



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

**“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL PALETIZADO DE CAJAS DE PRODUCTO TERMINADO, EMPLEANDO ROBOTSTUDIO® PARA LA SIMULACIÓN DE UN ROBOT INDUSTRIAL IRB460® DE LA MARCA ABB®”**

TRABAJO TERMINAL

QUE PARA OBTENER SU TÍTULO DE:

**INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

PRESENTAN:

**AVILÉS TREJO ALBERTO  
ESPINOSA RAMÍREZ CARLOS ISAAC  
REYES SAMANO ALFREDO**

ASESORES DEL TRABAJO TERMINAL

ING. SAÚL GUTIÉRREZ VÁZQUEZ

ING. HUMBERTO SOTO RAMÍREZ



MÉXICO D.F.

NOVIMBRE 2012

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**TEMA DE TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACION  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL  
DEBERA(N) DESARROLLAR

C. ALBERTO AVILÉS TREJO  
C. CARLOS ISAAC ESPINOSA RAMÍREZ  
C. ALFREDO REYES SAMANO

**“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL PALETIZADO DE CAJAS DE PRODUCTO  
TERMINADO, EMPLEADO ROBOTSTUDIO PARA LA SIMULACIÓN DE UN ROBOT  
INDUSTRIAL IRB460DE LA MARCA ABB”**

REALIZAR UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PALETIZADO DE CAJAS SIMULANDO LA CELDA DE  
MANUFACTURA EN ROBOTSTUDIO PARA EL FLUJO DEL PRODUCTO TERMINADO MÁS EFICIENTE, SEGURO,  
SIMPLE Y RÁPIDO.

- MARCO REFERENCIAL.
- PLANTAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL.
- SOLUCIÓN DE INGENIERÍA.

MÉXICO D. F., A 15 DE AGOSTO DE 2013.

ASEORES

ING. HUMBERTO SOTO RAMÍREZ

ING. SAÚL GUTIÉRREZ VÁZQUEZ

DRA. BLANCA MARGARITA CROA GALVÁN  
JEFA DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE  
INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN





## Contenido

Lista de Figuras .....	5
Lista de Tablas .....	11
Lista de Siglas.....	12
Objetivo General .....	13
Objetivo Específico .....	13
Introducción .....	13
Justificación .....	14
Planteamiento del Problema.....	15
Hipótesis.....	16
Delimitación del Tema.....	16
Planteamiento General del Trabajo a Desarrollar.....	17
Cronograma de Actividades .....	18
Estado del Arte .....	19
CAPÍTULO 1: MARCO REFERENCIAL .....	26
1.1 Automatización .....	26
1.2 Tecnologías de Automatización .....	27
1.2.1 Robótica.....	27
1.2.2 Sensores .....	32
1.2.3 Neumática .....	38
1.2.4 Técnica de Vacío .....	39
1.2.5 Bandas Transportadoras en Celdas Robotizadas .....	41
1.3 Paletizado .....	45
1.3.1 Paletizado Manual.....	46
1.3.2 Paletizado Automático .....	57
1.3.3 Paletizadores Convencionales.....	58
1.3.4 Celdas Robotizadas.....	61
1.3.5 Comparación entre una Celda Robotizada y una Maquina de Paletizado Convencional .....	62



1.4 Herramientas CAD/CAM.....	63
1.4.1 AutoCAD® .....	64
1.4.2 SolidWorks® .....	64
1.4.3 Laboratorios Virtuales .....	65
1.5 Instrucciones Básicas que se Emplean para la Elaboración de un Programa de Paletizado en RobotStudio® mediante Programación Off-line .....	71
1.5.1 Procedimiento para la Programación de un Proceso de Paletizado en RobotStudio® .....	72
1.5.2 Conocimiento del Entorno de RobotStudio® .....	72
1.5.3 Obtención de un Robot como Geometría .....	75
1.5.4 Sistemas de Coordenadas en RobotStudio® .....	76
1.5.5 Importar Modelos 3D a RobotStudio® .....	77
1.5.6 Herramientas para Posicionamiento de Objetos en RS .....	77
1.5.7 Creación de una Herramienta (Tool) Propia en RS.....	85
1.5.8 Creación de Objetos de Trabajo ( <i>Workobjects</i> ) .....	87
1.5.9 Modos de Selección de Sólidos y Referencias ( <i>Snaps</i> ) .....	90
1.5.10 Creación de un Objetivo (Target) en RS .....	91
1.5.11 Modificar la Posición de un Target.....	93
1.5.12 Creación de una Trayectoria (Path).....	94
1.5.13 Creación de Instrucciones de Movimiento en RS.....	95
1.5.14 Modificar una Instrucción de Movimiento.....	95
1.5.15 Auto-Configuración de Targets .....	96
1.5.16 Ver robot en Objetivo (View Robot at Target) .....	97
1.5.17 Ver el Gripper en un Objetivo (View Tool at Target).....	97
1.5.18 <i>Move Along Path</i> (Moverse a Través de la Trayectoria) .....	98
1.5.19 Sincronizar con el Controlador Virtual .....	99
1.5.20 Acceso al Código RAPID.....	99
1.5.21 Dar de Alta Tarjetas de I/O dentro del Controlador.....	100
1.5.22 Dar de alta Señales Digitales dentro del Controlador .....	103
1.5.23 Generación de Eventos para Simulación en RS.....	105
1.5.24 Simulación en RS .....	113
1.6 Seguridad en las Celdas Robotizadas de Paletizado.....	116



CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL .....	118
2.1 Diagrama de Bloques del Sistema de Producción de la Planta .....	118
2.2 Layout de la Planta de Producción de Galletas .....	121
2.3 Descripción del Proceso del Paletizado Manual.....	121
2.4 Aspectos Importantes de la Problemática Detectada.....	128
2.5 Análisis de Viabilidad .....	130
CAPÍTULO 3: SOLUCIÓN DE INGENIERÍA .....	132
3.1 Filosofía de Operación del Sistema a Automatizar .....	132
3.2 Alternativas de Solución.....	133
3.3 Selección de Dispositivos.....	136
3.3.1 Selección del Gripper.....	137
3.3.2 Selección del Robot .....	141
3.3.3 Selección del Controlador del Brazo Robótico .....	145
3.3.4 Selección del Pedestal del Robot .....	148
3.3.5 Selección del Compresor .....	149
3.3.6 Selección de Bandas Transportadoras (Infeeders y Outfeeders) para Palets .....	150
3.3.7 Selección de Sensores para las Bandas Transportadoras.....	152
3.3.8 Selección de Fuentes de Alimentación.....	153
3.4 Integración y Distribución de Dispositivos en la Celda de Paletizado.....	154
3.4.1 Instalación del Robot.....	154
3.4.2 Tierra Eléctrica de Dispositivos.....	154
3.4.3 Disposición Final de Equipos Instalados.....	154
3.5 Programación del Paletizado en RobotStudio® .....	155
3.5.1 Creando un Nuevo Mecanismo de Herramienta .....	159
3.5.2 Definición de Zonas del Gripper de Vacío .....	181
3.5.3 Creación de una Nueva Tool en el Paletizado Automático .....	186
3.5.4 Creación de Workobjects dentro de la Celda de Paletizado .....	190
3.5.5 Generación de Paths&Targets para la Celda de Paletizado Automático .....	190
3.5.6 Generación de Eventos, Señales Digitales y Tarjetas Virtuales en la Celda de Paletizado Automático.....	196
3.5.7 Lógica del Programa del Paletizado Automático.....	202



3.6 La Seguridad en el Sistema de Paletizado Automático .....	215
3.7 Método de Evaluación de Riesgos para Protección del Personal.....	216
3.8 Selección de Dispositivos de Seguridad .....	219
3.8.1 Selección de Guardas de Seguridad .....	219
3.8.2 Selección de las Cortinas de Luz.....	219
3.8.3 Selección de los Botones de Paro de Emergencia.....	222
3.9 Integración y Distribución de Dispositivos y Elementos de Seguridad en la Celda de Paletizado..	224
3.9.1 Guardas de Seguridad .....	224
3.9.2 Localización del Controlador .....	225
3.9.3 Botones de Paro .....	226
3.9.4 Cortinas de Luz de Seguridad .....	227
3.10 Filosofía de Operación de la Celda Robotizada .....	228
3.11 Propuesta Económica.....	229
3.12 Repercusiones Generadas por la Automatización del Paletizado.....	233
Resultados .....	234
Conclusiones.....	235
Anexo A - Layouts.....	240
Anexo B – Hojas de Datos Técnicas y Cotizaciones.....	245
Anexo C – Norma ANSI/RIA R15.06-1999.....	260
Anexo D – Código RAPID de la simulación .....	272
Glosario .....	292
Referencia bibliográfica.....	301



## **Lista de Figuras**

Figura i	Primer robot de la marca ASEA, vendido creado en 1973 y vendido por primera vez en 1974.	21
Figura ii	Robot IRB 60 creado en 1979.....	21
Figura iii	Robot IRB 2000, el primero en manejar motores de CA, en el mercado.	22
Figura iv	Atomizador de pintura electrostática para robot, marca Ransburg Automotive.	22
Figura v	Robot IRB 6000, el más rápido y preciso a principios de los 90's.	23
Figura vi	Muñeca hueca para robots de pintura.	23
Figura vii	Robot 360-1/1130, fotografía tomada en el evento Expo-Pack México, Junio 2012.	23
Figura viii	Robot IRB 6600, primero en hacer un arco hacia atrás.	24
Figura ix	La 5° generación de controladores, IRC5, le dan al robot más precisión, velocidad, tiempo de ciclo, programabilidad y sincronización con dispositivos externos.	24
Figura x	Nuevos modelos de robots ABB® disponibles en el 2005.	25
Figura xi	El robot más pequeño de ABB®, IRB 120, se utiliza principalmente para el manejo de materiales y soporta cargas de hasta 3 Kg.	25
Figura 1. 1	Articulaciones de un robot industrial .....	30
Figura 1. 2	Tipos de articulaciones y sus respectivos grados de libertad.	31
Figura 1. 3	Sensor fotoeléctrico de proximidad.	35
Figura 1. 4	Símbolo característico en catálogos del sensor fotoeléctrico de proximidad.....	35
Figura 1. 5	Sensor fotoeléctrico de proximidad con BGS Back Ground Supression (supresión de fondo).	36
Figura 1. 6	Símbolo característico en catálogos del sensor de proximidad con BGS.	36
Figura 1. 7	Sensor fotoeléctrico retro-reflectivo.	37
Figura 1. 8	Símbolo del Sensor retro-reflectivo.	37
Figura 1. 9	Esquema de un sensor con auto-colimación.	38
Figura 1. 10	Tobera de aspiración.	40
Figura 1. 11	Ejemplo de ventosas industriales .....	40
Figura 1. 12	Modelo simple de causa de accidentes .....	48
Figura 1. 13	Riesgos derivados de la manipulación manual de cargas .....	50
Figura 1. 14	Distribución de la forma en que se produjeron los accidentes .....	52
Figura 1. 15	Importancia de las lesiones músculo-esqueléticas en relación con el total de lesiones .....	53
Figura 1. 16	Importancia de las lesiones en la región lumbar en relación a otras partes del cuerpo lesionadas.	54
Figura 1. 17	Fotografía del almacén de una empresa maquiladora de plásticos.	55
Figura 1. 18	Afueras del almacén de una empresa maquiladora de plásticos.	56
Figura 1. 19	Paletizador convencional de sacos .....	58
Figura 1. 20	Paletizadora por empuje lateral del saco.	59
Figura 1. 21	Paletizador convencional por grapa.	60
Figura 1. 22	Paletizador convencional.	60
Figura 1. 23	Paletizador robótico .....	62



