

# **DISEÑO DE MÓDULO PARA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE CON TECNOLOGÍA LEGO**

**DIEGO ALEJANDRO RAMÍREZ GAVIRIA**

**Cód: 1093222999**

**ANDRÉS FELIPE RAMÍREZ GIRALDO**

**Cód: 1088018655**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA POR CICLOS  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
PEREIRA  
2013**

**DISEÑO DE MÓDULO PARA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE CON  
TECNOLOGÍA LEGO**

**PROYECTO DE GRADO**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA**

**Autores:**

**DIEGO ALEJANDRO RAMÍREZ GAVIRIA**

**ANDRÉS FELIPE RAMÍREZ GIRALDO**

**Director:**

**M.Sc. MARIA ELENA LEYES SANCHEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA POR CICLOS  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
PEREIRA  
2013**

## RESUMEN

Los robots LEGO MINDSTORM NXT se están implementando con mayor intensidad en diferentes lugares del mundo, más que todo en las universidades donde sirven como una herramienta de enseñanza-aprendizaje, un claro ejemplo se presenta en el programa de Ingeniería Mecatrónica por ciclos propedéuticos de la Universidad Tecnológica de Pereira, donde los estudiantes desde los inicios de la carrera empiezan a tener contacto con herramientas robóticas, complementando así el curso de programación y creando nuevas ideas y expectativas de lo que se puede llegar a conseguir con esta tecnología.

Se decide diseñar con los robots, dos módulos que cumplen con la misma función de los módulos de la celda de manufactura flexible con la que cuenta el programa de Ingeniería Mecatrónica.

El primer módulo, es una estación de verificación de un producto, que se encarga de determinar si un producto cumple o no con unas determinadas condiciones. El segundo módulo, es una estación de manipulación del producto, que basándose en la información obtenida del módulo anterior, decide qué acción debe realizar.

Para el proceso que se llevó a cabo con los robots LEGO, se decide usar un sensor que determina si un producto es de un color o de otro (bolas de dos colores diferentes), esto para cumplir con la función del módulo de verificación; para el caso del módulo de manipulación, se usa un servomotor, que condiciona su comportamiento a la información obtenida del sensor, se acciona para enviar las bolas a dos diferentes depósitos según la caracterización mediante el color.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Resumen</b>	<b>I</b>
<b>Introducción</b>	<b>VII</b>
<b>1. IDENTIFICACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA</b>	<b>1</b>
1.1 Definición de celda de manufactura flexible .....	1
1.2 Clasificación de la celda de manufactura .....	1
1.2.1 Celda de una sola máquina .....	2
1.2.2 Celda de un grupo de máquinas con manejo manual de materiales .....	2
1.2.3 Celda de un grupo de máquinas con un manejo semi-integrado .....	3
1.2.4 Celdas de manufactura flexible o sistema de manufactura flexible .....	3
1.3 Reconocimiento de módulos de la celda de manufactura flexible del programa de Ingeniería Mecatrónica por ciclos propedéuticos.....	4
1.3.1 Módulo de separación.....	4
1.3.2 Módulo de montaje .....	5
1.3.3 Módulo de verificación .....	5
1.3.4 Módulo de manipulación .....	6
1.3.5 Módulo de almacenamiento .....	7
1.3.6 Módulo de procesamiento de imágenes .....	8
1.4 Distribución de los módulos en la celda de manufactura .....	8
<b>2. RECONOCIMIENTO LEGO MINDSTORMS NXT</b>	<b>10</b>
2.1 Bloque NXT .....	10
2.2 Sensores .....	11
2.2.1 Sensor de tacto.....	11
2.2.2 Sensor de sonido .....	11
2.2.3 Sensor de luz .....	11
2.2.4 Sensor ultrasónico .....	12
2.2.5 Sensor de color .....	12
2.3 Actuadores .....	13
2.3.1 Servomotor .....	13
2.4 Programación .....	13
2.5 Limitaciones de la tecnología LEGO Mindstorms NXT .....	14

<b>3. SELECCIÓN DEL PROCESO A DISEÑAR</b>	16
3.1 Diagrama de bloques del proceso a diseñar .....	17
<b>4. DISEÑO DEL PROCESO</b>	18
4.1 Diseño mecánico .....	18
4.1.1 Depósito de producto .....	18
4.1.2 Sistema de transporte .....	19
4.1.3 Tolva .....	20
4.1.4 Elevador con sistema de verificación .....	21
4.1.5 Sistema de selección y almacenes .....	22
4.2 Diseño de control .....	23
4.2.1 Diseño de GRAFCET .....	23
4.2.2 Bloques utilizados en la programación .....	26
<b>5. COMPARATIVO ENTRE EL PROCESO CON LEGO MINDSTORMS NXT Y EL PROCESO DE LA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE</b>	28
5.1 Controladores .....	28
5.2 Protocolos de comunicación .....	29
5.3 Depósito .....	30
5.4 Sistema de transporte (Volqueta) .....	30
5.5 Tolva .....	32
5.6 Módulo de verificación .....	32
5.7 Módulo de manipulación .....	34
<b>6. ANEXOS</b>	37
6.1 Anexo 1 (Prototipo depósito de producto) .....	37
6.2 Anexo 2 (Prototipo sistema de transporte) .....	37
6.3 Anexo 3(Prototipo tolva de alimentación) .....	38
6.4 Anexo 4 (Prototipo módulo de verificación) .....	39
6.5 Anexo 5 (Prototipo módulo de manipulación) .....	39
6.6 Anexo 6 (Prototipo de módulo para celda de manufactura flexible con tecnología Lego Mindstorms NXT) .....	40
<b>7. CONCLUSIONES</b>	41
<b>8. RECOMENDACIONES</b>	42
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	43

## TABLA DE FIGURAS

1.1 Celda de una sola máquina [4].....	2
1.2 Celda de un grupo de máquinas con manejo manual de materiales [5].....	2
1.3 Celda de grupo de máquinas con manejo semi-integrado de materiales [6].....	3
1.4 Celda de manufactura flexible [7] .....	3
1.5 Módulo de separación [8].....	4
1.6 Módulo de montaje [9].....	5
1.7 Módulo de verificación [10].....	5
1.8 Módulo de manipulación [11].....	6
1.9 Módulo de almacenamiento [12].....	7
1.10 Módulo de procesamiento de imágenes [13].....	8
1.11 Distribución de módulos de la celda de manufactura [Los autores].....	9
2.1 Bloque NXT [14].....	10
2.2 Sensor de tacto [14].....	11
2.3 Sensor de sonido [14].....	11
2.4 Sensor de luz [14].....	11
2.5 Sensor de ultrasonido [14].....	12
2.6 Sensor de color [14].....	12
2.7 Servomotor [14].....	13
2.8 Software de programación NXT [14].....	13
3.1 Diagrama de bloques del proceso seleccionado [Los autores].....	17
4.1 Depósito de bolas [Los autores].....	18
4.2 Sistema de transporte [Los autores].....	19

4.3 Tolva (parte inferior) [Los autores].....	20
4.4 Tolva (parte superior) [Los autores].....	20
4.5 Elevador con sistema de verificación [Los autores].....	21
4.6 Banda del sistema elevador [Los autores].....	21
4.7 Sistema de selección y almacenes [Los autores].....	22
4.8 GRAFCET del controlador maestro [Los autores].....	24
4.9 GRAFCET del controlador esclavo [Los autores].....	25
4.10 Bloque de movimiento.....	26
4.11 Enviar mensaje.....	26
4.12 Sensor de luz.....	26
4.13 Sensor de color.....	26
4.14 Temporizador.....	26
4.15 Recibir mensaje.....	26
4.16 Ciclo.....	27
4.17 Condicional switch.....	27
5.1 PLC S7 300 314 2DP .....	29
5.2 Sistema de transporte de la celda de manufactura .....	30
5.3 Módulo de verificación de la celda de manufactura [10].....	33
5.4 Módulo de manipulación de la celda de manufactura [11].....	35
6.1 Prototipo del depósito de producto [Los autores].....	36
6.2 Vista superior del prototipo sistema de transporte [Los autores].....	36
6.3 Vista lateral del prototipo sistema de transporte [Los autores].....	37
6.4 Prototipo tolva de alimentación [Los autores].....	37
6.5 Prototipo módulo de verificación [Los autores].....	38
6.6 Prototipo módulo de manipulación [Los autores].....	38
6.7 Prototipo sistema completo [Los autores].....	39

## TABLA DE CUADROS

1.1 Módulos de la celda de manufactura.....	4
1.2 Significado de números y colores de acuerdo a la distribución de la celda.....	9
2.1 Componentes del bloque NXT.....	10
2.2 Codificación de colores.....	12
5.1 Comparación de controladores.....	28
5.2 Protocolos de comunicación.....	29
5.4 Comparación de los sistemas de transporte.....	31
5.6 Comparación de los módulos de verificación.....	33
5.7 Comparación de los módulos de manipulación.....	35

## INTRODUCCIÓN

Al tener en el programa de Ingeniería Mecatronica por ciclos la posibilidad de interactuar con la celda de manufactura flexible (Lucas Nülle), se determina para la apropiación de conocimiento el desarrollo de dichos procesos implementando otras herramientas para innovar en la didáctica de estudio. Se determina realizar un proceso que involucrara los LEGO MINDSTORM NXT, debido a que es un recurso más con el que cuenta el programa y esto generará mejoras en el proceso enseñanza-aprendizaje, ya que motiva a los estudiantes para que participen en la práctica de este tipo de procesos y se siga promoviendo el uso de diferentes tecnologías.

En el campo de la mecatrónica, la tecnología LEGO, la han utilizado como herramienta de aprendizaje y aunque en módulos o celdas de manufactura aún no se encuentra integrada, en los últimos años se ha venido implementando en procesos con otras tecnologías, como es el caso de la Universidad de Cambridge, donde un grupo de investigadores desarrollaron un nuevo proceso para crear huesos artificiales a partir de los LEGO MINDSTORM [1], obteniendo una precisión asombrosa, no impacta los costos y sigue una secuencia determinada.

De forma similar en República Dominicana se desarrolló la automatización de un invernadero para cultivo de tomate donde los LEGO MINDSTORM toman un papel fundamental en la medida y corrección de las variables climatológicas [2], dicho sistema funciona mediante un robot móvil encargado de medir las variables (temperatura, humedad relativa, radiación), llevando esta información mediante bluetooth al robot fijo, el cual la compara con una programación preestablecida y genera una acción para abrir o cerrar las ventanas, sistema de riego, iluminación o flujo de aire.

