definidos.

Hopp y Spearman, (2001) definen unos indicadores en términos de un valor cuantitativo de eficiencia. Para cada indicador de eficiencia, un valor de “1” indica un desempeño óptimo.

- La eficiencia del rendimiento (E_{TH}) se define como la tasa de partes producidas por las que son usadas, que idealmente debería ser exactamente la demanda de mil productos.

Debido a la consistencia que tiene el robot la variabilidad de la operación es muy baja, logrando menor cantidad de errores o defectos, los cuales dependen de la programación y la interacción con el operario. Si la programación es deficiente el robot será deficiente en cada repetición, al igual que si la operación manual o alistamiento es deficiente el robot será deficiente.

- La eficiencia de la utilización (E_U) es la fracción de tiempo que la estación está ocupada. Dado que capacidad ociosa implica desperdicio de recursos, debería ser 100% utilizado.

Es cierto que el grado de utilización depende del balance de la línea de producción. Pero aislando esa variable, se logra maximizar ese porcentaje cuando no hay variabilidad en la operación, por lo que la automatización disminuye el desperdicio de recursos.

- La eficiencia del inventario (E_{inv}), que incluye inventario de materia prima, trabajo en proceso e inventario de producto terminado.

El indicador implica qué tan eficiente es el uso de los recursos, asociando mayores resultados a mayores costos de almacenamiento.

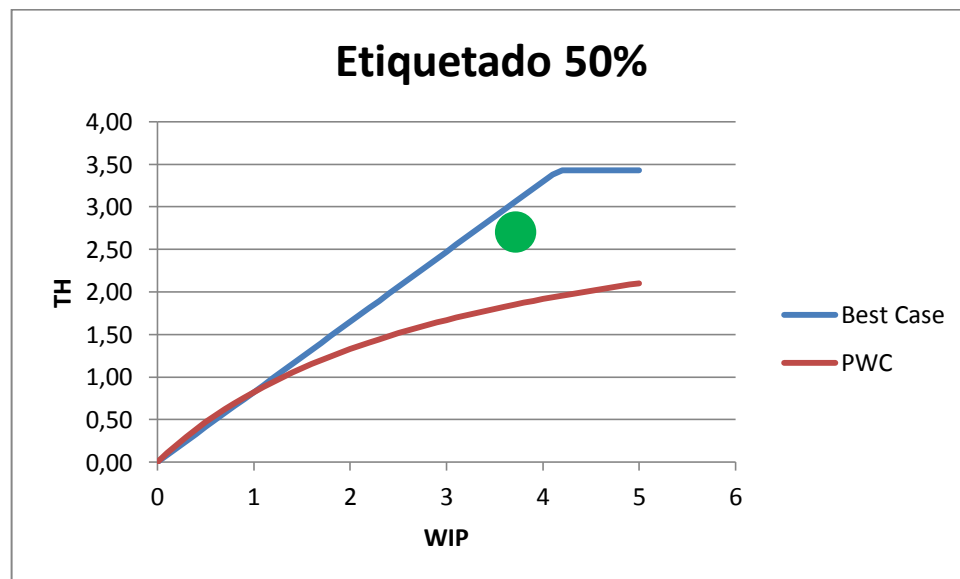
Para evaluar el desempeño de los niveles de automatización en cada práctica, se plantean dos escenarios posibles: el primer escenario que se conoce como “Best-Case Performance” dado que los tiempos de procesamiento son regulares, se toma la línea de producción como un perfecto balance; y el segundo escenario que se conoce como “Practical Worst-Case Performance” que involucra variabilidad en los tiempos de procesamiento, por lo que se considera una línea de producción no balanceada.

Se define TH_{PWC} como el rendimiento en el escenario “Practical Worst-Case Performance”, por lo que si el rendimiento actual TH supera el TH_{PWC} se asume que el sistema actual es bueno. Aunque lo ideal es obtener un rendimiento igual a TH en “Best-Case Performance”, es imposible debido a paradas para cambios de producto, reparación de máquinas y otras variables que no se pueden controlar.

El área entre las curvas la línea “Best-Case” y la línea “PWC” en las gráficas, representa el estado en el cual se desea que se encuentre el proceso. Se representa el estado actual del proceso de producción mediante el punto verde.

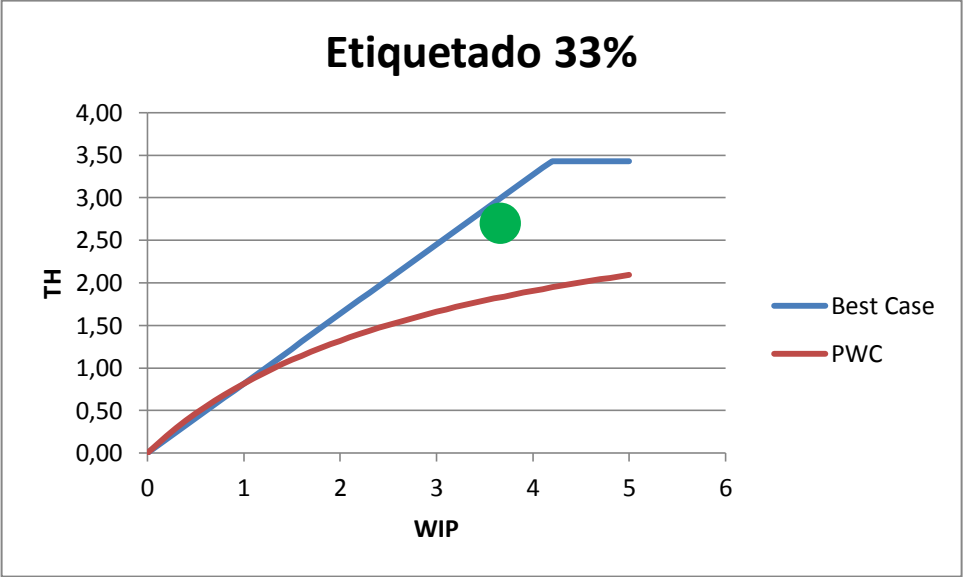
Para la práctica de etiquetado se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfico No.8. Rendimiento versus Work In Process en etiquetado 50%.