Figura 1. 24 Ícono del Programa RS .....	72
Figura 1. 25 Creando nueva estación de trabajo.....	73
Figura 1. 26 Entorno gráfico de RobotStudio® .....	73
Figura 1. 27 Opción Pack and Go permite abrir proyectos desde otras estaciones de trabajo. ....	74
Figura 1. 28 Importar un robot como geometría en RS.....	75
Figura 1. 29 Sistemas de coordenadas en RS. ....	76
Figura 1. 30 Tipos de movimiento disponibles en RobotStudio® .....	77
Figura 1. 31 Movimiento lineal.....	78
Figura 1. 32 Movimiento rotacional.....	78
Figura 1. 33 Movimiento por junta. ....	79
Figura 1. 34 Movimiento lineal para un robot.....	79
Figura 1. 35 Movimiento en reorientación para un robot.....	80
Figura 1. 36 Operación para Set Local Origin. ....	81
Figura 1. 37 Ingresar nuevas coordenadas para el origen local del objeto. ....	81
Figura 1. 38 Función Set Position... ..	82
Figura 1. 39 Ingresar nuevas coordenadas de la posición el objeto. ....	83
Figura 1. 40 Ventana para crear obtener un robot como sistema, a partir de una distribución de sólidos. .	83
Figura 1. 41 Ubicación para crear un nuevo sistema de robot. ....	84
Figura 1. 42 Seleccionando robot geometría, para convertirlo en sistema. ....	84
Figura 1. 43 Finalizar la conversión. ....	85
Figura 1. 44 Sistema robótico con el controlador detectado. ....	85
Figura 1. 45 Creación de una nueva tool en RS .....	86
Figura 1. 46 Creación de una nueva tool en RS .....	86
Figura 1. 47 Nuevo TCP llamado “Tool data_1”.....	87
Figura 1. 48 Creación de un Workobject.....	88
Figura 1. 49 Ventana para crear un Workobject.....	88
Figura 1. 50 Cuadro para definir coordenadas de un nuevo Workobject. ....	89
Figura 1. 51 Definición de Workobjects por el método de tres puntos. ....	89
Figura 1. 52 Menú para modos de selección de sólidos en RobotStudio® .....	90
Figura 1. 53 Menú para selección del tipo de referencia ó snap en RobotStudio® .....	90
Figura 1. 54 Workobject seleccionado al crear un target. ....	91
Figura 1. 55 Creando nuevo target. ....	91
Figura 1. 56 Creación de un Target o “objetivo”. ....	92
Figura 1. 57 Nuevo target se muestra s dentro de la pestaña de Home, dentro del árbol de proyecto Paths&Targets, en la rama de Workobjects & Targets. ....	92
Figura 1. 58 Robot posicionado en un target creado. ....	92
Figura 1. 59 Cambiar la posición del target. ....	93
Figura 1. 60 Target modificado. ....	94
Figura 1. 61 Crear nuevo path.....	94
Figura 1. 62 Nuevo path creado .....	95



Figura 1. 63 Como ir creando las instrucciones de <i>move</i> .....	95
Figura 1. 64 Ventana donde se modifican las propiedades de una instrucción de movimiento.....	96
Figura 1. 65 Autoconfiguración de los targets que indican una advertencia.....	97
Figura 1. 66 Habilitar el modo <i>View Robot at Target</i> .....	97
Figura 1. 67 Operación <i>Move Along Path</i> .....	98
Figura 1. 68 Función <i>Synchronize to VC</i> .....	99
Figura 1. 69 Ubicación del programa principal en código fuente RAPID. ....	99
Figura 1. 70 Ventana que contiene el código fuente RAPID. ....	100
Figura 1. 71 Programa principal.....	100
Figura 1. 72 Menú I/O Configuration Editor.....	101
Figura 1. 73 Dar de alta una nueva tarjeta en el controlador.....	101
Figura 1. 74 Ventana para configuración de una nueva tarjeta .....	102
Figura 1. 75 Ventana advertencia de <i>warm-restarted</i> .....	102
Figura 1. 76 Dar de alta una nueva señal digital para una tarjeta de I/O.....	103
Figura 1. 77 Dar de alta una salida digital.....	104
Figura 1. 78 Dar de alta una entrada digital. ....	104
Figura 1. 79 Ventana de advertencia <i>warm-restarted</i> .....	105
Figura 1. 80 Opción de <i>Restart</i> (Re-iniciar), para actualizar tarjetas y señales nuevas. ....	105
Figura 1. 81 Ícono para desplegar el <i>Event Manager</i> .....	106
Figura 1. 82 Ventana <i>Event Manager</i> . ....	106
Figura 1. 83 Asignación de señal al evento.....	107
Figura 1. 84 Ventana para <i>Trigger Condition</i> .....	107
Figura 1. 85 Posibles acciones para un evento.....	108
Figura 1. 86 Objeto al que se aplicará la acción del evento. ....	108
Figura 1. 87 Configuración de evento .....	109
Figura 1. 88 Configurar el estado de 0 mediante otro evento para la acción <i>detach</i> .....	110
Figura 1. 89 Elegir función <i>detach</i> .....	110
Figura 1. 90 Elegir objeto a adjuntar y objeto al que se le adjuntará al momento de activar el evento. ..	111
Figura 1. 91 Opción <i>Refresh</i> , para actualizar los eventos creados en el <i>EventManager</i> .....	111
Figura 1. 92 Insertar una instrucción de acción.....	112
Figura 1. 93 Ventana para crear una instrucción de acción en RobotStudio® .....	112
Figura 1. 94 Creando un evento nuevo.....	113
Figura 1. 95 Función de pantalla I/O Simulator. ....	114
Figura 1. 96 I/O Simulator. ....	114
Figura 1. 97 Indicador que muestra el estado de la señal, anaranjado=1, gris=0.....	115
Figura 1. 98 Opción <i>Simulation Setup</i> .....	115
Figura 1. 99 Simulation Setup.....	116
Figura 2. 1 Diagrama de bloques del sistema de producción de la empresa. ....	120
Figura 2. 2 Cama 1, cajas chicas. ....	123
Figura 2. 3 Isométrico de la cama 1, cajas chicas. ....	123



Figura 2. 4 Cama 2, cajas chicas.....	123
Figura 2. 5 Isométrico de la cama 2, cajas chicas.....	124
Figura 2. 6 Cama 1, cajas grandes.....	124
Figura 2. 7 Isométrico de la cama 1, cajas grandes.....	125
Figura 2. 8 Cama 2, cajas grandes.....	125
Figura 2. 9 Isométrico de la cama 2, cajas grandes.....	125
Figura 2. 10 Modelo del sistema actual en SolidWorks®.....	126
Figura 2. 11 Grafcet descriptivo del sistema actual.....	127
Figura 3. 1 Estructura típica de los elementos que conforman un robot industrial, aplicado a cualquier tipo de aplicación.....	136
Figura 3. 2 FlexGripper de tipo vacío de ABB®.....	139
Figura 3. 3 Brazo robótico modelo IRB460® de ABB®.....	144
Figura 3. 4 Controlador IRC5 de ABB®.....	146
Figura 3. 5 FlexPendant de ABB®.....	147
Figura 3. 6 Muestra la distribución final de equipos.....	154
Figura 3. 7 Muestra la distribución final de equipos.....	155
Figura 3. 8 Amarres de camas que tendrá que realizar el robot.....	155
Figura 3. 9 Creando nueva estación.....	157
Figura 3. 10 Importando el robot como geometría en RobotStudio®.....	158
Figura 3. 11 Ventana de selección de modelo de robot.....	158
Figura 3. 12 Pestaña de Modeling, donde se observan las pestañas desplegables de las partes del gripper, indicando que éste se conformaba de muchos cuerpos.....	159
Figura 3. 13 Creación de una parte.....	160
Figura 3. 14 Haciendo invisible el robot.....	160
Figura 3. 15 Parte que será la base del gripper.....	161
Figura 3. 16 Pinza 1.....	161
Figura 3. 17 Pinza 2.....	162
Figura 3. 18 Eliminar partes vacías.....	162
Figura 3. 19 Menú Create Mechanism.....	163
Figura 3. 20 Creando mecanismo.....	163
Figura 3. 21 Creando mecanismo 2.....	164
Figura 3. 22 Creando mecanismo 3.....	164
Figura 3. 23 Creando mecanismo 4.....	165
Figura 3. 24 Creando mecanismo 5.....	165
Figura 3. 25 Creando mecanismo 6.....	166
Figura 3. 26 Creando mecanismo 7.....	166
Figura 3. 27 Creando mecanismo 8.....	167
Figura 3. 28 Creando mecanismo 9.....	168
Figura 3. 29 Creando mecanismo 10.....	168
Figura 3. 30 Creando mecanismo 11.....	169