El proyecto se centra en el diseño de un módulo que cumple adecuadamente las mismas funciones que dos de las estaciones de la celda de manufactura flexible del programa de Ingeniería Mecatrónica, este diseño requiere de un componente mecánico y de control, los cuales se llevaron a cabo gracias a los software Lego Digital Designer y Lego Mindstorm NXT 2.0, respectivamente.

Se profundiza en la parte de protocolos de comunicación entre bloques NXT y se determina la forma óptima de distribuir los dos módulos para cumplir con la disposición que presenta la celda entre sus respectivos módulos.

El proyecto se deja abierto con la posibilidad de interactuar con otros bloques para el posible diseño de otros módulos. La propuesta responde al diseño mecánico y de control, despertando el interés de miembros de la comunidad estudiantil, lo cual demuestra el cumplimiento de los objetivos.

# 1. IDENTIFICACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA

## 1.1 Definición celda de manufactura flexible

La celda de manufactura es un conjunto de elementos electromecánicos, que trabajan de manera coordinada para el logro de un producto [3], y que además permiten la elaboración en serie de dicho producto.

Se dice que una celda de manufactura es flexible, porque es capaz de procesar varios productos y porque permite hacer modificaciones en su proceso productivo, con lo cual se puede adecuar el proceso a nuevas exigencias o necesidades del mercado.

En la actualidad, las celdas de manufactura cuentan con un gran componente tecnológico, debido a que incluyen sistemas de distribución computarizado, que son la interfaz entre las estaciones de trabajo, el manejo de materiales y otros componentes. Normalmente consisten de una computadora central y microcomputadoras que controlan las máquinas individuales.

Las celdas de manufactura son importantes en la industria porque permiten obtener altos grados de eficiencia en la producción, mantener estándares de calidad altos y una mejora significativa en la distribución de la maquinaria; dichas características son fundamentales para poder obtener un proceso productivo competente.

## 1.2 Clasificación de la celda de manufactura

Las celdas de manufactura se clasifican principalmente de acuerdo al número de máquinas y el grado en el cual el flujo del material es mecanizado entre las máquinas. También se clasifican según la distribución de máquinas o layout.

### 1.2.1 Celda de una sola máquina

Consiste de una sola máquina y las herramientas y fijaciones requeridas. Se aplica donde es un proceso muy básico como torneado o taladrado, normalmente viene integrado con un sistema de almacenamiento. [Ver figura 1.1]



Figura 1.1: Celda de una sola máquina [4]

### 1.2.2 Celda de un grupo de máquinas con manejo manual de materiales

Básicamente es un arreglo de máquinas usadas colectivamente para producir una o más familias de partes. No considera mecanización en el movimiento entre las máquinas de la celda, son operarios los que realizan este trabajo. [Ver figura 1.2]

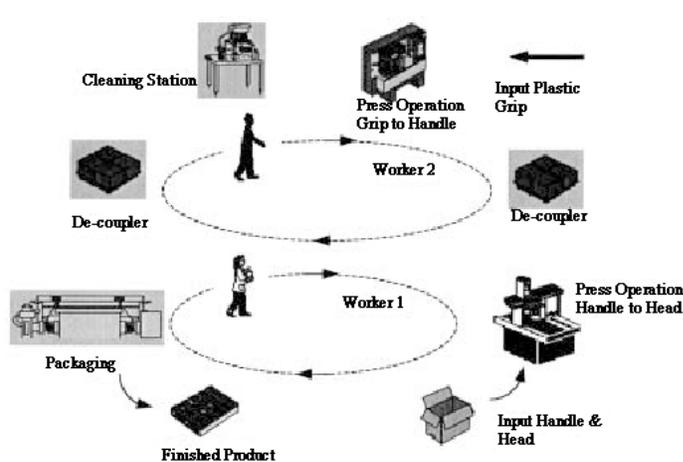


Figura 1.2: Celda de un grupo de máquinas con manejo manual de materiales [5]

### 1.2.3 Celda de un grupo de máquinas con un manejo semi-integrado

A diferencia de la anterior usa un sistema de manejo de materiales mecanizado. [Ver figura 1.3]



Figura 1.3: Celda de grupo de máquinas con manejo semi-integrado de materiales [6]

### 1.2.4 Celdas de manufactura flexible o sistema de manufactura flexible

El sistema flexible de manufactura (FSM) combina un sistema de manejo de materiales completamente integrado con estaciones o módulos de proceso automáticos. [Ver figura 1.4]



Figura 1.4: Celda de manufactura flexible [7]

Con base en la anterior clasificación, la celda de manufactura del programa de Ingeniería Mecatrónica por ciclos propedéuticos se ubica en el último grupo, el cual cuenta con un sistema de manejo de materiales distribuido de forma circular mediante una banda transportadora y diferentes módulos automáticos.

### 1.3 Reconocimiento de módulos de la celda de manufactura flexible del programa de Ingeniería Mecatrónica.

Los módulos que integran la celda de manufactura flexible se muestran en el siguiente cuadro:

Código	Módulo
IMS3	Separación
IMS4	Montaje
IMS6	Verificación
IMS7	Manipulación
IMS8	Almacenamiento
IMS9	Procesamiento de imágenes

Cuadro 1.1: Módulos de la celda de manufactura

#### 1.3.1 Módulo de separación

La tarea del subsistema de separación consiste en posicionar partes inferiores de una pieza de trabajo sobre un portador. Dado que estas piezas inferiores se deben tomar de un almacén, se habla aquí de “separación”. El subsistema está compuesto por la estructura de transporte y la estación de separación. [Ver figura 1.5]

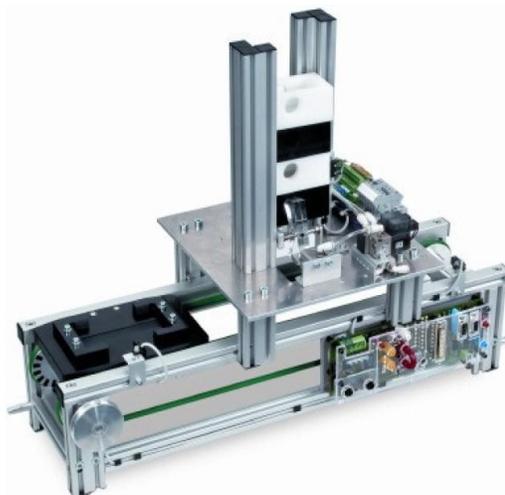


Figura 1.5: Módulo de separación [8]

### 1.3.2 Módulo de montaje

Este subsistema se ubica después del subsistema de separación, consta de una estructura de transporte y una estación de montaje. La labor que cumple este subsistema es la de situar la parte superior de una pieza en la parte inferior, la cual es llevada hasta esta estación por medio de la banda transportadora. [Ver figura 1.6]

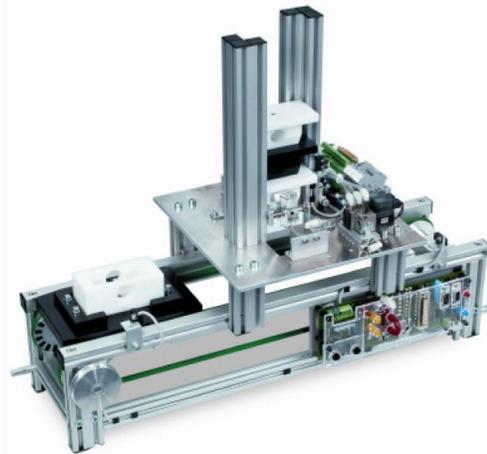


Figura 1.6: Módulo de montaje [9]

### 1.3.3 Módulo de verificación

Este subsistema verifica, mediante los tres sensores dispuestos en la estación de verificación, la composición del material de la pieza de trabajo que ha sido previamente ensamblada en el subsistema de montaje. Dicha pieza se posiciona mediante el sistema de transporte del subsistema. [Ver figura 1.7]

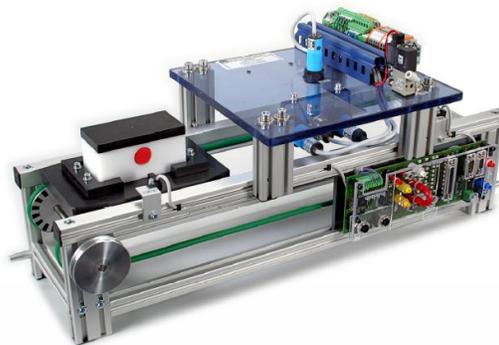


Figura 1.7: Módulo de verificación [10]

### 1.3.4 Módulo de manipulación

Este subsistema se ubica después del subsistema de verificación, consta de una estructura de transporte y una estación de manipulación. La labor que cumple este subsistema es la de tomar alguna pieza del portador de piezas y sacarla de la banda transportadora, en caso tal de que el sistema de verificación diga que una pieza se encuentra defectuosa o por alguna razón no cumple con las especificaciones, si no se da el caso simplemente no se toma la pieza. [Ver figura 1.8]

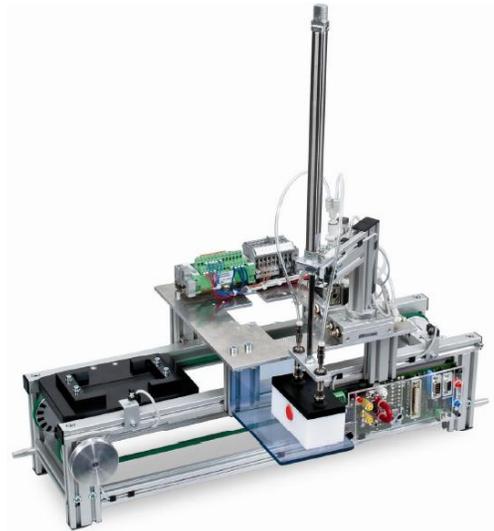


Figura 1.8: Módulo de manipulación [11]

### 1.3.5 Módulo de almacenamiento

El subsistema consta de una estructura de transporte y de almacén de estantes elevados propiamente dicho. Las tareas del subsistema son las siguientes:

- Depositar en el almacén de estantes elevados las piezas que previamente ha posicionado el sistema de transporte.
- Retirar piezas de trabajo de los estantes elevados y emplazarlas sobre el portador del sistema de transporte previamente posicionado. [Ver figura 1.9]



Figura 1.9: Módulo de almacenamiento [12]