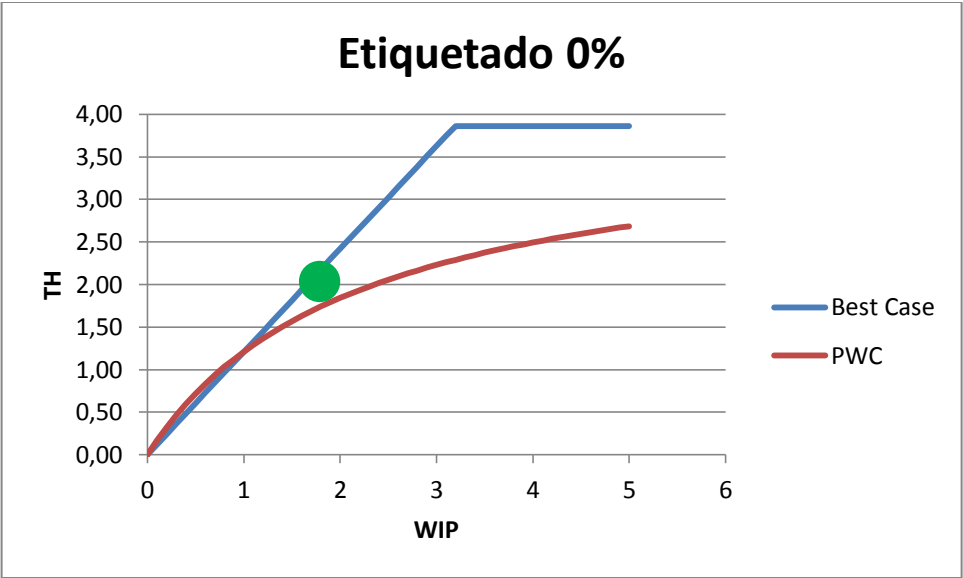
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico No. 9. Rendimiento versus Work In Process en etiquetado 33%.



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico No. 10. Rendimiento versus Work In Process en etiquetado 0%.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla No.4. Rendimiento de los escenarios de la práctica de etiquetado.

	Rendimiento (Jobs/min)		
	Actual	PWCP	Relación
50%	3,30	1,65	2,01
33%	3,29	1,64	2,01
0%	2,57	0,96	2,68

Fuente: Elaboración Propia

La relación que se busca es una relación mayor a “1” ya que el sistema produciría más que en el peor de los casos. Se puede observar que la configuración del 50% de automatización se tiene un mejor rendimiento.

Tabla No.5. Eficiencia del rendimiento de los escenarios de la práctica de etiquetado.

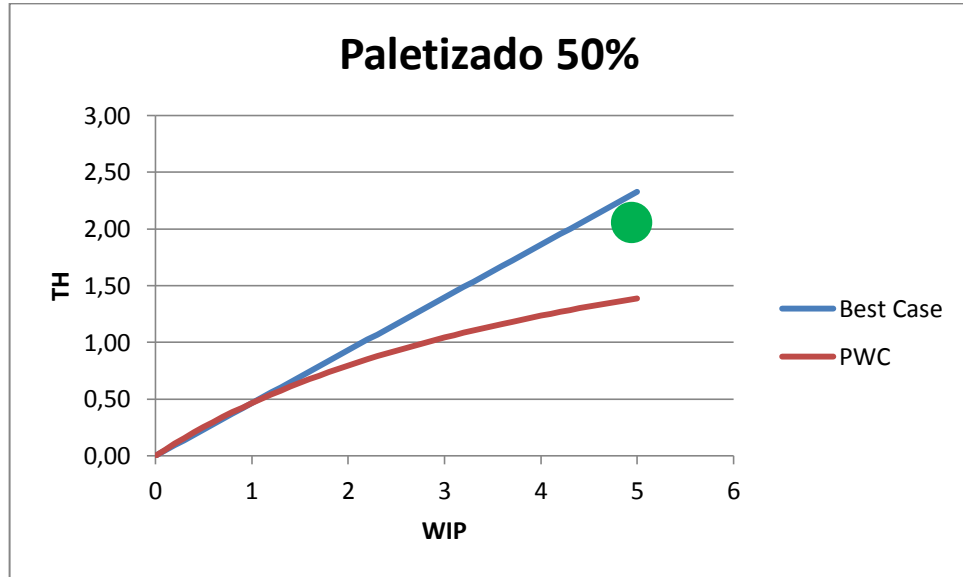
	Nivel de automatización		
	0%	33%	50%
E_{TH}	57,45%	76,50%	76,21%
E_u	31,46%	63,65%	63,43%
E_{inv}	0,27%	0,42%	0,42%

Fuente: Elaboración Propia

Además del rendimiento es importante fijarse en la calidad del sistema de producción. Así, casi el 40% de los productos procesados en la configuración totalmente manual se han perdido por fallas o defectos. Para las otras configuraciones se debe resaltar que el deterioro en la calidad está dado por la interacción de los operarios y el brazo robótico. No se percibió error de la máquina, sino del operario que no era muy preciso en las posiciones que dejaba el producto para que lo trabajara el brazo robótico.

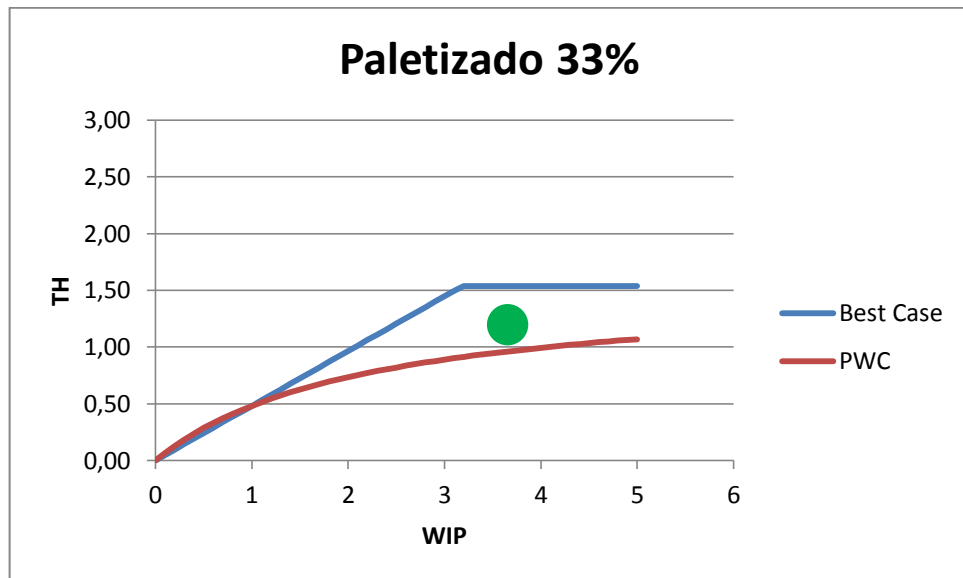
Para la práctica de paletizado se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfico No. 11. Rendimiento versus Work In Process en paletizado 50%.