Figura 3. 31 Creando mecanismo 12.....	169
Figura 3. 32 Creando mecanismo 13.....	170
Figura 3. 33 Creando mecanismo 14.....	170
Figura 3. 34 Creando mecanismo 15.....	171
Figura 3. 35 Creando mecanismo 16.....	172
Figura 3. 36 Creando mecanismo 17.....	172
Figura 3. 37 Creando mecanismo 18.....	173
Figura 3. 38 Creando mecanismo 18.....	173
Figura 3. 39 Creando mecanismo 19.....	174
Figura 3. 40 Se arrastra el ícono del mecanismo hacia el ícono del robot en el árbol del proyecto de la pestaña Layout.....	174
Figura 3. 41 Decir que No al mensaje de conservar la posición.....	175
Figura 3. 42 Distribución de las bandas y los pallets.....	175
Figura 3. 43 Prototipos que se utilizaron para generar los paths&targets.....	176
Figura 3. 44 Acomodo completo de cajas sobre de los pallets.....	177
Figura 3. 45 Revisión de alcance del robot en la posición más baja del palet.....	178
Figura 3. 46 Análisis de alcance para el robot en el punto más alto del palet en las cajas de 60 x 30 cm. ....	178
Figura 3. 47 Análisis de alcance para cajas de 40 x 20 cm en el punto más bajo del palet.....	179
Figura 3. 48 Análisis de alcance en el palet de cajas de 40 x 20 cm en su punto de paletizado más alto. ....	179
Figura 3. 49 Análisis de alcance para la tarima.....	180
Figura 3. 50 Brazo robótico ABB® IRB460® con un gripper de vacío.....	180
Figura 3. 51 En esta imagen se observa la necesidad de seccionar en zonas las ventosas del gripper, la cual se da al momento de tomar las cajas con el gripper concéntrico a las cajas ó recorrido a la izquierda. ...	181
Figura 3. 52 Muestra la sección central del gripper que se activa al momento de tomar las cajas concéntricas al TCP “tool1”. ....	182
Figura 3. 53 Muestra la sección recorrida del gripper que se activa cuando se toman las cajas de 40 x 20 cm recorridas a la izquierda del TCP “tool1”.....	182
Figura 3. 54 En la imagen se aprecia el momento en el que el robot toma las cajas recorridas a la izquierda del TCP “tool1”.....	183
Figura 3. 55 Para poder tomar cuatro cajas, todas las ventosas del gripper son activadas.....	183
Figura 3. 56 Se observa el gripper tomando 4 cajas.....	184
Figura 3. 57 Sección central del gripper para tomar dos cajas de 60 x 30 cm, concéntricas al TCP “tool1”. ....	184
Figura 3. 58 Gripper tomando dos cajas de 60 x 30.....	185
Figura 3. 59 Sección activa al momento de tomar dos cajas de 60 x 30 cm recorridas a la izquierda del TCP “tool1”.....	185
Figura 3. 60 Muestra al robot tomando dos cajas de 60 x 30 cm por el extremo del gripper. ....	186
Figura 3. 61 Medir la distancia para el nuevo TCP, sobre el eje Z, desde la tool0 hasta las ventosas del gripper. ....	187



Figura 3. 62 La distancia Z debe de llegar hasta las ventosas, en un punto dentro de ellas, para que se considere su compresión, al momento de tomar una caja. ....	188
Figura 3. 63 Midiendo la distancia en el eje X.....	188
Figura 3. 64 Midiendo la distancia en el eje Y.....	188
Figura 3. 65 Nuevo tool data posicionado en el centro de las ventosas del gripper. ....	189
Figura 3. 66 Figuras geométricas de los palets que servirán para realizar la programación. ....	189
Figura 3. 67 Muestra como un target programado se indica con un eje de coordenadas y en la derecha se encuentra el árbol de proyecto que se va generando al ir creando los targets. ....	190
Figura 3. 68 Estructura del programa dentro del árbol de proyecto de la pestaña de Paths&Targets. ....	191
Figura 3. 69 Tipos de movimientos programados para el paletizado, la flecha amarilla indica que cuando el brazo baja a paletizar una caja se programa un movimiento de tipo lineal, mientras que para desplazarse de un punto a otro, el movimiento es Joint, como lo indica la flecha azul.....	192
Figura 3. 70 Indica las velocidades programadas en los diferentes movimientos de paletizado, al dejar una caja se programó una velocidad de 300 mm/s mientras que para aquellos movimientos que no requerían de cuidado se programaron con una velocidad de 4000 mm/s.....	193
Figura 3. 71 Muestra las zonas con las que fueron configuradas las instrucciones de movimiento, se puede ver que para los movimientos precisos como lo es el caso de dejar una caja en la tarima, indicado con la flecha amarilla, se programa una zona fina, mientras que para movimientos imprecisos como mover el brazo de un lado a otro, se programó una zona de 100. ....	194
Figura 3. 72 Líneas amarillas que se van generando al crear los diferentes paths de la programación del paletizado. ....	194
Figura 3. 73 Vista de todos los paths creados para el proyecto.....	195
Figura 3. 74 Tarjetas virtuales dadas de alta para el paletizado automático.....	196
Figura 3. 75 Señales creadas para el paletizado manual. ....	197
Figura 3. 76 Ventana donde se selecciona la señal que será asignada al evento a crear. ....	197
Figura 3. 77 Eventos creados para el paletizado automático.....	198
Figura 3. 78 I/O Simulator activo al momento de ejecutar la simulación. ....	199
Figura 3. 79 Instrucciones para tomar palet con el mecanismo.....	200
Figura 3. 80 Añadir instrucción para mover mecanismo. ....	201
Figura 3. 81 Diagrama de Flujo del programa principal de paletizado. ....	211
Figura 3. 82 Diagrama de flujo de la sub-rutina para tomar dos cajas de 60 x 30 cm. ....	212
Figura 3. 83 Diagrama de flujo de la sub-rutina para tomar cuatro cajas de 60 x 30 cm. ....	213
Figura 3. 84 Diagrama de flujo de la sub-rutina para tomar cuatro cajas de 60 x 30 cm. ....	214
Figura 3. 85 Longitud del área protegida y longitud del área de sensado. ....	220
Figura 3. 86 Distribución correcta del controlador. ....	226



## **Lista de Tablas**

Tabla 1. 1 Ventajas de una celda robotizada de paletizado y una maquina dedicada paletizadora .....	63
Tabla 2. 1 Características de los dos diferentes productos que se paletizan.....	121
Tabla 3. 1 Muestra las características del producto que tomará el gripper. ....	140
Tabla 3. 2 Comparación entre robots de distintas marcas con características muy similares entre ellos. ....	142
Tabla 3. 3 Características de la nueva generación de controladores IRC5.....	146
Tabla 3. 4 Características más importantes en la selección de un controlador.....	147
Tabla 3. 5 Comparación entre distintas marcas de compresores de anillo liquido.....	150
Tabla 3. 6 Características de bandas transportadoras de distintas marcas.....	151
Tabla 3. 7 Tabla con diferentes modelos y marcas de sensores. ....	152
Tabla 3. 8 Resultados obtenidos de la simulación del proyecto de paletizado automático. ....	202
Tabla 3. 9 Estimación de riesgo del sistema de paletizado automático.....	216
Tabla 3. 10 Estimación de riesgo del sistema de paletizado automático.....	217
Tabla 3. 11 Selección de protecciones. ....	218
Tabla 3. 12 Características de barreras fotoeléctricas de distintas marcas.....	221
Tabla 3. 13 Características de botones de paro de distintas marcas. ....	223
Tabla 3. 14 Cotización Final del Proyecto. ....	230
Tabla 3. 15 Software Utilizado.....	231
Tabla 3. 16 Mano de obra y consumibles.....	232
Tabla 3. 17 Costo final del proyecto. ....	232



## **Lista de Siglas**

**AF:** Área Funcional.

**ANSI:** American National Standards Institute (Instituto Americano de Estándares Nacionales).

**CAD:** *Computer Assisted Design*, ó Diseño Asistido por Computadora.

**CAM:** *Computer Assisted Manufacture*, ó Manufactura Asistida por Computadora.

**CCD:** *charge-coupled device* ó Dispositivo de carga acoplada.

**GLD:** Grado de libertad.

**GSM:** *Global System for Mobile Communications* ó Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

**ISO:** .

**LDR:** *Light Dependant Resistor* o Resistor dependiente de la luz.

**MSR:** *Mirror Surface Rejection* ó Rechazo superficial de espejo.

**PLC:** *Programable Logic Controller*, ó Controlador Lógico Programable.

**RAPID:** *Robot Application Programming Interface Dialog*, ó Dialogo-Interfaz de programación para Aplicaciones de Robot.

**RIA:** *Robot Institute of America* ó Instituto del Robot de América.

**RPR:** rotación prismática, rotación

**RS:** RobotStudio®.

**SCARA:** *Selective Compliant Assembly Robot Arm or Selective Compliant Articulated Robot Arm* ó Brazo Robótico Articulado Selectivo Flexible

**SIL:** *Safety Integrity Level* ó Nivel de integridad de seguridad

**TCP:** *Tool Central Point*, ó Punto central de la herramienta.

**2RP:** dos articulaciones rotacionales seguidas de una prismática).

**3R:** tres articulaciones rotacionales



## Objetivo General

Realizar una propuesta de automatización de paletizado de cajas simulando la celda de manufactura a través de un software CAM (Manufactura Asistida por Computadora), para mejorar el flujo de producto terminado y hacerlo seguro y simple.

## Objetivo Específico

- Diseño en 3D de los elementos de la celda de manufactura en un programa CAM conforme a las necesidades de la empresa.
- Seleccionar el Robot, la herramienta (gripper), sensores, elementos de seguridad y otros dispositivos adecuados conforme a la especificación de las necesidades de la empresa.
- Diseño de la lógica del programa de control del brazo robótico.
- Crear la simulación mostrando todos los elementos involucrados para obtener como resultado factibilidad y tiempo de ciclo.

## Introducción

El propósito de este proyecto fue realizar una propuesta de automatización para el paletizado de cajas de cartón de producto terminado en el caso particular de una planta productora de galletas. Para llevar a cabo esta propuesta, en el capítulo 1, se exponen los conceptos básicos que se utilizarían para el desarrollo del proyecto, mientras que en el capítulo 2 se describen las características del proceso actual para que en el capítulo 3 se analizaran diversas alternativas de solución, así como la viabilidad de la automatización en si misma, y de esta manera se llegó a la elección de una celda robotizada como la mejor alternativa debido a que esta tecnología logró satisfacer por completo las necesidades de esta empresa en particular.