### 1.3.6 Módulo de procesamiento de imágenes

Este subsistema tiene como elemento principal una cámara, la cual se usa para reconocimiento y procesamiento de imágenes obtenidas a partir de la pieza circulante por la sección del sub-módulo transportador que está ubicada debajo de la cámara. La aplicación de este subsistema, está en tareas como el reconocimiento de etiquetas previamente impresas y ubicadas sobre las piezas, determinando si el logo ha sido correctamente impreso y usando esto como criterio para dejar que la pieza siga o no al siguiente subsistema (fin del proceso). [Ver figura 1.10]



Figura 1.10: Módulo de procesamiento de imágenes [13]

### 1.4 Distribución de los módulos en la celda de manufactura

En el cuadro 1.1 se muestran los módulos que componen la celda de manufactura del programa de Ingeniería Mecatrónica por ciclos propedéuticos con su respectiva codificación, además, en la figura 1.11 se muestra la distribución (Layout). [Ver figura 1.11]

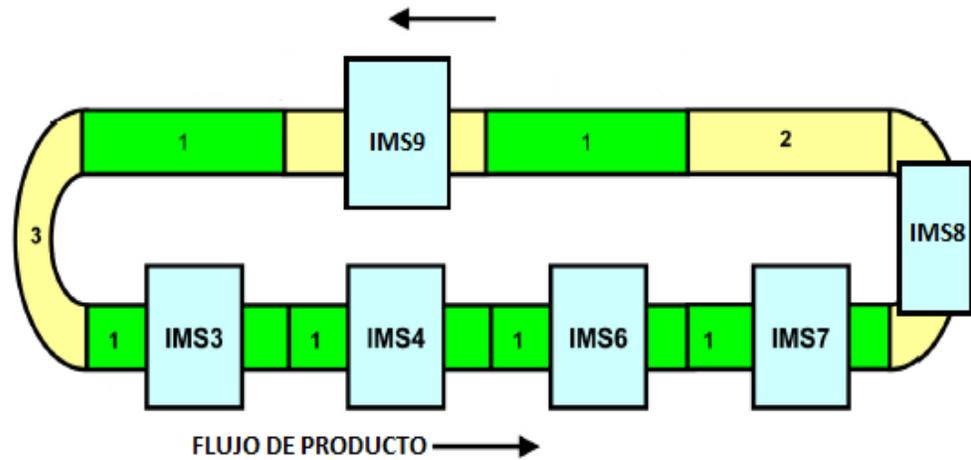


Figura 1.11: Distribución de módulos de la celda de manufactura

En el cuadro 1.2 se muestra el significado de los colores dentro de la distribución.

Color	Número	Descripción
Amarillo	2-3	Sistema de transporte pasivo (Sin motor)
Verde	1	Sistema de transporta activo (Con motor)
Azul	-	Módulos específicos

Cuadro 1.2: Significado de números y colores de acuerdo a la distribución de la celda

Los sistemas de transporte activo son capaces de mover solamente un sistema pasivo mediante poleas.

## 2. RECONOCIMIENTO LEGO MINDSTORM NXT

Lego Mindstorm es un juego de robótica, el cual posee elementos básicos de las teorías robóticas, como la unión de piezas y programación de acciones.

Los principales elementos que lo conforman son:

### 2.1 Bloque NXT

Es el cerebro del robot, básicamente un microprocesador con puertos de entrada, salida y memoria para almacenar los programas. Se comunica con el computador a través de un puerto USB o vía Bluetooth. [Ver figura 2.1]

Componente	Cantidad	Descripción
Puerto Salida	3	Conexión de actuadores
Puerto Entrada	4	Conexión de sensores
Puerto USB	1	Comunicación de bloque y computadora
Pantalla cristal liquido	1	Interfaz de usuario y robot
Parlante	1	Generación de sonidos
Botones	4	Apagado, encendido y navegación

Cuadro 2.1: Componentes del bloque NXT

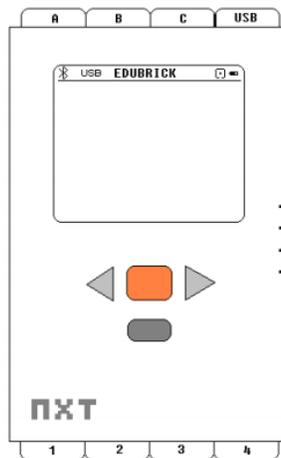


Figura 2.1: Bloque NXT [14]

## 2.2 Sensores

### 2.2.1 Sensor de tacto

Le proporciona al robot el sentido del tacto, tanto cuando se presiona como cuando se suelta. [Ver figura 2.2]



Figura 2.2: Sensor de tacto [14]

### 2.2.2 Sensor de sonido

El sensor de sonido puede detectar tanto decibeles (dB), como decibeles ajustados (dBA). [Ver figura 2.3]



Figura 2.3: Sensor de sonido [14]

### 2.2.3 Sensor de luz

Le permite al robot distinguir entre luz y oscuridad.

El sensor es monocromático, es decir puede distinguir entre el blanco y el negro pasando por una gama de grises, la lectura la entrega en porcentaje. [Ver figura 2.4]



Figura 2.4: Sensor de luz [14]

### 2.2.4 Sensor ultrasónico

El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar, para luego calcular la distancia, a la cual se encuentra el objeto u obstáculo. [Ver figura 2.5]



Figura 2.5: Sensor de ultrasonido [14]

### 2.2.5 Sensor de color

Es capaz de distinguir 6 diferentes colores los cuales se indican en el cuadro 2.2. [Ver figura 2.6]



Figura 2.6: Sensor de color [14]

Código identificación	Color
1	Negro
2	Azul
3	Verde
4	Amarillo
5	Rojo
6	Blanco

Cuadro 2.2: Codificación de colores

## 2.3 Actuadores

Dentro del kit con el que cuenta el programa de mecatrónica solo se identifica un actuador el cual es un servomotor.

### 2.3.1 Servomotor

El servomotor del LEGO Mindstorms NXT consta de un motor que trabaja a 9 voltios DC, además de una serie de engranajes para aumentar su torque. También está dotado de un sensor de rotación el cual tiene una precisión de  $\pm 1^\circ$ .

El servomotor a su máxima potencia entrega 170 RPM. [Ver figura 2.7]



Figura 2.7: Servomotor [14]

## 2.4 Programación

Para programar el bloque NXT se puede hacer uso del programa NXT-G, lenguaje gráfico basado en LabView de National Instruments; también es posible programarlo con otros softwares dependiendo el lenguaje. [Ver figura 2.8]



Figura 2.8: Software de programación NXT [14]

## 2.5 Limitaciones de la tecnología LEGO Mindstorms NXT

Los robots Mindstorms NXT 2.0 poseen una gran variedad de elementos para diseñar y construir diferentes dispositivos, como por ejemplo: vehículos, elementos de carga como son los ascensores o en este caso, módulos para celda de manufactura flexible; sin embargo, como todas las tecnologías tienen una serie de limitaciones.

- Una gran limitación de la tecnología Lego es el componente neumático, ya que hoy en día en muchos procesos de la industria, la neumática es indispensable para diferentes procesos, tales como el sellado, estampado o manipulación de producto mediante ventosas, este último regularmente usado en las celdas de manufactura flexible.
- Mediante el conjunto de sensores que posee la tecnología Lego Mindstorms NXT, es posible implementar una gran cantidad de procesos y dispositivos, pero aun así, existen otros sensores que son ampliamente usados en el campo de la mecatrónica, como por ejemplo sensores para materiales específicos, un ejemplo concreto son los sensores inductivos, los cuales permiten accionarse única y exclusivamente con metales ferrosos.
- Todos los procesos controlados y automatismos deben tener un cerebro, el cual es el encargado de almacenar el algoritmo de control y enviar acciones a los actuadores con base en una señal recibida de entradas o sensores. En el caso de los Mindstorms NXT, el controlador es un ladrillo o cerebro, el cual internamente contiene un microcontrolador, sin embargo, en muchos casos, la poca cantidad de entradas y salidas que posee el bloque NXT limita diseños, los cuales necesitan de una gran cantidad de sensores y actuadores.
- En la automatización, los protocolos de comunicación y buses de datos son fundamentales para comunicar diferentes partes del proceso, regularmente se utilizan en las configuraciones maestro-esclavo, donde un controlador denominado maestro, es el encargado de manejar todo el proceso, es decir, envía información a los controladores denominados esclavos para que estos generen acciones. Del mismo modo, los robots Mindstorms tienen protocolo de comunicación Bluetooth, y si bien es posible contar con la configuración maestro-esclavo, por otra parte, tienen la limitación de que un

maestro sólo puede tener asociados tres esclavos. Con base en lo anterior, los diseños de gran magnitud que necesiten un gran número de estaciones de trabajo, no son posibles de controlar con un solo maestro y es necesario crear ramificaciones de maestros.

### 3. SELECCIÓN DEL PROCESO A DISEÑAR

Según los módulos anteriormente mencionados (separación, montaje, verificación, manipulación, almacenamiento, procesamiento de imágenes), se decidió realizar el diseño con los LEGO Mindstorms NXT que van a tener un funcionamiento análogo a los módulos de verificación y manipulación.

Se escoge el diseño de estos módulos por su importante funcionalidad en muchos procesos de la vida cotidiana, por ejemplo, muchos aeropuertos del mundo cuentan con sistemas automatizados de transporte de equipaje, donde estos dos procesos son fundamentales ya que mediante el sistema de verificación existen cámaras y detectores RFID( Identificación por radiofrecuencia) que leen los códigos de barras del equipaje y su ubicación y de acuerdo a esta lectura el sistema de manipulación se encarga de llevar el equipaje a su destino de abordaje. Los aeropuertos de Hong Kong y Las Vegas son líderes en la adopción de este modelo híbrido que utiliza el código de barras y el RFID [15].

Por otra parte, en las líneas de producción automáticas, se utiliza el sistema de verificación y manipulación para hacer control de calidad sobre los productos, los cuales son escaneados por un sistema de verificación y si no cumplen los estándares de calidad, el sistema de manipulación se encarga de retirar los productos del proceso.

Otro aspecto importante en la selección del proceso a diseñar fue la accesibilidad que tienen los diferentes componentes de LEGO MINDSTORMS para el correcto funcionamiento de dichos módulos.

Cabe resaltar, que también se tiene una etapa de transporte, la cual se representa con un vehículo que lleva el producto de un contenedor a un elevador, este último, lleva el producto a la etapa final donde se encuentran los módulos de verificación y de manipulación.