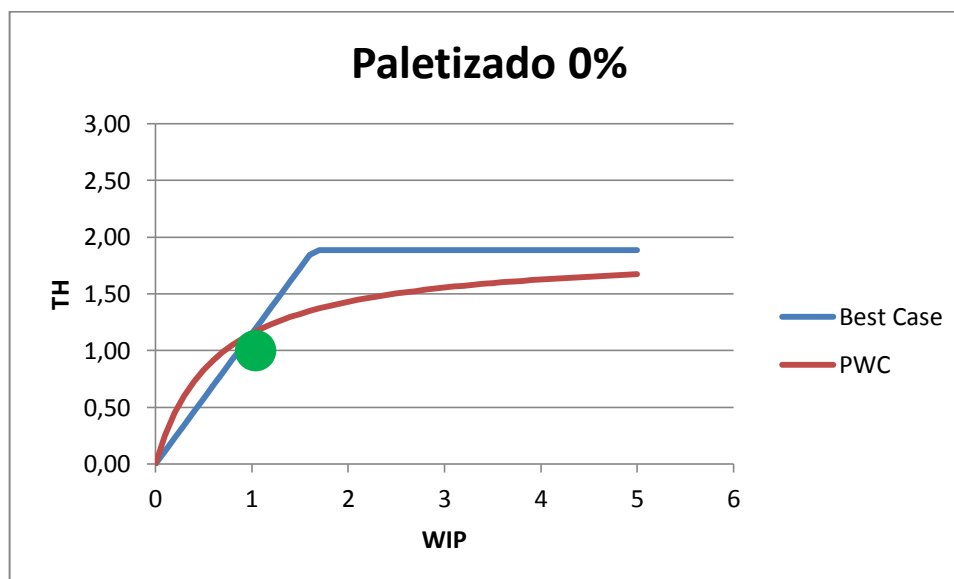
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico No. 12. Rendimiento versus Work In Process en paletizado 33%.



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico No. 13. Rendimiento versus Work In Process en paletizado 0%.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla No.6. Rendimiento de los escenarios de la práctica de paletizado.

	Rendimiento		
	Actual	PWCP	Relación
50%	2,34	1,39	1,68
33%	1,73	0,95	1,83
0%	1,15	1,15	1,00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla No.7. Eficiencia del rendimiento de los escenarios de la práctica de paletizado.

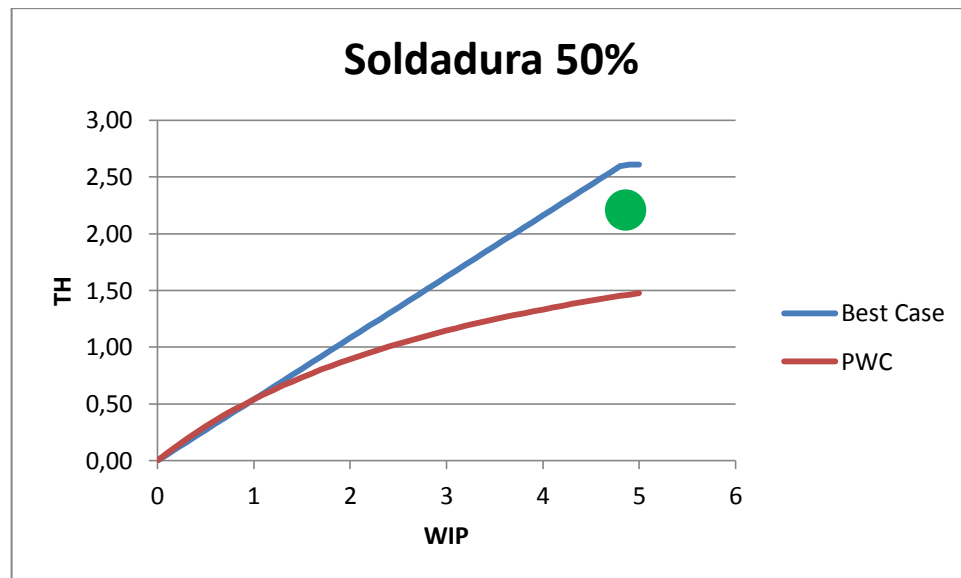
	Nivel de automatización		
	0%	33%	50%
E_{TH}	69,94%	88,01%	94,39%
E_u	95,49%	87,46%	78,80%
E_{inv}	0,68%	0,50%	0,42%

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que la configuración del 50% de automatización se tiene un mejor rendimiento mientras mantiene menor utilización que los otros niveles, lo que significa que trabaja en condiciones estables con buena calidad, y que en algún momento su producción podría aumentar. Además el nivel de inventario que maneja es menor a los otros niveles, lo que implica menores costos de almacenamiento.