Una vez que se decidió la tecnología de automatización que se utilizaría para la realización de este proyecto se procedió con el diseño en 3D del proceso sin automatizar, esto permitió analizar la distribución para el diseño de la celda robotizada. Subsiguientemente se procedió con la metodología necesaria para el diseño de la celda robotizada, comenzando con la elección del gripper y la elección del brazo robótico concluyendo que el adecuado fuese el robot IRB460® de ABB®, en base al gripper seleccionado y debido a sus características de flexibilidad, alcance y carga.

Con base a la elección realizada se procedió al diseño y modelado 3D de la celda robotizada basándose en la norma ANSI/RIA R15.06-1999 para la integración de los elementos de seguridad, después se procedió con programación offline del robot por medio del software RobotStudio® de ABB® y posteriormente simular la celda robotizada para obtener resultados sobre el desempeño de la misma.

La lógica del paletizado automático se realizó en el controlador virtual de RobotStudio® en lenguaje de programación RAPID (Dialogo-Interfaz de programación para Aplicaciones de Robot) propio de ABB®. De esta manera se logró cumplir con el objetivo general así como con los objetivos específicos planteados al inicio de esta tesis, obteniendo como resultado una simulación CAM de la celda robotizada bajo condiciones ideales de proceso.

## Justificación

Con la realización de esta propuesta se reducirá el tiempo de ciclo del proceso de paletizado manual, esto se hará mediante el remplazo del hombre por un brazo robótico y con esto, la automatización del proceso de paletizado. Se sabe que un trabajador al inicio de una jornada laboral tendrá un alto rendimiento, sin embargo al paso del tiempo este disminuye, lo cual afectará directamente en la velocidad del proceso y a su vez en la integridad y calidad de la caja del producto terminado, por otro lado, debido a que se lleva a cabo un proceso repetitivo durante mucho tiempo, el trabajador puede presentar problemas en su posición y estructura ósea y problemas de espalda, por otro lado se reducen a cero los errores de acomodo de la caja que el trabajador puede producir como consecuencia del cansancio, lo cual afecta directamente en la



calidad del paletizado. En el caso de los accidentes estos se eliminan ya que al automatizar el proceso, los trabajadores ya no laborarán en la celda de manufactura.

Se utilizará la programación off-line de robots debido a que es una manera fácil de configurar, simular y programar los movimientos sin necesidad de contar con el equipo físicamente de tal forma que se gana tiempo en la puesta en marcha, además sin realizar paros en la producción lo que nos trae como consecuencia reducción de costos. Y así mismo se puede evaluar la factibilidad del proyecto al automatizar la celda de paletizado y con esto tendremos como resultado una producción continua, una mayor velocidad, reducción en el tiempo de ciclo por lo cual se tendrá una mayor producción y el personal ya no estará expuesto a un desgaste físico.

## **Planteamiento del Problema**

En la actualidad el incremento en la demanda de diversos productos así como el contexto de competencia ha llevado a las empresas a buscar la reducción de costos en todas las áreas en las que esto sea posible. Dicha reducción permite la inversión de estos recursos en otras áreas que puedan generar una mayor competitividad en el mercado tales como la promoción y publicidad de ventas.

Una empresa puede encontrar grandes beneficios en los procesos logísticos que conforman el circuito de materiales desde la producción hasta la entrega al cliente final ya que estos costos han presentado un incremento significativo desde los años 50's llegando en los últimos años a un porcentaje de alrededor del 30% del costo total de producción. La operación de paletizado es considerada como una práctica beneficiosa dentro de la logística del producto ya que permite un desempeño más adecuado y en menor tiempo en las actividades de carga, descarga y almacenamiento de la mercancía mejorando el uso de los recursos y la eficiencia de los procesos que se llevan a cabo en la cadena de abastecimiento.

El paletizado manual presenta algunos problemas bajo aquellas circunstancias en las que las condiciones de trabajo le exigen al operario ir más allá de sus capacidades llevándolo a condiciones inseguras que ponen en riesgo su integridad. Debido a que el



paletizado es básicamente una acción de levantamiento, existen limitantes en el peso que una persona puede manipular de forma segura, así como también debe considerarse que la carga de trabajo debe de estar claramente definida dentro de las capacidades de un operador humano, es decir, una sobre-exigencia en la velocidad y duración de la actividad causará fatiga, por lo que para cubrir las necesidades de industrias con grandes volúmenes de producción, el paletizado manual no es adecuado.

## Hipótesis

H1: Con la automatización del paletizado se disminuirán los riesgos para el personal de la planta, en este proceso.

H2: Con el uso de un robot para la automatización del paletizado, se incrementará la rapidez del proceso de paletizado.

H3: Se logrará obtener una simulación que generará el tiempo de ciclo lo más próximo a la realidad, lo que confirmará la existencia de una reducción de tiempos del proceso de paletizado manual.

## Delimitación del Tema

El tema tratado es extenso, por lo que debe correctamente delimitado. Por lo general se suscitan confusiones al hablar de robots industriales, ya que los trabajos que se han desarrollado con éstos, son incontables, pero el tema esta centrado específicamente en la programación de un robot industrial que se hace sin tener que estar en contacto físico con el robot, esto con base en un software que simula mediante una interfaz 3D los movimientos del robot, así que únicamente se embebe en dicha simulación, y aunque en algunas partes se de a entender que el proyecto será realizado físicamente después de haber obtenido el resultado de simulación, cuestiones como la selección de un Controlador Lógico Programable (PLC) ó *Programable Logic Controller*, seguridad de robots industriales, análisis logístico y ergonómico; son herramientas que son tomadas en cuenta por el simple hecho de que, cuando se desarrolla un proyecto de



automatización de una celda de paletizado, para llegar a la simulación de dicha celda, se tuvieron que haber realizado ciertas partes de la ingeniería básica, de detalle y estudios que tocan otros ámbitos diferentes al ingenieril como la rama administrativa y médica, lo que hace de esta investigación un análisis profundo e íntegro del tema central. Además se pretende dar pauta para ampliar el tema y tratar derivaciones que no son tomadas en cuenta como la programación del escáner de seguridad así como la comunicación entre el robot y el PLC. No se realizó la selección de dispositivos como el PLC ni las fuentes de alimentación de dispositivos ya que no era parte del objetivo principal del trabajo, pero si son considerados en la cotización final de equipos con precios consultados en exposiciones industriales y cotizaciones por parte de algunas empresas. No se llegó a simular la acción del programa RAPID para reaccionar a inconvenientes en la alimentación de las cajas, es decir la simulación de los sensores como entradas digitales, ya que la simulación que se realizó fue para efectos demostrativos de obtención de velocidades, tiempos y poder obtener una tabla comparativa de resultados al final del trabajo.

## Planteamiento General del Trabajo a Desarrollar

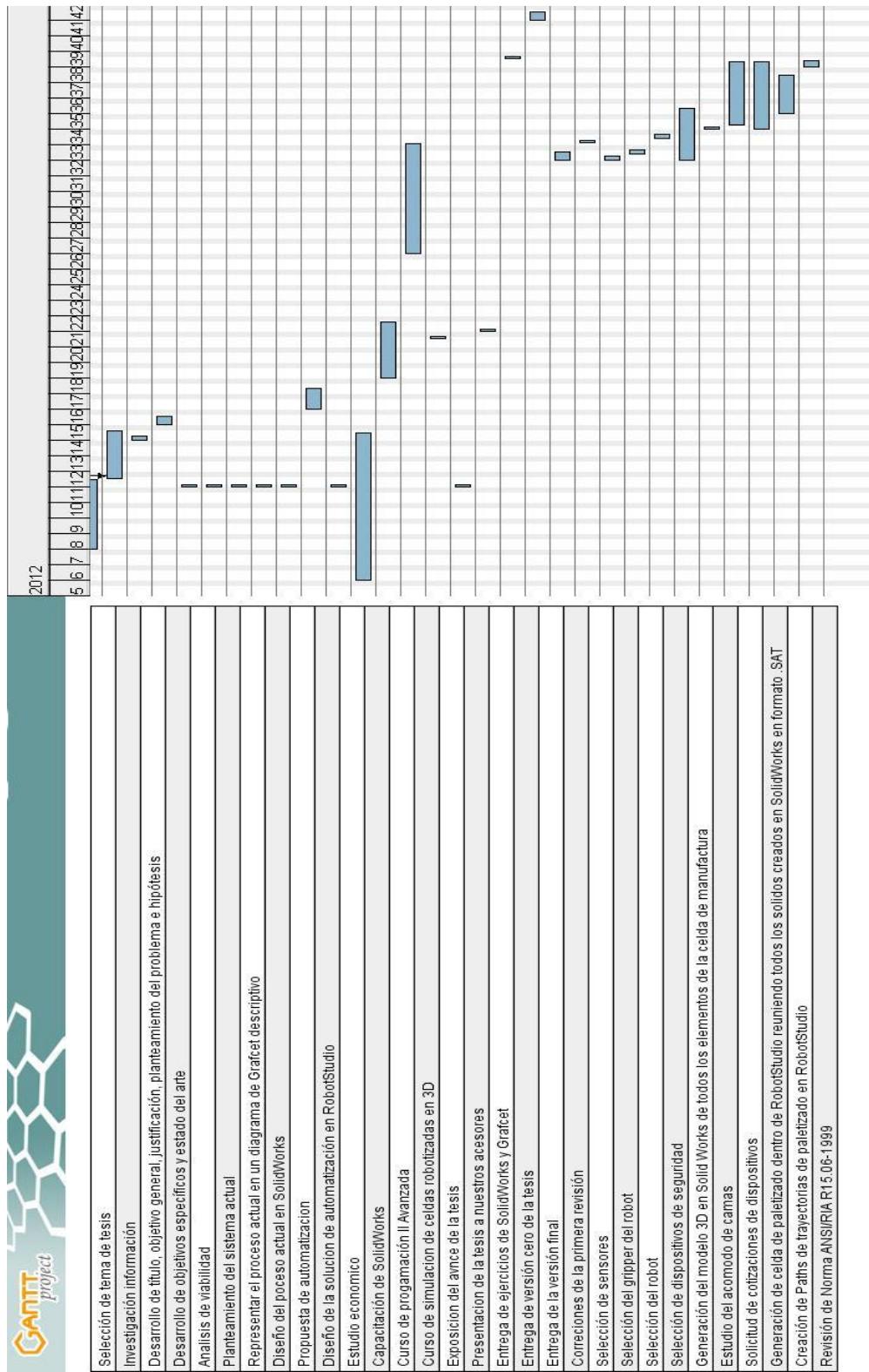
Se desarrollará el diseño CAD de la célula de paletizado automático en SolidWorks® (Programa de Diseño Asistido por Computadora.) apegado a las dimensiones, características y condiciones del proceso actual. Para lo cual se hará una selección de dispositivos y equipo a utilizar, incluyendo el robot y el gripper.