### 3.1 Diagrama de bloques del proceso a diseñar



Figura 3.1: Diagrama de bloques del proceso seleccionado

## 4. DISEÑO DEL PROCESO

El diseño de un módulo para celda de manufactura flexible con tecnología Lego, consta de un diseño mecánico y de un diseño de control.

### 4.1 DISEÑO MECÁNICO

Se determina para que su funcionamiento sea similar a la forma en que funciona la celda de manufactura flexible.

Consta de un depósito de producto (bolas de dos colores diferentes), sistema de transporte, tolva, elevador con sistema de verificación, sistema de selección y almacenes.

#### 4.1.1 DEPÓSITO DE PRODUCTO

Este dispositivo funciona mecánicamente; es accionado cuando la parte trasera del vehículo de transporte corre el contrapeso con el que cuenta el depósito en la parte baja, éste sirve para mantener cerrada la compuerta que deja salir las bolas en caso de ser accionada por el vehículo. [Ver figura 4.1]

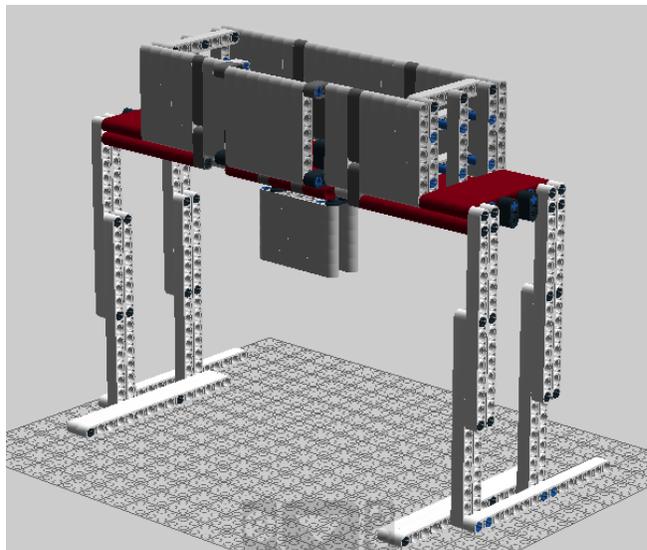


Figura 4.1: Depósito de bolas

#### 4.1.2 SISTEMA DE TRANSPORTE

Este dispositivo cumple con dos importantes funciones: una de ellas es la de recoger las bolas en el depósito y llevarlas hasta la tolva, la otra es la de soportar el bloque NXT que trabaja como maestro de todo el proceso.

Cuenta con tres sensores de luz, dos de ellos sirven para detectar el punto hasta el que debe reversar el vehículo (depósito), y para detectar el punto hasta el que debe avanzar (tolva); el otro sirve para detectar si hay bolas en el cajón. También cuenta con tres servomotores, de los cuales, dos de ellos funcionan para que el vehículo pueda desplazarse hacia adelante o hacia atrás; y el restante es el encargado de hacer que el cajón suba y baje al depositar las bolas en la tolva. [Ver figura 4.2]

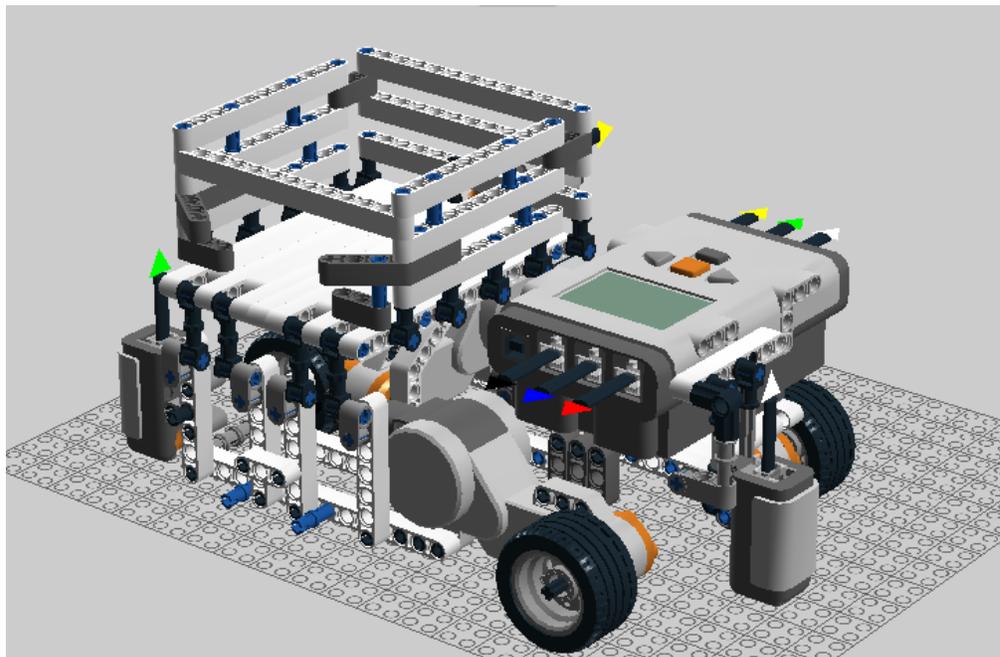


Figura 4.2: Sistema de transporte

### 4.1.3 TOLVA

Este dispositivo es el encargado de entregarle las bolas de forma ordenada al elevador. Cuenta con un servomotor en su parte baja, éste es usado para agitar las bolas en la boca de la tolva y de esta manera evitar que se atoren y no puedan pasar al elevador. [Ver figuras 4.3 y 4.4]

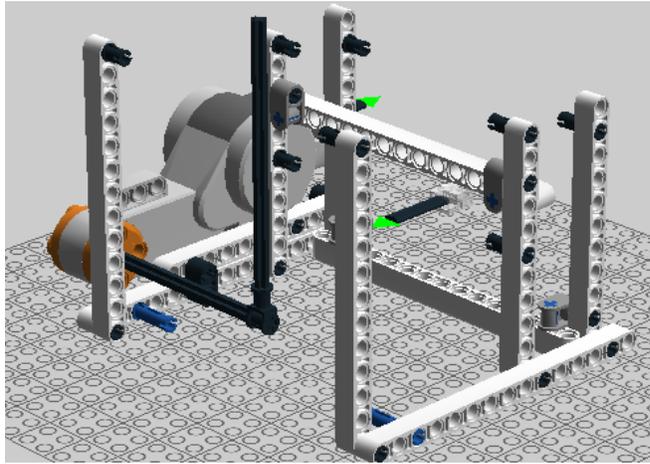


Figura 4.3: Tolva (parte inferior)

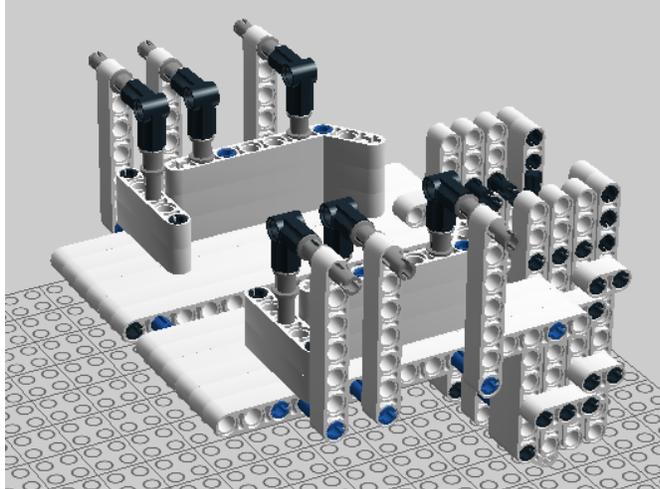


Figura 4.4: Tolva (parte superior)

#### 4.1.4 ELEVADOR CON SISTEMA DE VERIFICACIÓN

Este dispositivo es el encargado de recoger las bolas que se van acumulando en la boca de la tolva y llevarlas hasta el punto en el que se encuentra el sensor, éste se encarga de analizar la variable y decirle al bloque esclavo de qué color es la bola, para que de esta manera el bloque pueda decirle al sistema de selección qué acción debe tomar.

En esta sub-estación se encuentra posicionado el bloque NXT restante, que es el encargado de hacer la función de esclavo en el proceso.

Además, cuenta con un servomotor, que es el encargado de mover el elevador constantemente. [Ver figuras 4.5 y 4.6]

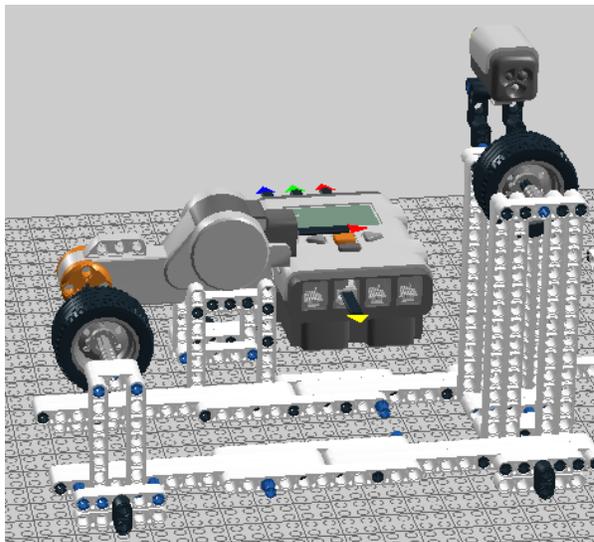


Figura 4.5: Elevador con sistema de verificación

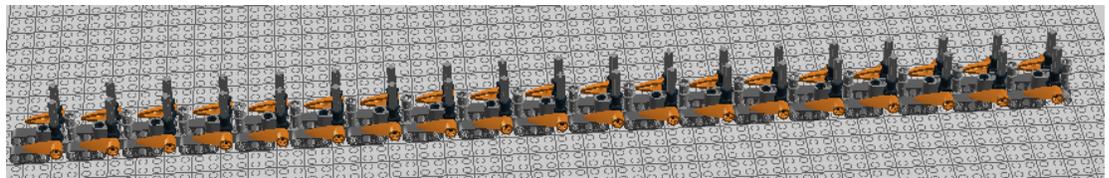


Figura 4.6: Banda del sistema elevador

#### 4.1.5 SISTEMA DE SELECCIÓN Y ALMACENES

Este dispositivo es el encargado de separar las bolas dependiendo de su color; las deposita en su respectivo almacén.