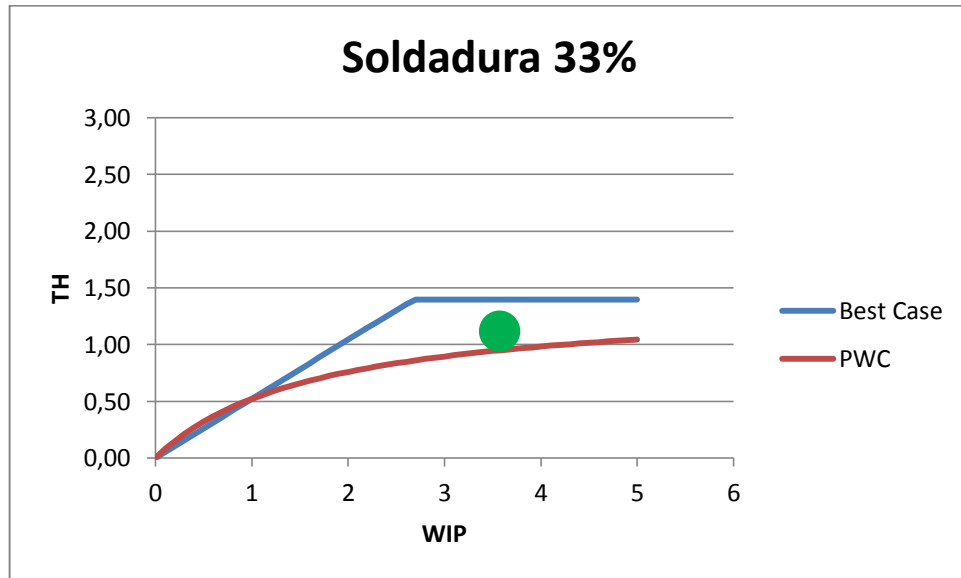
Para la práctica de soldadura se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfico No. 14. Rendimiento versus Work In Process en soldadura 50%.



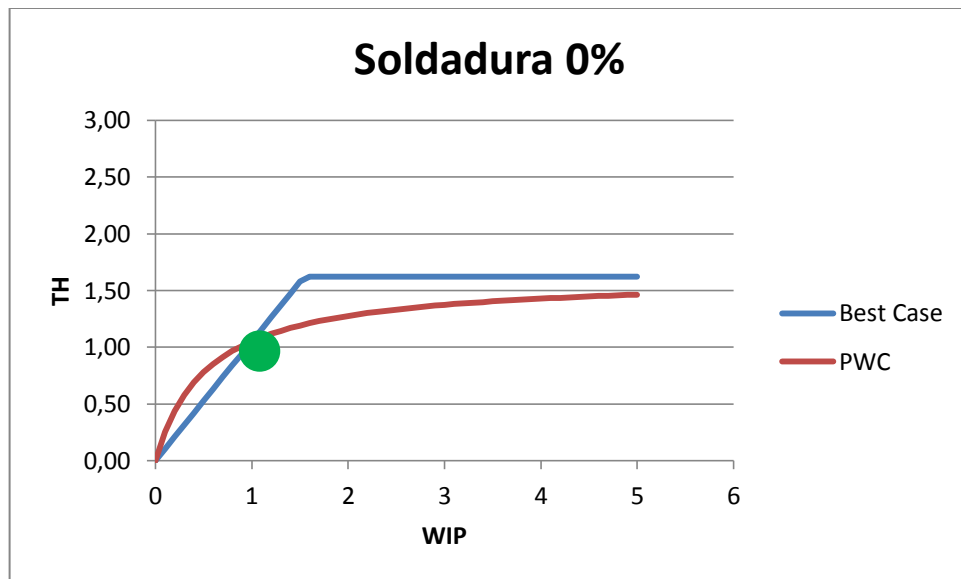
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico No. 15. Rendimiento versus Work In Process en soldadura 33%.



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico No. 16. Rendimiento versus Work In Process en soldadura 0 %.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla No.8. Rendimiento de los escenarios de la práctica de soldadura.

	Rendimiento		
	Actual	PWCP	Relación
50%	2,33	1,48	1,58
33%	1,37	0,96	1,42
0%	1,14	1,05	1,09

Fuente: Elaboración Propia

Tabla No.9. Eficiencia del rendimiento de los escenarios de la práctica de soldadura.

	Nivel de automatización		
	0%	33%	50%
E_{TH}	93,53%	90,36%	88,76%
E_u	58,80%	39,79%	42,69%
E_{inv}	0,31%	0,22%	0,24%

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el rendimiento en la configuración del 50% de automatización es mucho mayor que en los otros niveles, aunque en cuanto a la calidad del sistema es inferior. Es importante resaltar que en esta práctica el operario debía ser muy preciso al momento de alistar la pieza para que el brazo simulara la soldadura mediante la escritura. En la configuración manual, como cada operario es más flexible que el robot en cuanto al cambio que se pueda presentar de manera inmediata en el proceso, le es más fácil adaptarse a la situación y resolviendo problemas que en la programación del robot es imposible prever. Esto no significa que el robot haya fallado en su operación, sino que no hubo buena interacción entre operario y máquina.

6. CONCLUSIONES

- Mediante la literatura, se lograron identificar las variables que reflejan el desempeño de un sistema productivo semi-automatizado. Se concluye que dichas variables no se pueden evaluar individualmente. La interacción entre operario y máquina debe ubicarse entre las primeras variables a evaluar en un sistema semi-automatizado dada la importancia de cada entidad en dicho sistema.
- Se determinó que las variables que definen el desempeño de un robot en un sistema productivo pueden ser medidas de forma técnica o están parametrizadas en las especificaciones de la máquina; mientras que cuando se trata de una persona, las variables de desempeño están muy ligadas a la conducta desde el punto de vista psicológico y por lo tanto no pueden ser medidas con exactitud. Esta diferenciación implica que las mediciones de las variables de desempeño en un sistema semi-automatizado sean una tarea difícil, ya que se debe medir por separado el desempeño del robot y el desempeño del humano, y luego encontrar la forma de relacionarlos, basados en análisis cualitativos. Si no se relacionan dichas mediciones, individualmente no aportan al entendimiento del funcionamiento del sistema.
- Gracias al contacto con la industria vallecaucana, se logró un acercamiento con el estado de automatización de la región. Se logró, mediante una prueba piloto, determinar que el aumento en la flexibilidad y en la capacidad de producción son los factores que motivan con mayor ahínco al empresario vallecaucano a planear proyectos de automatización.
- Se logró tener una idea de las intenciones de los empresarios vallecaucanos al momento de iniciar un proyecto de automatización, lo que permitió determinar sus motivaciones y por ende, ponderar y relacionar las variables de entrada de la automatización con lo que se espera obtener o variables de salida.
- Del desarrollo de las prácticas, se concluye que para operaciones sencillas, muy repetitivas y de carga considerable es mejor automatizar el proceso debido a que el robot no se fatiga como el operario, no se distrae después de trabajar mucho tiempo y no está expuesto a peligros referentes a salud ocupacional.
- La interacción entre hombre y máquina juega un papel muy relevante en la calidad del proceso de producción. Se deben sincronizar la operación manual y la operación automática para evitar cualquier desviación en la

posición de la materia prima y posibles errores, porque el robot al estar programado bajo las mismas condiciones no es capaz de reconocer que la materia prima de su operación está defectuosa.