Una vez finalizado el diseño 3D, se importará al software CAM desde el archivo en formato “.SAT”. Se cargará el modelo 3D del robot seleccionado para su conjunción con la celda de manufactura en el software CAM. Partiendo de la célula robotizada obtenida, se procederá a realizar toda la programación de generación de trayectorias y restricciones para obtener la secuencia de movimientos deseados que requiere nuestro proceso (programación off-line).

Finalmente se ejecutará la simulación para verificar que todo el sistema se comporte de la manera adecuada, es decir, se comprobará que no existan colisiones y que las secuencias sean las correctas, de esta forma se obtendrá el tiempo de ciclo.



## Cronograma de Actividades





## Estado del Arte

### Historia de los Robots Industriales

El primer Robot que se sabe ha existido en el mundo, es la creación de Al-Jazari (1136-1206), un inventor Musulmán que diseñó y construyó un gran número de máquinas automáticas, incluyendo aparatos para la cocina, mecanismos musicales impulsados por el agua y el primer robot humanoide en 1206<sup>1</sup>.

El robot de Al-Jazari era un barco que flotaba en el lago donde se realizaban fiestas y para entretener a sus invitados, inventó músicos automáticos que tenían una máquina de tambores programable, donde se podía tocar diferentes melodías, dependiendo del acomodo de golpeo de unas pequeñas palancas que golpeaban.

Luego Leonardo Da Vinci diseña un Robot en 1495, un caballero alemán con armadura medieval que podía mover sus brazos, cuello y quijada.

Un ejemplo emblemático de documentos importantes generados en la época del renacimiento es la obra de Vitruvius, descubierta a principios del siglo XVI y utilizada durante el renacimiento como referencia científica y práctica para el diseño de máquinas<sup>2</sup>.

Luego hasta 1700 los chinos empiezan a inventar marionetas con mecanismos que podían hacer que se movieran independientemente.

Nos vamos hasta el año 1739 donde Jacques de Vaucanson crea un Pato capaz de comer granos de maíz, mover sus alas y producir excremento.

En 1900 se crea una máquina humana por Barbarossa, mismo siglo donde en el año 1942 durante el relato “Run Around” del autor Isaac Asimov (1920-1922), escritor y bioquímico ruso, se enuncian por primera vez las 3 leyes de la Robótica, que fueron pensadas por Asimov en

<sup>1</sup> Robótica Industrial, Curso Programación Básica I, 2012.

<sup>2</sup> López Cajún, Carlos S. y Ceccarelli, Marco, *Mecanismos, Fundamentos Cinemáticos para el Diseño y Optimización de Maquinaria*, México, Editorial Trillas S.A. de C.V., 2008, p. 28.



conjunto con John W. Campbell en una conversación sostenida dos años antes, en 1940. Dichas leyes de la robótica son cuatro y se mencionan a continuación:

0. Un robot no puede dañar a la humanidad, o por inacción, permitir que la humanidad sufra algún daño.
1. Un robot no debe dañar a un ser humano, o por inacción, permitir que un ser humano sufra algún daño, al menos que esto violara una ley de orden superior.
2. Un robot debe de obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto cuando tales órdenes entren en conflicto con alguna ley de orden superior.
3. Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con alguna ley de orden superior.

En 1926, Westinghouse Televox implementa por primera vez un robot para una tarea útil.

En 1954 Cyril W. Kenward crea un embrión del primer robot industrial.

Pero es en el mismo año 1954 donde George Devol patenta el primer robot programable por lo que es considerado por muchos como el padre de los Robots Industriales.

En 1956 George Devol y Joseph Engelberger iniciaron la primera empresa de robots.

En 1960 la empresa Electrolux MHU lanza la marca de robots hidráulicos y neumáticos, Unimate.

En 1961 Joseph Engelberger vende el primer robot hidráulico Unimate a General Motors para atender una máquina de fundición a presión.

En los años 1964 a 1967 la empresa Trallfa desarrolla el primer robot de pintura, primera vez vendido en 1969.

En 1971 la compañía Cincinnati Milacron lanza su primer robot controlado por minicomputadora.

En Octubre de 1971 y hasta Abril de 1972 crea un nuevo concepto completamente diferente de robot es creado por Björn Weichbrodt. Desde abril de 1972 a febrero de 1973 Björn junto con



un equipo de 20 personas desarrollaron el primer robot antropomórfico manejado eléctricamente y controlado por microprocesadores.

En el año de 1973 la empresa ASEA® (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget, Sweden General Electric Company) lanza su primer robot antropomórfico, eléctrico, controlado por microprocesadores, IRB 6.

El 31 de Diciembre de 1974 el primer robot IRB 6 mostrado en la figura i fue vendido a una pequeña compañía de ingeniería mecánica en Suecia, para pulir tubos de acero inoxidable. El diseño de este robot fue patentado hasta 1972, y en 1975 ya se hacían pedidos de exportación a Estados Unidos, Alemania y el Reino Unido.



Figura i Primer robot de la marca ASEA®, vendido creado en 1973 y vendido por primera vez en 1974.

En 1975 se crea el primer robot IRB 6 para soldadura de arco, por ASEA®.

En 1979 se crea el primer robot IRB 60 visto en la figura ii para soldadura de punto. Y en el mismo año se instala el primer robot en España.



Figura ii Robot IRB 60 creado en 1979.

En 1981 ASEA® absorbe los robots de la empresa Electrolux MHU. Y para el año de 1982 ya se empieza a introducir en el mercado Japonés.



En 1983 se crea un nuevo sistema de control, el S2, una HMI excepcional con menú de programación, Punto Central de la Herramienta, TCP (*Tool Central Point*) y la palanca o joystick es también introducido para permitir un mejor control en los ejes del robot.

En 1986 ASEA® compra los robots de pintura de la empresa Noruega, Trallfa. También en este mismo año, es lanzado al mercado por ASEA®, el primer robot manejado con motores de corriente alterna, IRB 2000, como semuestra en la figura iii, con una carga máxima de 10 Kg de peso, sin espacios de holgura, sin cajas de cambio, con amplio rango de trabajo y con gran precisión.



Figura iii Robot IRB 2000, el primero en manejar motores de CA, en el mercado.

En 1987 ASEA® AB® y la BBC® Brown Boveri Ltd, ambas Suecas, anuncian planes en agosto para fusionar sus operaciones para formar ABB®, ASEA Brown Boveri Ltd, con sede en Zúrich, Suiza.

En 1990 ABB® compra las actividades de robots de la empresa americana, Cincinnati Milacron, pensando en concentrarse en la soldadura de punto y obtener una fuerte base de crecimiento en la industria americana automotriz.

En 1991 ABB® decide agrandar su portafolio de soluciones en pintura, adquiriendo las aplicaciones del grupo Ransburg Automotive (creadores de los atomizadores de pintura electrostática, uno de sus productos fue el atomizador de pintura mostrado en la figura iv).



Figura iv Atomizador de pintura electrostática para robot, marca Ransburg Automotive.



En el mismo año es introducido al mercado uno de los robots más grandes de la familia de pesados de ABB®, el robot IRB 6000 mostrado en la figura v, que pesando 200 Kg se vuelve el más rápido y preciso soldador de punto en el mercado.



Figura v Robot IRB 6000, el más rápido y preciso a principios de los 90's.

En 1991, se agrega un sexto eje hueco denominado “muñeca” a los robots ABB, mostrado en la figura vi, es innovado y mejorado para aplicaciones que permiten un sobresaliente acabado, rapidez y destreza en pintura.



Figura vi Muñeca hueca para robots de pintura.

En 1994 los controladores S4 muestran un avance en la facilidad de uso en las ventanas tipo HMI, y un lenguaje más flexible.

En 1998 se lanza el robot “toma y deja” (*pick and place*), el FlexPicker más rápido del mundo que se muestra en la figura vii.



Figura vii Robot 360-1/1130.



En 1998 se crea el software RobotStudio®, la primera herramienta de simulación basada en un controlador virtual idéntico al real, que revolucionó la programación off-line. Para el 2000 se crea un software similar, pero para robots pick and place, el PickMaster.

En el 2001 ABB® lanza el robot IRB7600, el primer robot industrial en el mundo que podía levantar hasta 500 Kg.

En el 2002 aparece el robot ABB® IRB 6600, mostrado en la figura viii, para la empresa Euroblech, el primer robot de potencia que podía moverse en arco, hacia atrás.



Figura viii Robot IRB 6600, primero en hacer un arco hacia atrás.

En el 2004 una nueva familia de controladores de robots es lanzada, IRC5, mostrado en la figura ix, que propone nuevos estándares con su modular concepto, un nuevo diseño ergonómico y una unidad interfaz de Windows, con un control expandible hasta para 4 robots con la función de MultiMove.



Figura ix La 5º generación de controladores, IRC5, le dan al robot más precisión, velocidad, tiempo de ciclo, programabilidad y sincronización con dispositivos externos.



En el 2005 ABB® lanza al mercado 55 nuevos productos y funciones para robots, incluyendo 4 nuevos robots: IRB660, IRB 4450S, IRB 1600 y el IRB 260 (véase figura x).



Figura x Nuevos modelos de robots ABB® disponibles en el 2005.

Durante Expo Manufactura, celebrada en Monterrey, Nuevo León, la firma especializada en tecnologías electrotécnicas y de automatización ABB® presentó el robot más pequeño dentro de su portafolio de productos, el IRB 120<sup>3</sup> mostrado en la figura xi.



Figura xi El robot más pequeño de ABB®, IRB 120, se utiliza principalmente para el manejo de materiales y soporta cargas de hasta 3 Kg.

Desde esos días y hasta nuestros tiempos se han incrementando de manera inmensurable los avances en la tecnología, y las formas de programación para los robots industriales y la manera en que estos interactúan con los seres humanos.

<sup>3</sup> “ABB® trae a México su robot más pequeño”, *Méjico InTech Automatización*, 2012, núm. 01, año 11, p. 6.