El sistema cuenta con un servomotor, la función es la de girar un determinado número de grados para un lado o para el otro y retornar a su posición normal. [Ver figura 4.7]

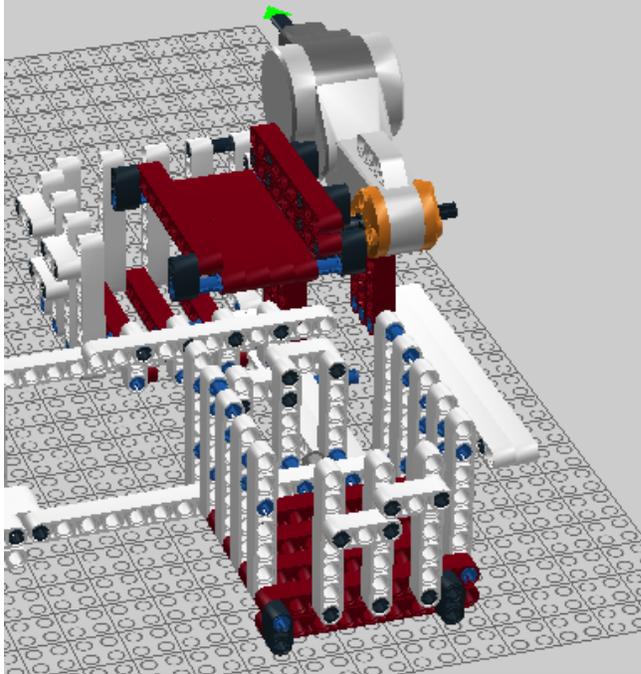


Figura 4.7: Sistema de selección y almacenes

## **4.2 DISEÑO DE CONTROL**

La parte de control se centra en los algoritmos constitutivos del software LEGO NXT 2.0, dicha programación se descarga a los bloques NXT y de esta forma cada módulo sigue la secuencia correspondiente.

### **4.2.1 Diseño de GRAFCET**

En la mayoría de los procesos automáticos y secuenciales, es de gran importancia diseñar un GRAFCET (gráfico, comando, etapa-transición), debido a que es un lenguaje moderno y sencillo de implementar, mediante el cual, un gran número de controladores son programados, sin embargo, los robots Mindstorms NXT 2.0 aún no están diseñados para ser programados mediante el lenguaje GRAFCET, no obstante, se decide diseñar el GRAFCET previamente a la programación para tener una visión más general del proceso y de esta forma facilitar la programación.

Como se mencionó en la sección 4.1, el proceso consta de dos cerebros NXT, por tanto, cada cerebro tiene una programación establecida. Los GRAFCET de los cerebros maestro-esclavo se muestran en la figura 4.8 y 4.9 respectivamente.

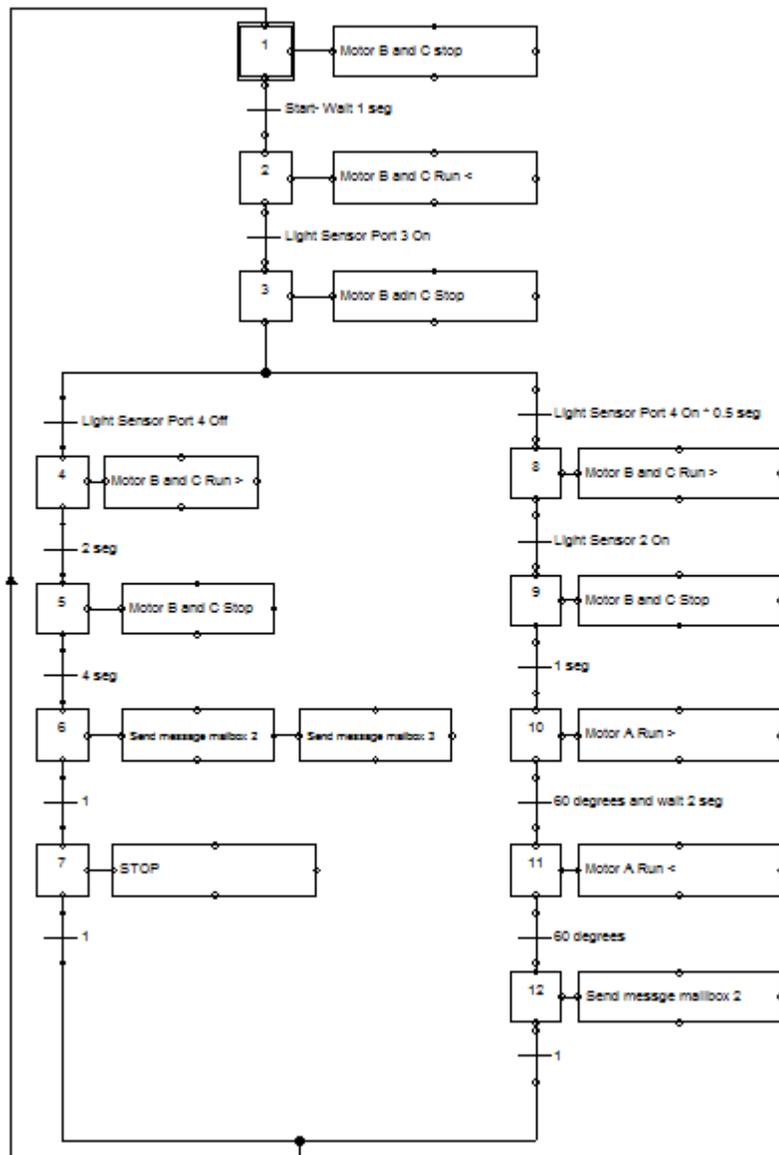


Figura 4.8: GRAFCET del controlador maestro

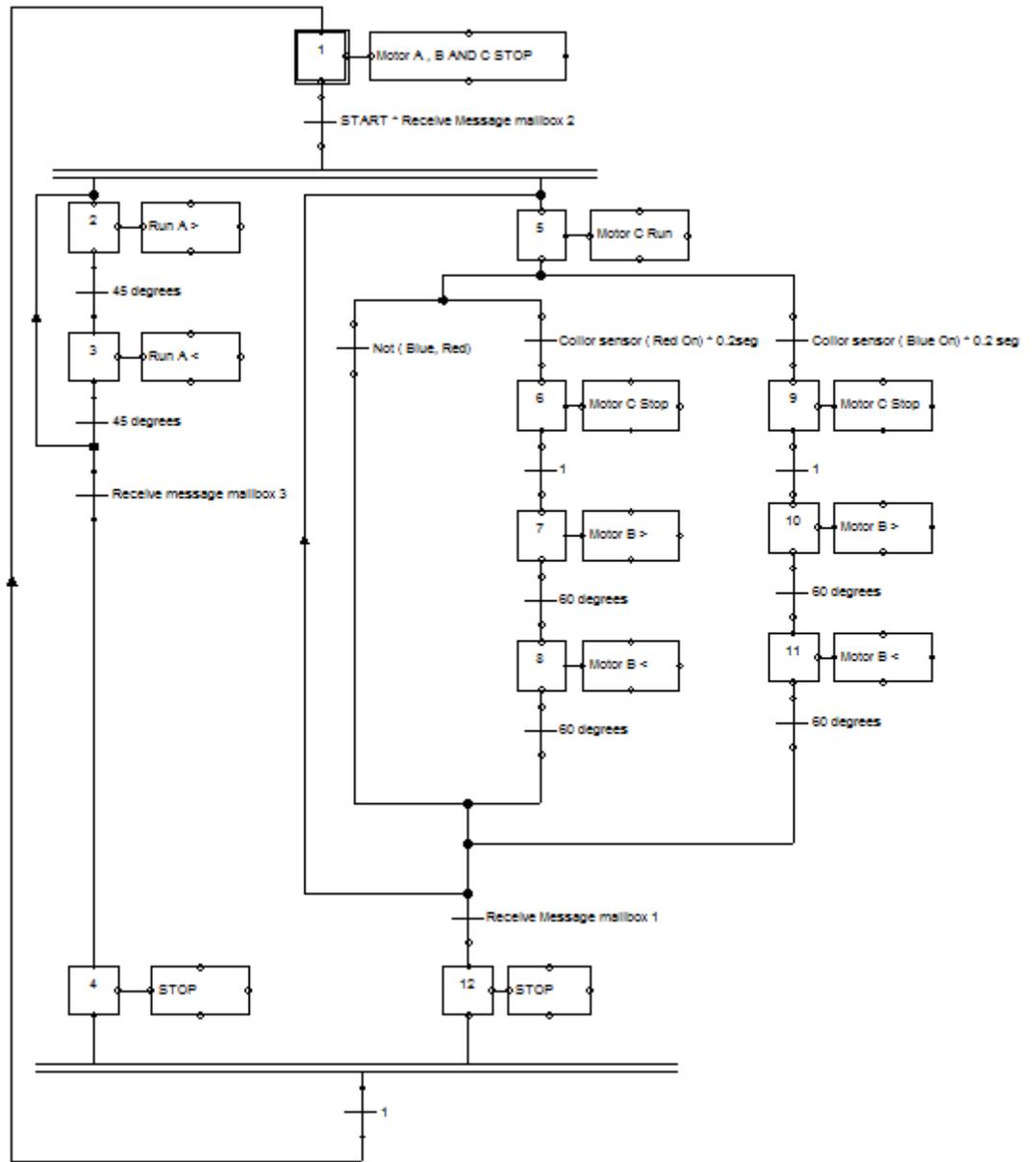


Figura 4.9: GRAFCET del controlador esclavo

## 4.2.2 Bloques utilizados en la programación

El software LEGO MINDSTORMS NXT 2.0, con el cual se implementó la programación, trabaja mediante un lenguaje muy gráfico, por esta razón, a continuación se muestran los bloques utilizados para la programación del módulo para celda de manufactura flexible con tecnología LEGO.

### - Acciones



Figura 4.10: Bloque de movimiento



Figura 4.11: Enviar mensaje

### - Sensores

De antemano, es necesario mencionar que los servomotores internamente tienen sensores de posición, lo cual fue de mucha ayuda en momentos en que se necesitó medir los grados de giro.