- A medida que la complejidad de la operación vaya en aumento es más difícil decidir el nivel de automatización que se requiere y se debe hacer un análisis más profundo con referencia al nivel de detalle que se requiera en la actividad a realizar. El análisis para decidir el nivel de automatización está muy ligado a las intenciones propias de cada empresa y variará entre ellas.
- El trabajo de una persona comparado con el trabajo de una máquina es inverso. Mientras el operario se entrena y su desempeño se va a predecir con base en la Curva de Aprendizaje, el robot no va a poder hacer las cosas mejor de cómo esté programado; de hecho tiende a disminuir su desempeño, entendiéndose que necesita de mantenimiento, sus piezas y aditamentos se desgastan con el uso, y depende de factores como la energía eléctrica.

7. Recomendaciones

Esta sección se redacta con la intención de pavimentar un poco el camino del investigador que desee darle continuidad a este proyecto, de tal forma que no cometa los mismos errores que se cometieron en éste y evite contratiempos que puedan ser evitables.

Inicialmente, cuando se vaya a hacer una encuesta, tener muy claro cuál es el público objetivo que se quiere encuestar y hacer un acercamiento previo a la encuesta para lograr liar a la persona y obtener la encuesta diligenciada cuando se solicite. Si simplemente se envía la encuesta sin un acercamiento previo muy seguramente no se van a obtener los resultados que se requieren o simplemente no se obtendrá ningún resultado.

La reserva del espacio de trabajo, que en nuestro caso es la Estación estudiantil del brazo robótico en el Laboratorio de ingeniería industrial, juega un papel importante en el cumplimiento de las actividades programadas, porque de ahora en adelante el espacio queda abierto a estudiantes que estén capacitados a usar el brazo robótico. De esta forma podría darse el caso de un cruce de actividades sin la reserva pertinente.

Tratándose de la experimentación con el brazo robótico, se debe hacer en lo posible un estudio de tiempos y movimientos al brazo robótico para optimizar la secuencia con la que se comparará y reducir el tiempo de operación de la máquina que significará mejores resultados en el rendimiento del sistema semi-automatizado. De esta forma se lograrán resultados más ajustados a la industria.

En cuanto a la realización de las prácticas de interacción con el robot, se debe tener en cuenta la velocidad de operación del operario. En este proyecto se percibió que los estudiantes no trabajaron a un ritmo normal, sino que trataron de superar el rendimiento del brazo robótico, lo que pudo influir en la calidad del sistema de producción. Para simulaciones posteriores es necesario aclarar a los operarios que no se trata de una competencia, sino de una investigación objetiva.

En cuestión de seguridad, se recomienda adecuar la Estación Estudiantil del Brazo Robótico de tal forma que se puedan trabajar de forma segura prácticas semi-automatizadas; ya sea con mecanismos de barrera o sensores que permitan una interacción sin riesgos entre hombre y máquina.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aracil, J. (1997). Dinámica de sistemas. Madrid: Alianza.
- Carvajal Rojas, J.H. (2003). Estado del arte de las tecnologías de manufactura y automatización en la industria de las provincias de Caldas, Risaralda y Quindío y tendencias de desarrollo. Informe, Universidad del Quindío y Gobernación del Quindío, Armenia, Colombia.
- Cavassa, R. (2000). Ergonomía y productividad. México: Noriega editores.
- Colledani, M. Tolio, T. (2009). Integrated analysis of quality and production logistics performance in manufacturing lines. International Journal of Production Research. Taylor & Francis.
- DNP (Departamento Nacional de Planeación) & Colcieneias. (2005). Plan Estratégico del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico, Industrial y Calidad, 2005-2015. Bogotá, Colombia
- Fotta, E. Michael. et al.(2004). Developing a human error modeling architecture (HEMA). SBIR, Office of Naval Research.
- Gorlach, I., Wessel, Oliver. (2007). Automation or De-automation. Current Themes in Engineering Science. Editado por A. M. KORSUNSKY. Pp.133-142.
- Haight M, Joel. Kecojevic, V. (2005). Automation vs. Human intervention: What is the best fit for the best performance? Wiley InterScience. American Institute of Chemical Engineers.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (1996). Factory physics: Foundations of manufacturing management. Chicago: Irwin.
- Imhoff, E.A, (1978). The learning curve and its applications. Management Accounting. Pág 44-46.
- J.J Jiang & C.W. Raman Lin. (1994). An integrated approach for the workstation flexibility evaluation. Advances in Manufacturing Systems, Elsevier Science.
- Kalpakjian, S., Schmid, S. (2003). Manufacturing processes for engineering materials. United States of America: Pearson Education.

- Karabegovic, I. et al. (2011). Analysis of the industrial robots in various production processes in the world. *International Review of Mechanical Engineering*, Vol. 5, No.7.
- Kirlik, A. (1993). Modeling strategic behavior in human-automation interaction: Why an “aid” can (and should) go unused. *Hum Factors*, 221-242.
- Meyers, F., y Sthepens, M. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. México: Prentice Hall.
- Mishra, A. et al. (2010). A model for performance measure of industrial robots. *Second International Conference on Computer and Network Technology*. IEEE Computer Society.
- Mital, Anil. (2000). Allocation of functions to humans and machines in a manufacturing environment: Part 2 – The scientific bases (knowledge base) for the guide. En: *Ergonomics Guidelines and problem solving*. Primera Edición. Holanda. P 61 – 78.
- Neumann, W. P. et al. (2002). A case study evaluating the ergonomic and productivity impacts of partial automation strategies in the electronics industry. *Int. J. Prod. Res.*, vol. 40, no. 16, 4059-4075.
- Parasuraman, Raja; Riley, Victor. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. En: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Volume 39, Número 2, pp. 230-253.
- Portafolio. Colombia lidera procesos de automatización en la región. <<http://www.portafolio.co/negocios/procesos-automatizacion-industrial-colombia>> [citado en 21 de mayo de 2013].
- Rahimi, Mansour. (1992). *Human Robot Interaction*. Primera Edición. Reino Unido: Taylor & Francis. P 2 – 12.
- Schaffernicht, M. (2008). *Indagación de situaciones complejas mediante la dinámica de sistemas*. Editorial Universidad de Talca.
- S.K. Das & P. Nagendra. (1992). Investigations into the impact of flexibility on manufacturing performance. *International Journal of Production Research*.
- Squirea P.N; Parasuraman, R. (2010). Effects of automation and task load on task switching during human supervision of multiple semi-autonomous robots in a dynamic environment. En: *Ergonomics*, Vol. 53, No. 8, 951-961