# CAPÍTULO MARCO REFERENCIAL 1

## 1.1 Automatización

Se define como el proceso de hacer que las maquinas sigan un orden predeterminado de operaciones con poca o ninguna mano de obra, usando equipo y dispositivos especializados que ejecutan y controlan los procesos de manufactura, la automatización en todo su potencial se logra usando diversos dispositivos, sensores, actuadores, técnicas y equipo capaces de observar y controlar todos los aspectos del proceso de manufactura, de tomar decisiones acerca de los cambios que se deben hacer en la operación y de controlar todos los aspectos de ésta<sup>4</sup>.

En la industria se utilizan generalmente dos tipos de automatización: la fija y la flexible (o programable), la automatización fija produce un tipo de parte o producto en una secuencia fija de operaciones simples. Hasta mediados de la década de 1980, la mayoría de las plantas de producción automatizadas estaban dominadas por la automatización fija, y algunas aún lo están.

La automatización fija se prefiere cuando los volúmenes de demanda son altos, los diseños del producto son estables y los ciclos de vida del producto son largos. Estas condiciones compensan las dos desventajas principales del proceso: un alto costo de inversión inicial y una relativa inflexibilidad. El costo de la inversión resulta especialmente alto cuando se requiere que una sola máquina compleja (llamada máquina de transferencia) sea capaz de realizar múltiples

<sup>4</sup> Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, Manufactura, ingeniería y tecnología, PEARSON EDUCACIÓN, México, 2002, pp.1023.



operaciones. Por el hecho de que la automatización fija se diseña alrededor de un producto en particular, la operación de cambiar el equipo para adecuarlo a la elaboración de nuevos productos resulta difícil y costosa. Sin embargo, la automatización fija busca obtener la eficiencia y redituar el más bajo costo posible por unidad.

La automatización flexible puede modificarse fácilmente para manejar diversos productos. La posibilidad de reprogramar máquinas es útil tanto con la estrategia de flujo flexible como con la de flujo de línea. Una máquina que fabrica cierta variedad de productos en partidas pequeñas, en el caso de un flujo flexible, suele ser programada para alternarse en la elaboración de dos productos. Cuando una máquina ha sido destinada a un producto o familia de productos en particular, como en el caso de un flujo de línea, y dicho producto se encuentra en el final de su ciclo de vida, es posible reprogramar la maquina simplemente con una nueva secuencia de operaciones para elaborar un nuevo producto<sup>5</sup>.

## 1.2 Tecnologías de Automatización

La automatización tiene como objetivo incrementar la competitividad de la industria por lo que requiere la utilización de tecnologías destinadas para tal fin. A continuación se describen las más importantes para el desarrollo de este trabajo.

### 1.2.1 Robótica

Los robots son entidades virtuales o mecánicas que se utilizan para la realización de trabajos automáticos y son controlados por medio de computadoras, los robots pueden ser:

**Androïdes:** Estos robots buscan imitar de manera parcial o total el comportamiento y forma del ser humano.

**Industriales:** Los robots de este tipo se utilizan para la manipulación o fabricación automáticas.

---

<sup>5</sup> Lee J. Krajewski, Larry P. Ritzman, Administración de operaciones: Estrategia y análisis 5ta edición, PEARSON EDUCACIÓN, México, 2000, pp. 103



**Médicos:** Bajo esta categoría se incluyen básicamente las prótesis. Estas cuentan con sistemas de mando y se adaptan fácilmente al cuerpo. Estos robots suplantan a aquellos órganos o extremidades, realizando sus funciones, además existen robots médicos destinados a la realización de intervenciones quirúrgicas.

**Móviles:** estos robots cuentan con orugas, ruedas o patas que les permiten desplazarse de acuerdo a la programación a la que fueron sometidos.

**Tele-operados:** Estos robots son controlados de manera remota por un operador humano. A estos artíluguos se los utiliza en situaciones extremas como la desactivación de una bomba o manipular residuos tóxicos.

**Zoomórficos:** La locomoción de estos robots imita a la de los distintos animales<sup>6</sup>.

El robot es, sin duda, uno de los inventos más significativos del siglo XX. Actualmente, el robot industrial está lejos de ser un humanoide con ilimitada fuerza e inteligencia. La robótica representa la confluencia de varias materias: mecánica, electricidad, electrónica, automática e informática, que hacen que el estudio de un robot resulta enormemente atractivo para especialistas en cualquiera de ellas.

En cualquier caso, el fuerte desarrollo experimentado por la robótica desde su nacimiento, se debe a las crecientes necesidades de automatización de la industria del siglo XX. A finales del siglo XX, el robot industrial es una de las maquinas que se pueden encontrar en empresas con líneas de fabricación en serie, llegando el parque mundial de robots a cerca del millón de unidades.

Un robot industrial se define según el Robot Institute of America define como un dispositivo programable, multifuncional, manipulable, y manipulante para mover material, piezas, herramientas o aparatos especializados con movimientos programados variables para el desempeño de diversas tareas<sup>7</sup>. Los costos de operación de un robot son económicamente atractivos, de menos de 5 dólares por hora en algunos modelos. Los robots son confiables y

<sup>6</sup> Arantxa Rentería, María Rivas, Robótica industrial Fundamentos y aplicaciones, Mc Graw Hill, España, 2000, pp. 1-3.

<sup>7</sup> ANSI/RIA R15.06-1999



productivos ya que trabajan el 98% del tiempo de operación de una planta total por año, son capaces de levantar grandes masas y de trabajar en situaciones riesgosas con altas temperaturas y sustancias químicas o radiactivas peligrosas.

Por su confiabilidad y capacidad en ambientes que pueden ser hostiles para los seres humanos, los robots industriales se utilizan en operaciones como la carga y descarga, la pintura por rociado y la soldadura. La libertad de movimiento es un rasgo importante y se mide por la capacidad de un robot para emular las acciones humanas.

La estructura mecánica o brazo de un robot consiste en una cadena formada por eslabones (ejes) consecutivos, unidos entre sí por medio de articulaciones que permiten el movimiento relativo entre ellos. Generalmente, la cadena tiene uno de sus extremos fijo, también llamado base, y el extremo opuesto libre para la fijación del mecanismo con el que el robot realiza su trabajo. Una parte de las características del robot quedan determinadas por su estructura, tales como su configuración, espacio en planta y volumen de trabajo alcance del robot. Otras características, como por ejemplo, la velocidad y la capacidad de carga, dependen de los sistemas de accionamiento de sus articulaciones.

Por lo tanto, la mayor parte de las características del robot residen en su brazo, que consta de los siguientes elementos:

- Carcasa o chasis, generalmente formada por elementos de acero o aluminio.
- Sistema de accionamiento de los ejes: actuadores, transmisiones, sensores de posición y velocidad.
- Cableado, conectores, fines de carrera y otros elementos, como topes mecánicos, compensadores.

Aunque el brazo de un robot (ver figura 1.1) es flexible en cierto grado, la mayor parte de los robots industriales son tratados como estructuras rígidas, asumiendo que las desviaciones debidas a la flexión de la estructura del brazo no tienen un efecto significativo en su posicionamiento. En general los robots flexibles se encuentran únicamente en aplicaciones especiales.

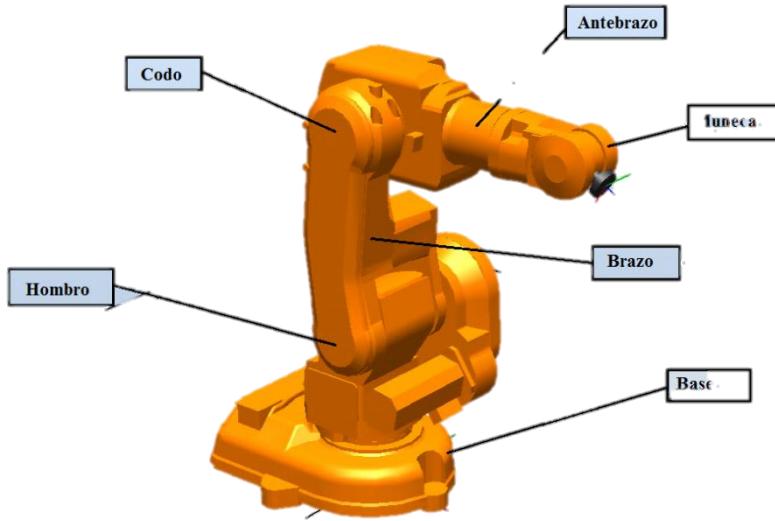


Figura 1. 1 Articulaciones de un robot industrial

Las articulaciones son los elementos de unión entre los ejes del robot y es en ellas donde se origina el movimiento del mismo. El movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, de giro o de una combinación de los dos tipos de movimiento.

En la figura 1.2 se distinguen 6 tipos de articulaciones: prismática, de rotación, cilíndrica, esférica o rotula, planar y de tornillo y sus respectivos grados de libertad. Los tipos de rotación y prismática (o lineal) son los que se utilizan mayoritariamente en los robots industriales. Las articulaciones prismáticas ofrecen un calculo sencillo para su posicionamiento, alta precisión y robustez, y las de rotación son fáciles de construir y poseen envolventes de trabajo mayores con un menor espacio en planta en la figura siguiente se indica cual es el numero de grados de libertad de cada articulación. Puesto que en el caso de las articulaciones de rotación y prismáticas el GDL (Grado De Libertad) es uno, en los robots industriales el numero de GDL del robot suele coincidir con el de la suma de sus articulaciones. Estrictamente el GDL de un manipulador es el número de movimientos independientes que puede realizar. Considerando en un espacio 3D, el máximo GDL es 6, tres desplazamientos y tres giros, de ahí que la mayor parte de los robots industriales tenga 6 articulaciones.



Figura 1. 2 Tipos de articulaciones y sus respectivos grados de libertad.

A pesar de que en la práctica es necesario tener estos 6 GDL para tener total libertad en el posicionamiento y orientación del extremo del robot existen robots con menos de 6 articulaciones puesto que puede ser suficiente para llevar a cabo las tareas que han de realizar. Por el contrario también se da la situación en la que se encuentran robots con más articulaciones, con la intención de facilitar el sortear obstáculos o ampliar el campo de trabajo del robot. En estos casos se dice que el robot es redundante. Los ejes se dividen comúnmente en dos grupos:

- Ejes principales: mayoritariamente responsables de la posición del objeto.
- Ejes de la muñeca, como los responsables de la orientación.