Figura 4.12: Sensor de luz



Figura 4.13: Sensor de color



Figura 4.14: Temporizador



Figura 4.15: Recibir mensaje

- Estructuras



Figura 4.16: Ciclo

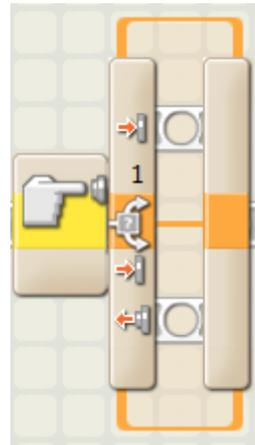


Figura 4.17: Condicional switch

## 5. COMPARATIVO ENTRE EL PROCESO CON LEGO MINDSTORMS NXT Y EL PROCESO DE LA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE

Como se mencionó en los capítulos anteriores, el proceso diseñado tuvo como base la celda de manufactura flexible del programa de mecatrónica, sin embargo, como son tecnologías diferentes, fue necesario tener presente las limitaciones de la tecnología Lego, que se presentaron en el capítulo 2.5, para que con base en estas se pudiera adecuar el proceso y se pudieran obtener resultados análogos al funcionamiento de los módulos que se seleccionaron de la celda de manufactura flexible.

Ambos procesos cuentan con un cerebro principal; un protocolo de comunicación; y sensores y actuadores dispuestos en cada uno de los módulos para tomar las respectivas acciones.

### 5.1 CONTROLADORES

Los controladores son la base de los procesos mecatrónicos, ya que estos son los encargados de almacenar y ejecutar el algoritmo de control. En la siguiente tabla se muestra un comparativo entre los controladores de las dos tecnologías.

<b>Controlador</b>	<b>PLC SIEMENS S7 300</b>	<b>BLOQUE NXT</b>
<b>Memoria</b>	192 KByte	256 Kb
<b>Número entradas</b>	24 digitales 4 análogas	4
<b>Número salidas</b>	16 digitales 2 análogas	3
<b>Unidad central</b>	CPU 314 2DP	ARM7 32 bits
<b>Posibles conexiones maestro-esclavo</b>	32 esclavos	3 esclavos
<b>Comunicación con el ordenador</b>	MPI	USB - Bluetooth
<b>Lenguaje de programación</b>	AWL, KOP, GRAFCET, FOP	C, JAVA, GRÁFICO

Tabla 5.1: Comparación de controladores

En la figura 5.1 se muestra el PLC S7 300 y en la figura 2.1 el cerebro Mindstorms NXT 2.0.

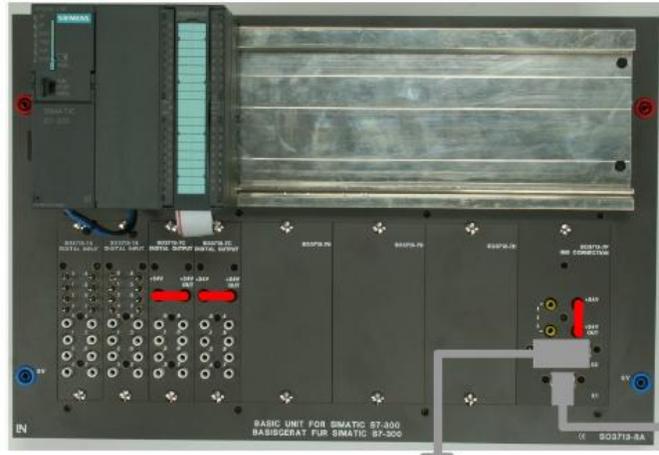


Figura 5.1: PLC S7 300 314 2DP

## 5.2 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Todo sistema que cuente con un controlador, debe tener un medio por el cual le comunique a las demás partes del mismo, qué acciones debe realizar. En el caso de la celda de manufactura y de los robots Lego, se cuenta con los siguientes:

	<b>Celda de manufactura</b>	<b>Robot Lego</b>
<b>Protocolo de comunicación</b>	Profibus	Bluetooth

Tabla 5.2: Protocolos de comunicación

- **Profibus**  
Profibus es un estándar de comunicaciones para buses de campo. Deriva de las palabras PROcess FieLd BUS [16].
- **Bluetooth**  
Bluetooth es una especificación industrial para redes inalámbrica de área personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz [17]. La principal finalidad de la comunicación bluetooth es facilitar el intercambio de datos entre dispositivos y eliminar los cables físicos.

### 5.3 DEPÓSITO

Los módulos de verificación y manipulación de la celda de manufactura flexible del programa de mecatrónica son anteceditos por dos módulos: separación y ensamblaje (Ver figuras 1.5 y 1.6), además, en la figura 1.11 se muestra su distribución. Con base en lo anterior, para el proceso diseñado con la tecnología Mindstorms NXT, fue necesario construir un depósito (Ver figura 4.1) que surta el proceso para que éste haga las veces de los módulos anteriormente mencionados.

### 5.4 SISTEMA DE TRANSPORTE (VOLQUETA)

En la celda de manufactura flexible, cada uno de los módulos cuenta con un sistema de transporte (banda transportadora), el cual es el encargado de transportar el producto entre las diferentes estaciones del proceso, por ésta razón, fue necesario diseñar un sistema de transporte el cual lleve el producto desde el depósito hasta los módulos de verificación y manipulación.

En la figura 5.2 se observa el sistema de transporte de la celda de manufactura.

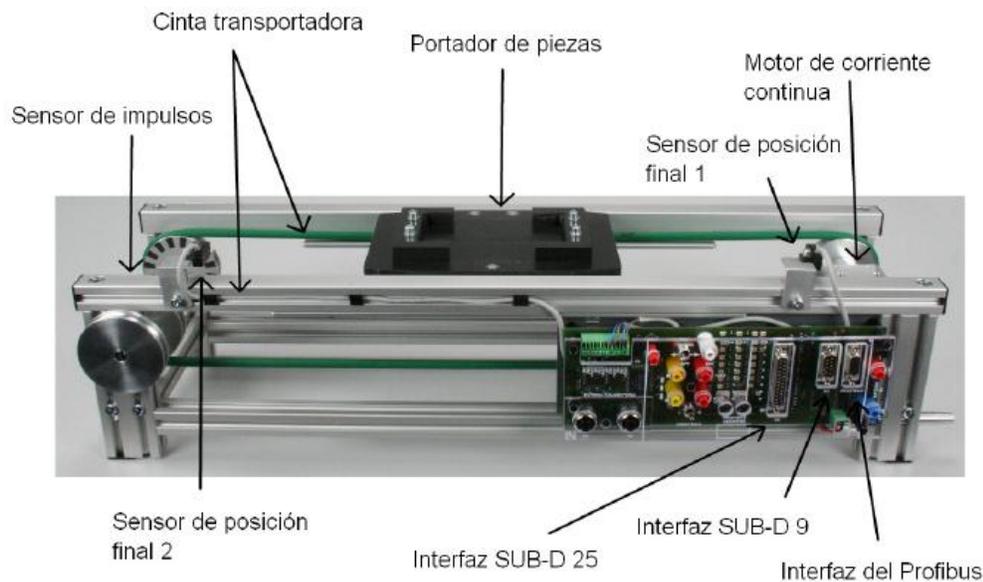


Figura 5.2: Sistema de transporte de la celda de manufactura [11]

De acuerdo a lo enunciado anteriormente y teniendo en cuenta que el diseño tuvo como base la celda de manufactura flexible, se decidió por implementar un sistema lo más análogo posible.

En la tabla 5.4 se puede observar el comparativo entre los dos sistemas de transporte.

### Funcionamiento

El sistema de transporte diseñado con los robots Lego (volqueta), funciona de la siguiente manera:

Cuando se inicia el proceso, la volqueta retrocede desde su punto de inicio hasta el punto donde se encuentra el depósito, esto lo hace con ayuda del sensor que se encuentra ubicado en la parte trasera del vehículo, ya que él detecta la marca de llegada y hace detener el vehículo. Después de un determinado tiempo, el vehículo arranca hasta que detecta la otra marca que está cerca de la tolva, esto lo hace con un sensor ubicado en la parte delantera.

Después, sube y baja el cajón para descargar el producto que recogió en el depósito. El proceso se repite indefinidamente siempre y cuando haya producto en el depósito.

	<b>Celda de manufactura</b>	<b>Lego Mindstorms NXT</b>
<b>Sensores</b>	2 de posición final y 1 de impulsos para la posición	3 de luz. 2 para posición final y 1 para verificar producto en el cajón.
<b>Actuadores</b>	1 motor DC para marcha hacia adelante y hacia atrás	3 servomotores. 2 para marcha adelante y atrás; 1 para levantar el cajón.
<b>Controlador</b>	Esclavo Lucas Nülle	Maestro I Lego Mindstorms NXT
<b>Comunicación</b>	Profibus - Cable sub D	Bluetooth – Cable UTP
<b>Largo x Ancho x Alto (mm)</b>	600 x 160 x 140	260 x 170 x 140

Tabla 5.4: Comparación de los sistemas de transporte

## **5.5 TOLVA**

En la celda de manufactura, los módulos de verificación y manipulación reciben el producto de forma ordenada. Debido a que el depósito y el vehículo de transporte suministran al resto del sistema más de un producto a la vez, se necesita de un sistema que permita corregir dicho problema; por eso se hace uso de la tolva (ver figuras 4.3 y 4.4), ya que ésta permite entregarle al elevador un solo producto a la vez y así solucionar el inconveniente.

## **5.6 MÓDULO DE VERIFICACIÓN**

Como se menciona en el capítulo 5.4, cada módulo cuenta con un sistema de transporte y una estructura con diversos sensores que se encargan de analizar diferentes variables del producto; por otra parte, la estación de verificación realizada con los robots Lego (ver figuras 4.5 y 4.6), consta de una estructura de transporte elevadora y un sensor que es el encargado de analizar la variable del producto (color).

De acuerdo a la tabla comparativa 5.6 y la figura 5.3, el módulo de verificación de la celda de manufactura cuenta con 5 sensores, de los cuales 2 (B7, B4: ópticos) son los que se encargan del reconocimiento de color (blanco o negro); es de aclarar que necesita dos sensores porque el producto consta de dos piezas, una inferior y otra superior. Otros dos sensores se encargan de la presencia del producto (B6: sensor capacitivo) y de la presencia del pasador metálico (B5: sensor inductivo), por último, el cilindro que detiene la paleta que transporta el producto tiene un sensor magnético de posición (B3).