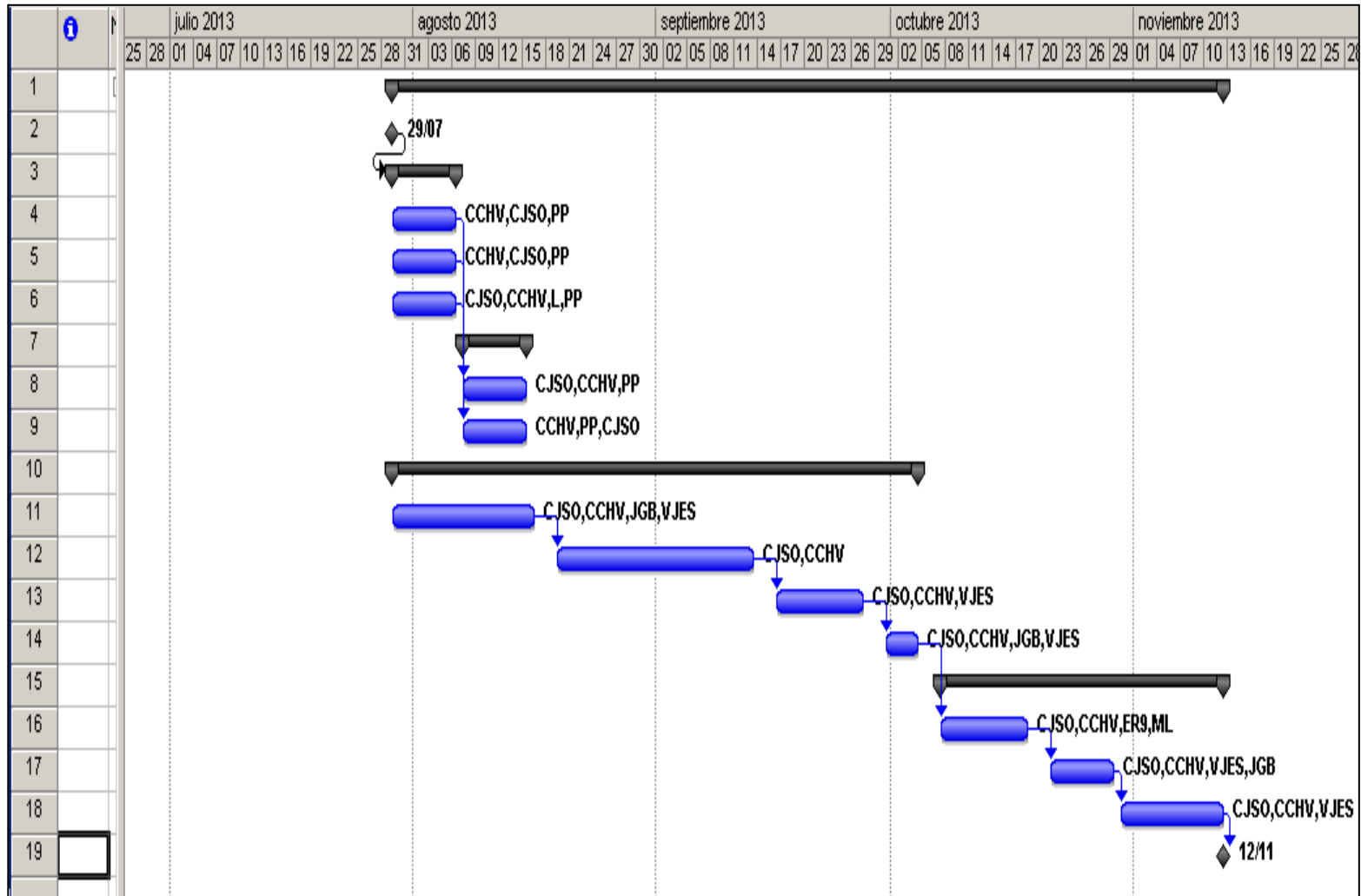
- Weimer, G. (2006). Automation: Why Buy the Cow When All You Want Is the Milk?. *Material Handling Management*, 61(1), 38.

8. Lista de Anexos

Anexo A. Cronograma

		Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
1		ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA AUTOC	77 días	lun 29/07/13	mar 12/11/13		
2		Inicio	0 días	lun 29/07/13	lun 29/07/13		
3		Identificar las variables principales que int	7 días	lun 29/07/13	mar 06/08/13	2	Cristian Chiquito Valenc
4		Documentar variables que afecten el desem	7 días	lun 29/07/13	mar 06/08/13		Cristian Chiquito Valencia[3
5		Documentar variables que afecten el desem	7 días	lun 29/07/13	mar 06/08/13		Cristian Chiquito Valencia[3
6		Documentar variables que afecten el desem	7 días	lun 29/07/13	mar 06/08/13		Carlos José Santiago Osor
7		Identificar las relaciones causales entre e:	7 días	mié 07/08/13	jue 15/08/13		
8		Documentar relaciones causales entre varie	7 días	mié 07/08/13	jue 15/08/13	4,5,6	Carlos José Santiago Osor
9		Documentar la medición de la calidad y dese	7 días	mié 07/08/13	jue 15/08/13	4,5,6	Cristian Chiquito Valencia[5
10		Diseñar escenarios de interacción entre el	50 días	lun 29/07/13	vie 04/10/13		
11		Consultar a expertos en automatización indl	15 días	lun 29/07/13	vie 16/08/13		Carlos José Santiago Osor
12		Visitar dichas empresas para conocer sus p	20 días	lun 19/08/13	vie 13/09/13	11	Carlos José Santiago Osor
13		Establecer secuencias similares a los proce	10 días	lun 16/09/13	vie 27/09/13	12	Carlos José Santiago Osor
14		Retroalimentar las secuencias con expertos	5 días	lun 30/09/13	vie 04/10/13	13	Carlos José Santiago Osor
15		Evaluar dichos escenarios para caracteriza	27 días	lun 07/10/13	mar 12/11/13		
16		Ejecutar las secuencias	10 días	lun 07/10/13	vie 18/10/13	14	Carlos José Santiago Osor
17		Cuantificar el desempeño y la calidad del sis	7 días	lun 21/10/13	mar 29/10/13	16	Carlos José Santiago Osor
18		Comparar los resultados de los escenarios	10 días	mié 30/10/13	mar 12/11/13	17	Carlos José Santiago Osor
19		Fin	0 días	mar 12/11/13	mar 12/11/13	18	