El empleo de combinaciones de los diferentes tipos de articulaciones en los primeros tres ejes del robot da lugar a lo que se denomina configuración del robot. Se nombran las configuraciones encadenando las iniciales de sus articulaciones de la base a la muñeca, por ejemplo, RPR (rotación prismática, rotación), 3R (tres articulaciones rotacionales), 2RP (dos articulaciones rotacionales seguidas de una prismática).

El tipo de configuración determina entre otras características, el campo de trabajo del robot, es decir, el volumen de espacio en que el robot puede posicionar su muñeca. El campo de trabajo se obtiene de trazar los envolventes de las posiciones alcanzadas por la muñeca del robot, como combinación de los movimientos en las articulaciones de sus ejes principales.

Existen una serie de configuraciones que tienen de por sí denominaciones universalmente aceptadas debido a su mayor uso en robots industriales. Estas básicas son robot cartesiano,



angular, polar, cilíndrico y SCARA (Brazo Robótico Articulado Selectivo Flexible, por sus siglas en inglés).

Un robot angular o antropomorfo esta formado por tres ejes rotacionales, con el primer eje perpendicular al suelo y los otros dos perpendiculares a este y paralelos entre si.

Los robots con configuración angular presentan una gran maniobrabilidad y accesibilidad a zonas con obstáculos, ocupan poco espacio en relación a su alcance, son robots muy rápidos, que permiten trayectorias muy complejas. Estas características son las que hacen que la mayor parte de los robots industriales, presenten esta configuración de sus tres ejes principales.

En la clasificación del parque de robots según el tipo de estructura que se observa que el robot angular es el más extendido con gran diferencia frente al resto. Le sigue el robot cartesiano y el SCARA, siendo los robots cilíndricos y esféricos los menos extendidos.

## 1.2.2 Sensores

Se denomina transductor, en general a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal física distinta. Es, por tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro. Esto significa que la señal de entrada es siempre una energía o potencia, pero al medir una de las componentes de la señal suele ser tan pequeña que puede despreciarse, y se interpreta que se mide solo la otra componente.

Al medir una fuerza por ejemplo, se supone que el desplazamiento del transductor es despreciable, es decir, que no se “carga” al sistema, ya que de lo contrario podría suceder que este fuera incapaz de apartar la energía necesaria para el desplazamiento. Pero en la transducción siempre se extrae una cierta energía del sistema donde se mide, por lo que es importante garantizar que esto no lo perturbe<sup>8</sup>.

Existen señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares (químicas), cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo debería considerarse un transductor, y la señal de salida podría ser de cualquier forma física útil,

---

<sup>8</sup> Ramón Pallas Areny, Sensores y acondicionadores de señal 3era Ed., Alfaomega marcombo, 2004, pp. 2-5



sin embargo, en la práctica, se consideran transductores por autonomía aquellos que ofrecen una señal de salida eléctrica. Ello se debe a la importancia de este tipo de señales en la mayoría de los procesos actuales, a continuación se mencionan algunas de las ventajas más importantes de los sistemas de medida electrónicos:

- Debido a la estructura electrónica de la materia cualquier variación de un parámetro no eléctrico de un material viene acompañada por la variación de un parámetro eléctrico. eligiendo el material adecuado, esto permite realizar transductores con salida eléctrica para cualquier magnitud física no eléctrica.
- Además de la amplificación, hay una gran variedad de recursos, en forma de circuitos integrados, para acondicionar o modificar las señales eléctricas. Incluso hay transductores que incorporan físicamente en un mismo encapsulado parte de estos recursos.
- Existen también numerosos recursos para presentar o registrar información si se hace electrónicamente, pudiéndose no solo manejar datos numéricos, sino también textos, gráficos y diagramas.
- La transmisión de señales eléctricas es más versátil que la de señales mecánicas, hidráulicas o neumáticas, y si bien no hay que olvidar que estas pueden ser más convenientes en determinadas circunstancias, como pueden ser la presencia de radiaciones ionizantes o atmósferas explosivas, en muchos casos estos sistemas han sido sustituidos por otros eléctricos. De hecho, mientras en industrias de proceso (química, petróleo, gas, alimentación, etc.), donde se introdujeron enseguida los sistemas automáticos, se encuentran actualmente sistemas neumáticos junto a sistemas eléctricos más recientes, en cambio en las industrias de manufacturados, donde hay una serie de procesos discontinuos y que son de automatización más reciente, apenas hay sistemas neumáticos.

Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos, pero sensor sugiere un significado más extenso: la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos. Transductor, en cambio, sugiere que la señal de entrada y la salida no deben ser homogéneas, sin embargo la tendencia actual es emplear el término sensor para designarlos como un conjunto, en especial en el área de robótica.



## Clasificación

Existen diversos criterios para la clasificación de los sensores, una de ellas es según la señal de salida, los sensores se clasifican en analógicos o digitales. En los analógicos la salida varia, a nivel macroscópico, de forma continua con respecto al tiempo, mientras que en los sensores digitales, la salida varía en forma de saltos o paso discretos y la transmisión de su salida es más fácil. Tienen también mayor fidelidad y mayor fiabilidad, y muchas veces mayor exactitud.

Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que “ve” la luz generada por el emisor. Todos los diferentes modos de censado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionamiento de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas.

Los sensores de luz se usan para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para condicionamiento de la señal, compensación y formateo de la señal de salida<sup>9</sup>.

El sensor de luz más común es el LDR -Light Dependant Resistor o Resistor dependiente de la luz. Un LDR es básicamente un resistor que cambia su resistencia cuando cambia la intensidad de la luz. Existen tres tipos de sensores fotoeléctricos, los sensores por barrera de luz, reflexión sobre espejo o reflexión sobre objetos.

Existe una gran variedad de sensores en el mercado, y para la aplicación de que detecte las cajas de cartón que van pasando por las bandas transportadoras existen diversas soluciones desde los micro-switches que manejan marcas como Honeywell® que son puramente mecánicos hasta los sensores fotoeléctricos que ya cuentan con una tecnología avanzada de detección.

Según un catálogo de la marca especialista en sensores SICK®, recomienda seleccionar un sensor fotoeléctrico para la aplicación de detección de cajas y recomienda que sea un sensor

<sup>9</sup>ibid.

fotoeléctrico de proximidad energético con sensibilidad ajustable mostrado en la figura 1.3, que es la solución factible donde se usa la premisa de que una superficie de colores luminosos refleja mucha más luz que una superficie oscura, y puede ser detectada a una distancia mayor, por lo que para detectar la superficie oscura, la sensibilidad del sensor debe de ser incrementada, por lo cual el catálogo advierte que detectar un cuerpo oscuro puede ser problemático para los sensores energéticos<sup>10</sup>.

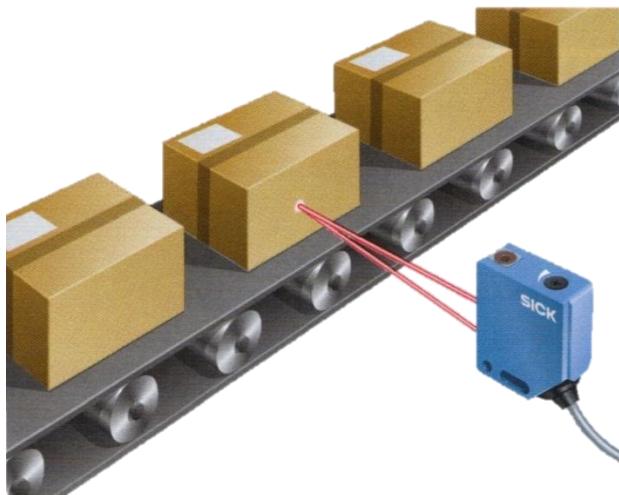


Figura 1. 3 Sensor fotoeléctrico de proximidad.

El símbolo con el que por lo general son representados en catálogos, hojas técnicas y manuales de selección, estos sensores es el observado en la figura 1.4:

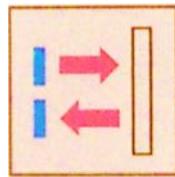


Figura 1. 4 Símbolo característico en catálogos del sensor fotoeléctrico de proximidad.

El sensor fotoeléctrico con supresión de fondo mostrado en la figura 1.5 también es otra tipo de sensores que se implementan en bandas transportadoras que operan basándose en la relación geométrica entre los elementos de envío y recibo. El sensor se coloca sobre la superficie del objeto en el planeo de escaneo. Las señales de las superficies de los objetos detrás del plano de

<sup>10</sup> SICK®, Catálogo de Sensores Industriales 2012-2013

escaneo propuesto son suprimidas. Los sensores fotoeléctricos con supresión de fondo pueden ser interrumpidos por objetos de alta reflexión en el fondo, como paneles de vidrio, pedazos de metal pulido, etc. Estos efectos pueden incrementar si hay un fondo no definido sin la distancia de escaneo del sensor definida. El blindaje o inclinación de los dispositivos puede resolver este problema.

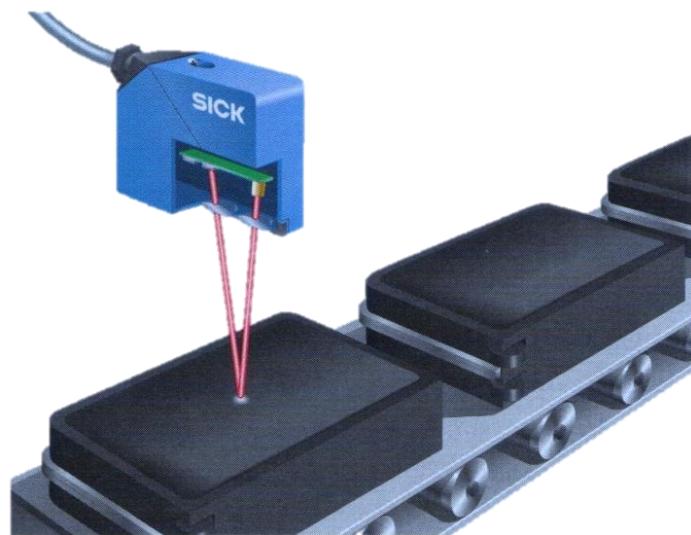


Figura 1. 5 Sensor fotoeléctrico de proximidad con BGS Back Ground Supression (supresión de fondo).