En el caso del módulo con los Lego Mindstorms, se diseñó únicamente con un sensor de color, el cual cumple con el papel de 4 de los 5 sensores mencionados anteriormente. En primera instancia el sensor de color detecta un producto y hace parar el sistema de transporte; en este caso cumple con la función del sensor capacitivo y no es necesario el magnético. Después cumple con la función de los sensores ópticos, como el producto consta de una sola pieza (bola) se utiliza sólo un sensor que detecta el color. Por último, como el producto escogido (bola) no cuenta con diferentes materiales no es necesario el sensor inductivo. [Ver figura 5.3]

	<b>Celda de manufactura</b>	<b>Lego Mindstorms NXT</b>
<b>Sensores</b>	2 ópticos para detectar color inferior y superior (blanco, negro). 1 inductivo para presencia pasador metálico. 1 capacitivo para detectar producto.	1 sensor de color para detectar presencia de producto, detectar color del producto y hacer detener la banda.
<b>Actuadores</b>	1 Motor DC para sistema de transporte, válvula neumática 5/3 y cilindro doble efecto para parar el producto.	1 servomotor para sistema de transporte (elevador)
<b>Controlador</b>	Esclavo Lucas Nülle	Esclavo Lego Mindstorms NXT
<b>Comunicación</b>	Profibus - Cable sub D	Bluetooth – Cable UTP
<b>Largo x Ancho x Alto</b>	290 x 200 x 280	290 x 200 x 180

Tabla 5.6: Comparación de los módulos de verificación

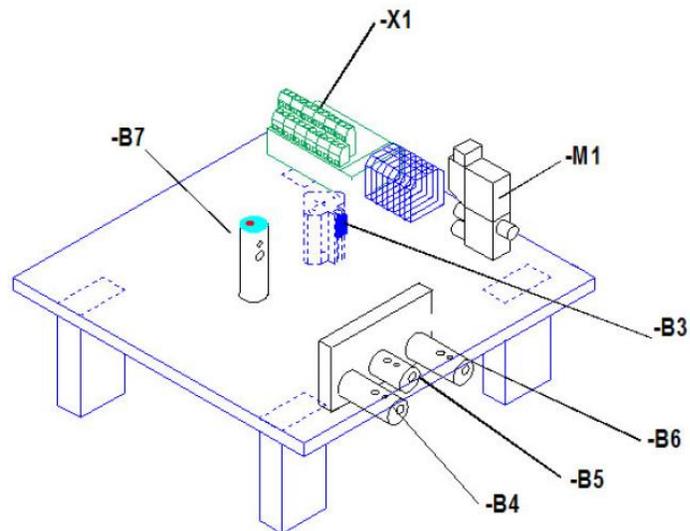


Figura 5.3: Módulo de verificación de la celda de manufactura [10]

## 5.7 MÓDULO DE MANIPULACIÓN

En el caso de la celda de manufactura, la estación de manipulación cuenta con una estructura de transporte (horizontal), y una estructura con un sistema de ventosas que se encargan de tomar el producto y pasarlo a otra parte del proceso, o simplemente lo deja continuar, la decisión depende de lo que el sistema de verificación analice del producto; por otra parte, la estación de manipulación realizada con los robots Lego, funciona con un servomotor que se encarga de girar cierto número de grados, para un lado o para el otro, eso depende de lo que el sensor ubicado en la estación de verificación determine.

De acuerdo a la tabla comparativa 5.7 y la figura 5.4, el módulo de manipulación de la celda de manufactura cuenta con 4 sensores, de los cuales 1 de ellos (B3) es el sensor magnético encargado de determinar la posición del cilindro de parada en posición superior; otros 2 (B4 y B5) son los sensores encargados de determinar la posición de la mesa pivotante (0°-90°); y el sensor restante (B6) es el encargado de determinar si hay presencia de vacío.

En el módulo realizado con los robots Lego Mindstorms NXT (Ver figura 4.7), no se hizo uso de sensores, ya que la recepción del producto en este módulo se da cuando la banda se detiene por orden del sensor de color posicionado en el módulo de verificación; el producto cae debido a que la banda se detiene inmediatamente después de llevar cierta velocidad, entonces por inercia el producto termina posicionado sobre el sistema selector. [Ver figura 5.4]

	<b>Celda de manufactura</b>	<b>Lego Mindstorms NXT</b>
<b>Sensores</b>	1 sensor magnético de cilindro de parada en posición superior, 2 sensores para determinar posición de mesa pivotante, 1 sensor para determinar presencia de vacío.	-
<b>Actuadores</b>	1 Motor DC para sistema de transporte, válvula neumática 5/3 y cilindro doble efecto para parar el producto. 1 cilindro doble efecto, 1 actuador neumático para girar	1 servomotor para girar un determinado número de grados la base en la que caen las bolas para ser seleccionadas.

	la mesa pivotante y 1 ventosas.	
<b>Controlador</b>	Esclavo Lucas Nülle	Esclavo Lego Mindstorms NXT
<b>Comunicación</b>	Profibus - Cable sub D	Bluetooth - Cable UTP
<b>Largo x Ancho x Alto</b>	260 x 235 x 540	120 x 220 x 110

Tabla 5.7: Comparación de los módulos de manipulación

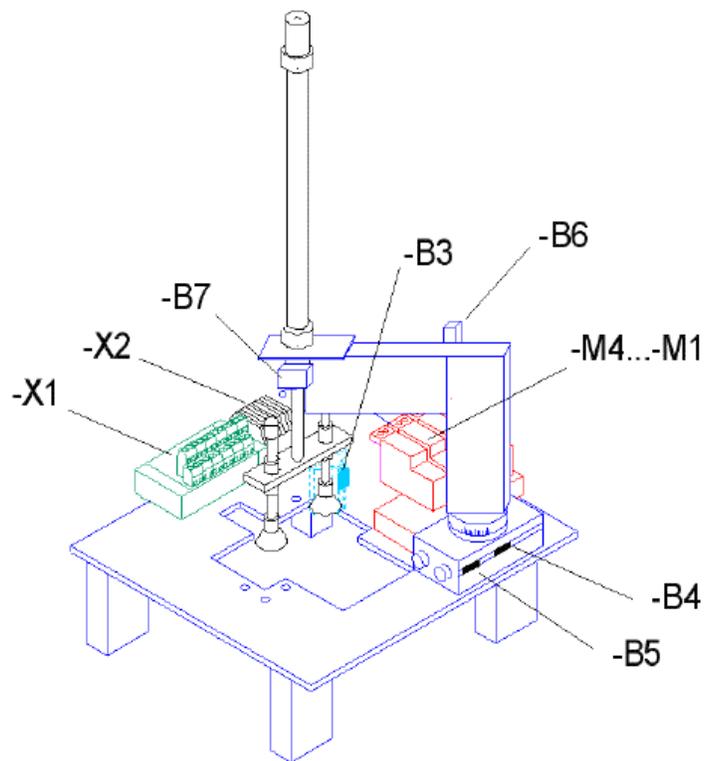


Figura 5.4: Módulo de manipulación de la celda de manufactura [11]