Anexo A. Cronograma



Anexo B. Encuesta

ENCUESTA

La siguiente encuesta pretende adquirir datos sobre los factores técnicos y estratégicos tenidos en cuenta al momento de evaluar proyectos de automatización en las empresas del Valle del Cauca y del país.

1. ¿Qué tipo de estrategia de manufactura tiene la empresa para competir en el mercado?

- Reducción de costos ____
- Calidad ____
- Velocidad ____
- Flexibilidad ____
- Otro ____ ¿Cuál?

Se puede entender por automatización la instalación de máquinas automáticas de empaque, equipos de control numérico, instalación de sensores (control visual, térmico, gases, etc.), estanterías robóticas, brazos robóticos, unidades de manufactura flexible entre otros.

2. ¿En su empresa existen procesos de automatización? Descríbalos.

3. ¿Qué procesos postularía para automatizar? ¿Por qué?

4. Califique porcentualmente cada uno de los siguientes factores considerando al de mayor porcentaje como el que sea de mayor motivación para la instalación de sistemas automatizados

- Aumento de la capacidad de producción _____%
 - Mejora en la calidad _____%
 - Flexibilidad del proceso _____%
 - Otro _____%
- ¿Cuál?

5. ¿Ha participado usted en procesos de evaluación técnica para la instalación de sistemas de manufactura automatizados en su empresa?

- Sí, en mi empresa, y el proceso de automatización se llevó a cabo ____
- Sí, pero no en mi empresa actual ____
- Sí, en mi empresa, pero el proceso de automatización no se llevó a cabo ____
- No he participado, pero en mi empresa sí se han llevado a cabo procesos de evaluación técnica ____
- No he participado. En mi empresa no hay sistemas automatizados. ____

6. Si en la pregunta anterior la respuesta fue afirmativa, ¿se ha considerado qué nivel de automatización?

- Dispositivos o instrumentos ____
- Máquinas _____
- Celdas de manufactura _____
- Procesos _____
- Líneas _____
- Plantas de producción _____

7. ¿Si tuviese la oportunidad de mejorar su proceso productivo o cualquier proceso productivo con una automatización de procesos, en qué centraría su atención?

- Solucionar problemas puntuales dentro del proceso ____
- Solucionar problemas puntuales dentro del proceso y cómo se afectan los procesos después del sistema automatizado ____
- Solucionar problemas puntuales dentro del proceso y cómo se afectan los procesos antes y después del sistema automatizado ____

8. ¿Ha hecho evaluación de rendimiento a un sistema productivo?

- Sí ____
- No ____

9. Si en la pregunta anterior la respuesta fue afirmativa, ¿tenía ese sistema productivo procesos automatizados?

- Sí ____
- No ____

10. Según su experiencia o conocimiento del tema, califique los siguientes parámetros al momento de evaluar el rendimiento de un sistema productivo. En la siguiente tabla, se plantean parámetros que pueden influenciar o no en el rendimiento de un sistema productivo. ¿Cómo los evaluaría usted?

PARÁMETRO	¿LO CONSIDERA IMPORTANTE PARA LA EVALUACIÓN? ? (SÍ/NO)	¿CÓMO ASUMIRÍA EL VALOR DEL PARÁMETRO?		¿LO HA MEDIDO O EVALUADO?
		¿CONSTANTE?	¿VARIABLE?	
Especificaciones del sistema instalado				
Capacidad del sistema o máquina				
Características de la materia prima				
Costos de operación				
Número de referencias a producir				
Ciclos de mantenimiento especificado por el fabricante				
Factores Ambientales				
Número de operadores				
Roles del operador				

11. ¿De qué forma ha medido o mediría la variabilidad en los parámetros que seleccionó en la pregunta anterior?

- Variaciones en las especificaciones del producto terminado ____
- Probabilidad de fallas en las maquinas ____
- Nivel de entrenamiento operador humano ____
- Variación de las materias primas ____

- Variación en los procesos anteriores a la unidad automatizada ____
- Otro

12. Para la evaluación del rendimiento teórico del sistema automatizado, ¿le han presentado y ha utilizado modelos de simulación del sistema?

- Sí, modelos de simulación por parte del proveedor de la automatización ____
- Sí, modelos de simulación presentados por parte de terceros ____
- No, no he visto ni utilizado modelos de simulación para la evaluación de sistemas automatizados ____

13. ¿Cuáles son los factores, que usted cree, pueden presentar complicaciones para la toma de decisión de automatizar un proceso?

IMPLEMENTACIÓN	
• Procesos de capacitación	
• Resistencia al cambio por parte de los operarios	
• Recortes de personal	
• Espacio físico necesario para el montaje	
• Sincronización de procesos	
• Incremento de emisiones y control ambiental	
FINANCIERAS	
• Implementación muy costosa	
• Baja rentabilidad de la inversión	
• Incertidumbre respecto al éxito real de la iniciativa.	
• Falta de fuentes de financiación externas.	
ENTORNO	
• Poca información disponible en Colombia respecto al tema	

<ul style="list-style-type: none">• El nivel de demanda no es suficiente para realizar una automatización	
<ul style="list-style-type: none">• No existen proveedores para las materias primas o insumos del proceso automatizado	
<ul style="list-style-type: none">• Falta de personal capacitado en Colombia.	