## 6. ANEXOS

### 6.1 ANEXO 1 (Prototipo depósito de producto)



Figura 6.1: Prototipo del depósito de producto

### 6.2 ANEXO 2 (Prototipo sistema de transporte)

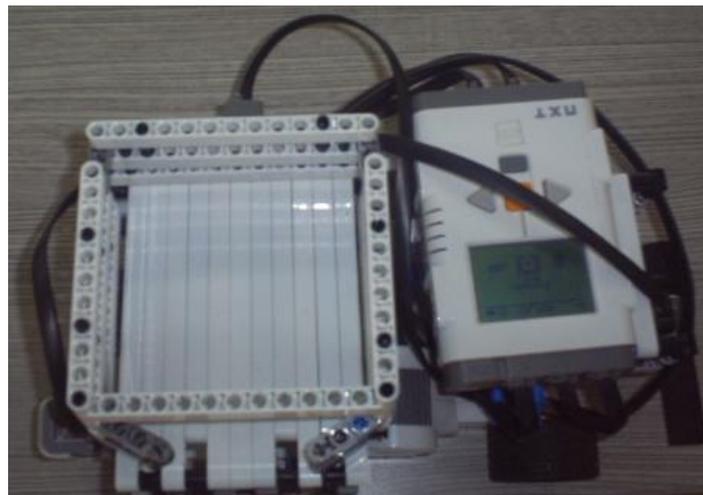


Figura 6.2: Vista superior del prototipo sistema de transporte



Figura 6.3: Vista lateral del prototipo sistema de transporte

### 6.3 ANEXO 3 (Prototipo tolva de alimentación)

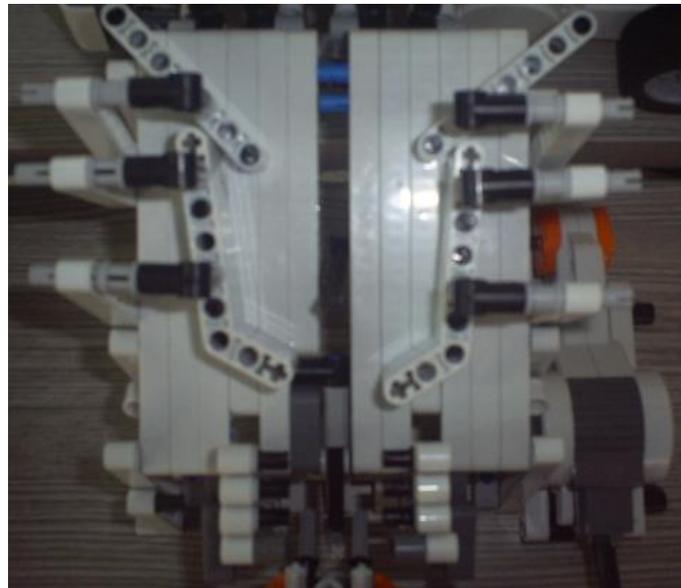


Figura 6.4: Prototipo tolva de alimentación

#### 6.4 ANEXO 4 (Prototipo módulo de verificación)

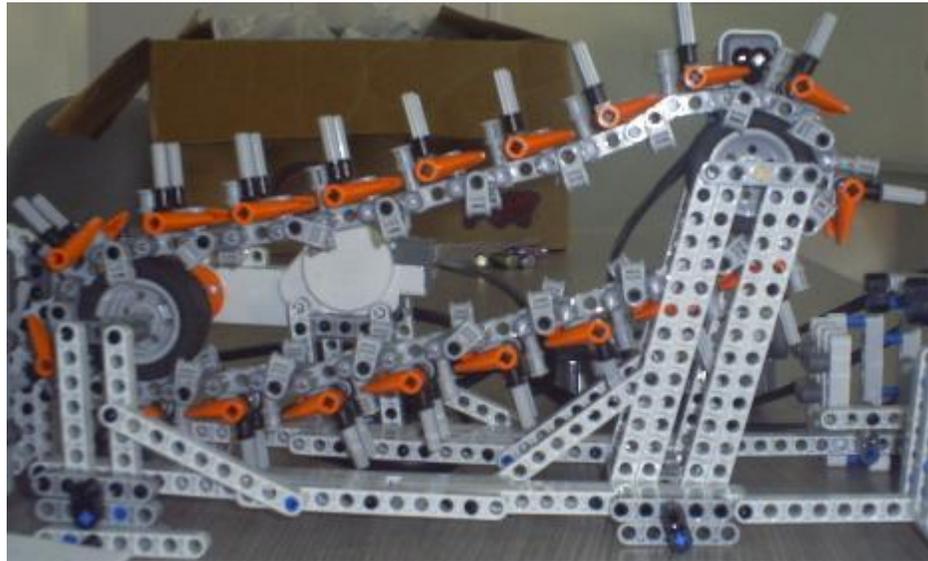


Figura 6.5: Prototipo módulo de verificación

#### 6.5 ANEXO 5 (Prototipo módulo de manipulación)

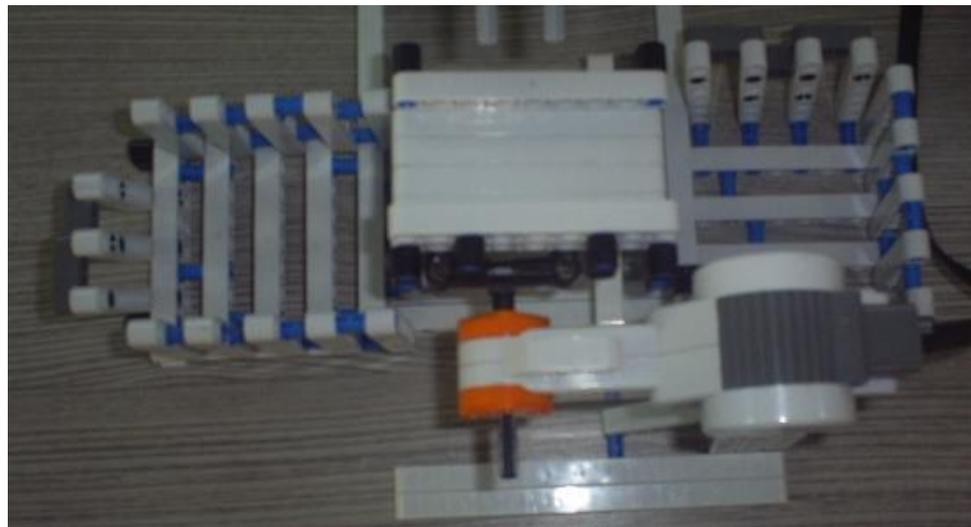


Figura 6.6: Prototipo módulo de manipulación

## 6.6 ANEXO 6 (Prototipo de módulo para celda de manufactura con tecnología Lego Mindstorms NXT)



Figura 6.7: Prototipo sistema completo

## 7. CONCLUSIONES

En el campo de la Mécatrónica existen diferentes herramientas para su aprendizaje, una de tantas son los robots LEGO Mindstorms NXT, de los cuales el programa de Ingeniería Mecatrónica cuenta con una cantidad considerable para su uso, dicha tecnología fue la base del presente trabajo y del cual se puede concluir que:

- Se adecuó la tecnología LEGO en la elaboración de módulos para celda de manufactura flexible.
- Con la tecnología Lego Mindstorms NXT es posible implementar celdas de manufactura flexible como la que se encuentra en el laboratorio del programa de Mecatrónica por ciclos propedéuticos. Además, se garantiza un enfoque multidisciplinario diseñando y construyendo estos módulos para celdas de manufactura flexible, ya que es necesario asignaturas como (programación, diseño asistido por computador, procesos de manufactura, procesamiento de imágenes, circuitos, entre otras).
- Teniendo en cuenta las limitaciones de la tecnología, se diseñaron satisfactoriamente los módulos seleccionados.
- Sin la presencia de la comunicación bluetooth, no hubiera sido posible diseñar e interconectar los módulos seleccionados.
- El proceso diseñado cuenta con un alto grado de flexibilidad, ya que puede ser reprogramado para productos (bolas) de diferentes colores.
- Se utilizaron satisfactoriamente los software para el diseño mecánico y para la parte de control.
- Se realizó una adecuada distribución de las sub-estaciones realizadas con los robots Lego, de esta forma se puede apreciar que el proceso funciona correctamente y está abierto a posibles modificaciones.
- Se despertó el interés y la apreciación del proyecto por parte de miembros de la comunidad estudiantil y docentes del programa, lo cual genera satisfacción por la labor realizada.

- Se comprendió la importancia que tienen las celdas de manufactura para la actualidad de las industrias, ya que se pudo observar la reducción de tiempos muertos, la mejora de calidad y la importancia que tiene una buena distribución de las estaciones de la celda.
- Se comparte con los estudiantes que apenas están empezando con la carrera la importancia de las celdas de manufactura y la interacción con diferentes tecnologías.

## 8. RECOMENDACIONES

- Modificar la parte frontal de los sensores de luz y de color, ya que son demasiado sensibles a la luz del ambiente, por lo que cada que se presentan variaciones en ésta, toca recalibrar los sensores para que puedan funcionar adecuadamente.
- Realizar modificaciones en el software Lego Digital Designer en la parte del posicionamiento de las piezas, ya que sólo permite posicionarlas en ángulos rectos, lo que es un problema a la hora de posicionar piezas en diagonal. Además, debería contar con una aplicación que permita hacer simulaciones de los diseños para poder analizar el funcionamiento y otra que permita analizar el esfuerzo que se presenta en las piezas del mismo.
- Acondicionar sistemas de baterías recargables a los robots Lego, de forma que sea más factible realizar las pruebas necesarias cuando se están realizando los algoritmos.
- Analizar la posibilidad de rediseñar los cables de conexión de sensores y actuadores con el bloque NXT, que sean más elásticos, ya que en algunas ocasiones resulta un poco complejo acomodarlos en el diseño que se quiere realizar y obstaculiza o interfiere con otras partes del diseño.
- Debido a que el programa de Mecatrónica está estrechamente relacionado con el diseño asistido por computador (CAD), se recomienda en un curso de CAD proponer a los estudiantes replicar en una librería, todas las piezas de los Lego Mindstorms NXT y de esta forma se facilitarían los diseños y simulaciones futuras.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] HEISE Ryan. Researchers use Lego to help build artificial bones. Marzo 2012, Tomado el 25 de Noviembre de 2012. [En línea]. (<http://www.theverge.com/2012/3/16/2876589/lego-mindstorms-artificial-bone-cambridge-university>)
- [2] PEREYRA Lucas. Robótica en el Agro. Junio de 2013, Tomado el 28 Julio de 2013. [En línea]. (<http://lucaspereyarojas.blogspot.com/>)
- [3] CORRECHA Ángela. Distribución de planta. Septiembre 2010, Tomado el 5 Agosto de 2013. [En línea]. (<http://produccionmisena.blogspot.com/>)
- [4] JACKSON. Tornos. Septiembre de 2008, Tomado el 4 de Agosto de 2013. [En línea]. (<http://mecatorno.blogspot.com/2008/09/torno-paralelo-torno-revolver-torno.html>)
- [5] CH. Luis Hernesto. Flujo Continuo. Abril de 2011, Tomado el 5 de Agosto de 2013. [En línea]. (<http://ingenieriaindustrialcupei.blogspot.com/2011/04/temas-selectos-de-manufactura-4-flujo.html>)
- [6] MINAYA V. Roberto. Lean manufacturing. Junio de 2013, Tomado el 5 Agosto de 2013. [En línea]. ([http://senseilean.blogspot.com/2013\\_06\\_01\\_archive.html](http://senseilean.blogspot.com/2013_06_01_archive.html))
- [7] ANAHUAC. Instituto de estudios superiores de Tamaulipas. Laboratorio integrado de manufactura. 2002, Tomado el 5 de Agosto de 2013. [En línea]. ([http://www.iest.edu.mx/iest/instalaciones/tampico/laboratorio\\_integrado/index.php](http://www.iest.edu.mx/iest/instalaciones/tampico/laboratorio_integrado/index.php))
- [8] Dr. N. Becker. Manual. Lucas Nulle. Mecatrónica 3: Subsistema de separación. Versión 2.0. 46 páginas. 2007, Tomado el 5 Agosto de 2013, pág.: 9
- [9] Dr. N. Becker. Manual. Lucas Nulle. Mecatrónica 4: Subsistema de Montaje. Versión 2.0. 48 páginas. 2007, Tomado el 5 Agosto de 2013, pág.: 9

- [10] Dr. N. Becker. Manual. Lucas Nulle. Mecatrónica 6: Subsistema de Verificación. Versión 2.0. 52 páginas. 2007, Tomado el 5 Agosto de 2013, pág.: 9
- [11] Dr. N. Becker. Manual. Lucas Nulle. Mecatrónica 7: Subsistema de Manipulación. Versión 2.0. 58 páginas. 2007, Tomado el 5 Agosto de 2013, pág.: 9
- [12] Dr. N. Becker. Manual. Lucas Nulle. Mecatrónica 8: Subsistema de Almacenamiento. Versión 2.0. 110 páginas. 2007, Tomado el 5 Agosto de 2013, pág.: 110
- [13] NAGLIC Marijan. Lucas Nulle. Image Processing system. Versión. 34 páginas. 2007, Tomado el 5 Agosto de 2013, pág.: 9
- [14] EDUBRICK. Guía Lego. 32 páginas. 2008, Tomado el 7 Agosto de 2013. [En línea]. ([ftp://www.cc.uah.es/pub/Alumnos/MFP\\_Dise%F1o/guia\\_lego\\_edubrick.pdf](ftp://www.cc.uah.es/pub/Alumnos/MFP_Dise%F1o/guia_lego_edubrick.pdf))
- [15] RFID POINT. El aeropuerto internacional de Hong Kong utiliza etiquetas de RFID para realizar el seguimiento de 40.000 equipajes diarios. Julio de 2009, Tomado el 10 de Agosto de 2013. [En línea]. (<http://www.rfidpoint.com/noticias/el-aeropuerto-internacional-de-hong-kong-utiliza-etiquetas-de-rfid-para-realizar-el-seguimiento-de-40000-equipajes-diarios/>)
- [16] Wikipedia la enciclopedia libre. Profibus. Septiembre de 2013 Tomado el 25 de septiembre de 2013. [En línea]. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Profibus>)
- [17] Wikipedia la enciclopedia libre. Bluetooth. Septiembre de 2013 Tomado el 25 de septiembre de 2013. [En línea]. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>)