Anexo C. Práctica Picking

Practica No. 1	
Nombre de práctica	Simulación de una actividad de Picking (Robot-Humano)
Duración	2 horas aproximadamente

INTRODUCCIÓN

Se simula una actividad de picking en la cual se combinarán la interacción del brazo robótico con la interacción humana. Se desarrollan tres secuencias en donde en la primera, el operario tiene a su disposición una cantidad indefinida de legos en un alimentador, toma legos de cuatro colores uno por uno y los va organizando por colores en una estiba dividida en cuatro compartimientos y luego el brazo robótico toma la estiba y la dirige hacia la zona de entrega del producto. La segunda secuencia es el mismo proceso, pero esta vez es desarrollado en su totalidad por el brazo robótico. Por último, la tercera secuencia es desarrollada en su totalidad por el operario. Luego, se comparan los resultados.

OBJETIVO

Esta práctica apunta a medir el desempeño de un sistema semi-automatizado en cuanto a velocidad y consistencia del proceso y la calidad del producto terminado, a partir de la simulación, la toma de tiempos y las inspecciones al producto terminado; comparando la capacidad del proceso operado sólo por el robot con la del operado sólo por el humano y con la del operado por ambos agentes.

PALABRAS CLAVE

Proceso semi-automatizado; Picking; Control de calidad; Desempeño.

MATERIALES

Para llevar a cabo la secuencia que se plantea, se necesita tener a disposición los siguientes elementos:

- Estación de trabajo del operario (mesa y silla)
- Estación de trabajo de Brazo Robótico Scorbot ER-9 Pro
- Alimentador de piezas por gravedad de 8 carriles.
- Legos de cuatro colores diferentes

- Recipientes plásticos de cuatro compartimientos (simula la estiba)
- Software OpenCim para la programación de la rutina
- Cronómetros

Son necesarias tres personas como material humano. Dos monitores y un ayudante.

INSTRUCCIONES DE PREPARACIÓN

Rutina Humano-Robot:

Para esta rutina, se debe tener grabadas las posiciones de acercamiento y de alejamiento del robot a dos ubicaciones: la primera es el lugar donde va a tomar la estiba (recipiente de plástico) y la segunda es el lugar donde va a dejar la estiba. La secuencia será simple: el robot desde su posición inicial irá con el gripper abierto hasta la primera posición donde se encuentra la estiba; la tomará y la llevará hacia la segunda posición y luego, volverá a su posición inicial.

La distribución de las personas será de la siguiente manera: uno de los monitores estará ubicado en la computadora de control y se encargará de activar los movimientos del robot y estará alerta en cuanto a la seguridad tanto de las personas como de los elementos del laboratorio y el segundo monitor tomará los tiempos de operación del operario y del robot y registrará los datos obtenidos; mientras que la tercera persona será el encargado de operar en la estación de trabajo definida para él, en donde encontrará los legos ubicados en el alimentador y los recipientes plásticos. Desde su posición, debe ser posible dejar el recipiente de plástico con los legos al alcance del robot, el cual se encargará de transportarlo hacia el lugar de entrega designado.

Rutina Robot:

La secuencia del robot es un poco más compleja que la anterior en términos de programación. Además de estar grabadas las posiciones mencionadas en la secuencia Humano-Robot, también deben estar programadas las posiciones de acercamiento y de alejamiento del brazo robótico hasta el lugar en la pared de la estación donde estará ubicado el alimentador de los legos. El brazo robótico desde su posición inicial se dirigirá hacia el alimentador, tomará una pieza y la depositará en el recipiente de plástico que debe estar ubicado en el mismo lugar en donde lo deja el operario en la secuencia Humano-Robot. Esto lo hará 8 veces, una vez por cada carril del alimentador, hasta llenar el recipiente. Luego, el robot sujetará el recipiente y lo moverá hasta la zona de entrega y volverá a su posición inicial.

Rutina Humano:

Con un 0% de automatización, el operario desde su estación de trabajo deberá tener acceso al alimentador de los legos, a los recipientes plásticos y deberá moverse desde su estación hasta la zona de entrega del producto terminado. El operario deberá hacer todo el trabajo.

DESARROLLO

Rutina Humano-Robot:

7. En primera instancia, el operario deberá tomar en orden los legos del alimentador y ubicarlos dentro del recipiente plástico, distribuyéndolos en los compartimientos del recipiente a partir del color del lego.
8. Después de tener la estiba armada, el operario deberá ubicarla en el lugar



destinado en la mesa del robot.

9. Paralelo a las actividades 1 y 2, el monitor encargado de la toma de tiempos y la inspección tomará el tiempo que se tarda el operario en organizar la estiba y en ponerla en el lugar destinado en la mesa del robot. Registrará esos datos en una tabla.
10. Cuando la estiba esté ubicada en la mesa del robot y no haya peligro de accidentes, el segundo monitor activará la secuencia del robot, en la cual se tomará la estiba y se dirigirá hacia la zona de entrega.
11. De nuevo, y de forma paralela a la actividad 4, el monitor tomará el tiempo que se tarda el brazo robótico en terminar la secuencia.
12. Se harán 20 repeticiones del experimento y al final se hará una inspección de calidad, en donde se revisará que los productos terminados cumplan los requerimientos en cuanto a color de los legos, cantidad de los legos y ubicación dentro del recipiente.

Rutina Humano:

1. En primera instancia, el operario deberá tomar en orden los legos del alimentador y ubicarlos dentro del recipiente plástico, distribuyéndolos en los compartimientos del recipiente a partir del color del lego.

2. Paralelo a la actividad 1, el monitor encargado de la toma de tiempos y la inspección tomará el tiempo que se tarda el operario en organizar la estiba y en ponerla en el lugar destinado en la mesa del robot. Registrará esos datos en una tabla.
3. Luego, el operario se parará de su estación y llevará la estiba hacia la zona de entrega.
4. De nuevo, y de forma paralela a la actividad 3, el monitor tomará el tiempo que se tarda el operario en transportar la estiba.
5. Se harán 20 repeticiones del experimento y al final se hará una inspección de calidad, en donde se revisará que los productos terminados cumplan los requerimientos en cuanto a color de los legos, cantidad de los legos y ubicación dentro del recipiente.