El símbolo con el que por lo general son representados en catálogo estos sensores se observa en la figura 1.6:

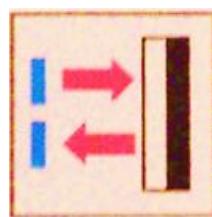


Figura 1. 6 Símbolo característico en catálogos del sensor de proximidad con BGS.

Con un sensor retro-reflectivo mostrado en la figura 1.7, la luz emitida es regresada por un reflector y es recibida y evaluada por el dispositivo. Los filtros polarizadores previenen errores cuando hay detección de objetos reflectantes. El envoltorio de plástico transparente y la película elástica pueden afectar a la funcionalidad de los sensores retro-reflectivos con filtros polarizados. En esos casos es mejor utilizar dispositivos con poca sensibilidad. Dicha característica es denominada comercialmente MSR (Mirror Surface Rejection), la cual tiene el sensor Pepper +

Fuchs® de la tabla 6.1, que es una función de los sensores fotoeléctricos retro-reflectivos para recibir solo la luz reflejada desde el retro-reflector utilizando las características de construcción del filtro polarizador dentro del sensor y las características del retro-reflector<sup>11</sup>.

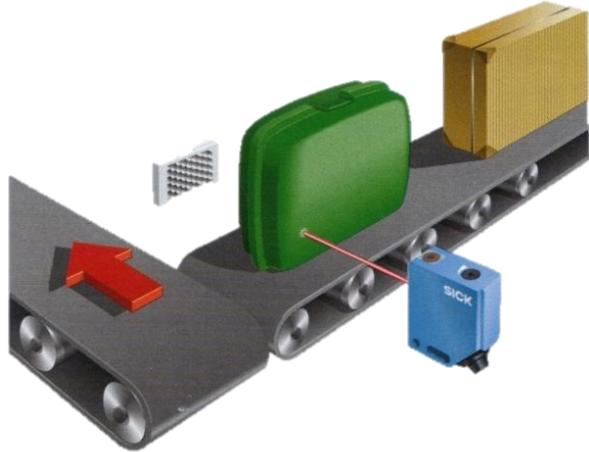


Figura 1. 7 Sensor fotoeléctrico retro-reflectivo.

El símbolo con el que por lo general son representados en catálogo estos sensores es el mostrado en la figura 1.8.

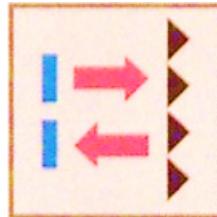


Figura 1. 8 Símbolo del Sensor retro-reflectivo.

Por lo tanto estos sensores se apegan más a las características deseadas, pero hay otra división más que cuenta con una característica adicional.

Los sensores fotoeléctricos retro-reflectivos con auto-colimación mostrado en la figura 1.9, funcionan con el principio que dice su nombre, que es la auto-alineación correcta y precisa de una lente óptica semitransparente que tiene la función de que la luz emitida pase a través de ella antes de salir de la unidad óptica, y después de ser devuelto por el deflector, el haz de luz se desvía en un espejo semitransparente hacia el receptor. Éste principio técnico permite la minimización de

<sup>11</sup> OMRON® Industrial Automation, *Solution Selection Guide 2011-2012*



los llamados puntos ciegos, que significan el área directamente en frente del sensor, donde un objeto no puede ser detectado. Pero este sensor fue creado específicamente para permitir una detección confiable de los pequeños objetos incluso en un rango muy cercano.

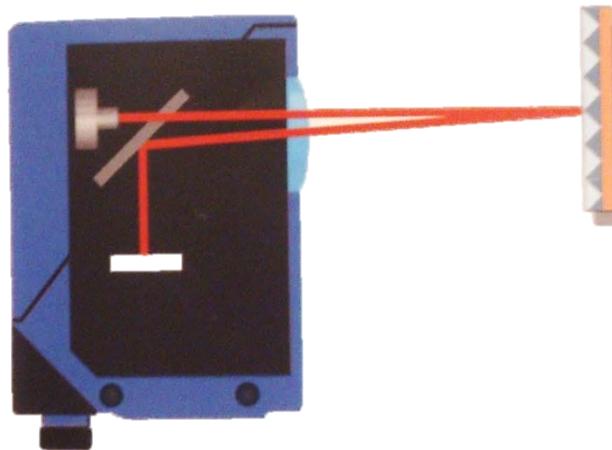


Figura 1. 9 Esquema de un sensor con auto-colimación.

### 1.2.3 Neumática

Los términos, neumático y neumática provienen de la palabra griega “Pneuma”, que significa “aliento” o “soplo”. En su acepción original, la neumática se ocupaba de la dinámica del aire y de los fenómenos gaseosos, pero la técnica ha creado de ella un concepto propio, pues en neumática sólo se habla de la aplicación de la sobrepresión o de la depresión (vacío). Las instalaciones neumáticas son máquinas y aparatos que trabajan con aire comprimido o con aire aspirado. La neumática abarca la totalidad de las aplicaciones de las instalaciones neumáticas. La mayoría de las técnicas neumáticas se basan en el aprovechamiento de la energía de la sobrepresión, previamente generada, respecto a la presión atmosférica. El portador de la energía es el aire comprimido.

La neumática moderna, con sus múltiples posibilidades de aplicación, se inicio en Alemania a partir de 1950 para completar las técnicas ya acreditadas. Entretanto, la neumática se ha revelado como una eficaz y extensa rama de la técnica, ofreciéndose en el mercado un amplio y maduro programa, que con toda seguridad se ampliara en el futuro; estando caracterizado el



continuo crecimiento de la neumática por el desarrollo reciente de aparatos y la apertura de nuevos campos de aplicación<sup>12</sup>.

#### 1.2.4 Técnica de Vacío

El vacío está muy difundido en las aplicaciones de elevación y manipulación de muchos tipos de productos y materiales. Sistemas de aspiración para la manipulación de piezas, son formados por diferentes elementos, que no requieren ningún tipo de mantenimiento y en muchas ocasiones constituyen la solución más económica para una aplicación de manipulación de productos.

La tecnología del vacío alberga todos los sistemas que utilizan presiones mas bajas que la atmosférica. Las funciones de manipulación, tales como fijar, retirar, transportar, entregar y depositar pueden ejecutarse de modo idóneo mediante la técnica del vacío. Con la tobera de aspiración y las correspondientes ventosas, pueden aspirarse y sujetarse piezas de superficies lisas y poca porosidad sin necesidad de generar vacío motorizado<sup>13</sup>.

#### Tobera de aspiración

En el caso de la tobera aspiradora (figura 1.10), el vacío se crea por el principio eyector al circular el aire comprimido a través de la válvula con una restricción en forma de véntruri. Dependiendo del nivel de presión del sistema, se puede obtener el consumo de aire y con este calcular la capacidad de aspiración del elemento.



<sup>12</sup> W. Deppert, K. Stoll, Dispositivos neumáticos, Alfaomega marcombo, Colombia, 2004, pp 7-9.

<sup>13</sup> FESTO, Neumática Industrial, FESTO DIDACTIC, Colombia, 2000, pp.38-39



Figura 1. 10 Tobera de aspiración.

## Ventosas

Las ventosas (ver figura 1.11) son blandas, por lo que no dañan las superficies de contacto de las piezas a manipular. Tienen diferentes modos de adaptación y tamaños de acuerdo con las necesidades.

Los materiales más utilizados son:

- Perburán
- Poliuretano
- Silicona



Figura 1. 11 Ejemplo de ventosas industriales

## Válvula de retención para vacío

Estas válvulas son adecuadas para mantener el vacío cuando se utilizan varias ventosas en paralelo, incluso en el caso en que fallara la sujeción de alguna de las ventosas. Si se dañan una o varias ventosas, es muy probable que el vacío sufra una gran pérdida de carga, con lo que las demás ventosas tampoco podrán sujetar la pieza aspirada.

Si una ventosa de aspiración está deteriorada o no está colocada correctamente en la superficie aspirada, el gran flujo de aire que se produce, desplaza un casquillo contra un asiento y bloquea el



paso del vacío. Por un pequeño orificio en la base del casquillo, fluye entonces un pequeño caudal de aire. Con ello, el vacío en las otras ventosas casi no se ve afectado<sup>14</sup>.

### **1.2.5 Bandas Transportadoras en Celdas Robotizadas**

Un elemento imprescindible dentro de la logística y el manejo de materiales son los transportadores, su función básica es trasladar o acumular productos y se usan cuando los flujos son considerables para efectuar la operación manualmente o por otros métodos; existen muchos tipos de ellos y vienen en diferentes tamaños y configuraciones, de acuerdo a la aplicación; literalmente existen miles de combinaciones. Los transportadores son en esencia equipos muy simples, constituidos por un elemento motriz, un elemento de transporte, el soporte adecuado de estos y los controles para que actúe cuando se necesite. Usualmente se fabrican en acero al carbono y en ocasiones en acero inoxidable.

Las bandas transportadoras se usan para para transportar materia entre celdas de trabajo. Una aplicación típica tiene diez robots enlazados en serie por una banda. No hay un trabajo manual requerido para cargar y transportar material entre celdas de trabajo.

#### **Bandas transportadoras de cadenas deslizantes**

Esta banda usa una cadena de plástico o de metal deslizable para presionar los pallets. La cadena es dentro de una guía de metal. Un motor eléctrico constantemente mueve la cadena. Las piezas de trabajo son colocadas en el pallet. La fricción entre el pallet y el movimiento de la cadena proporciona la fuerza necesaria para propulsar el pallet. El pallet se detiene usando cilindros neumáticos que extienden un pasador para detener el pallet. Las cadenas están constantemente moviéndose de tal forma que cuando el pallet se detiene, las cadenas continúan deslizándose contra la parte inferior de la misma. Cuando otro pallet llega a lugar donde se detiene, este es bloqueado por el pallet en frente de él.

Para hacer una vuelta, la vía de metal se dobla en un arco y la cadena gira con ella. Los eslabones en la cadena le permiten doblarse en las esquinas.

---

<sup>14</sup> Ibíd. pp.40



Las ventajas de estas bandas son bajo costo, facilidad de gestión de colas, y para dar vueltas. Para un lazo simple en la línea las bandas de cadenas deslizantes son la más baja opción en costo que cualquier otro sistema. Como anteriormente se menciono los giros de cola son fáciles de implementar.

Las desventajas de las bandas de cadenas deslizantes es la incapacidad para hacer intersecciones perpendiculares, el uso de aceite con las cadenas de metal y la capacidad limitada de carga en las cadenas de plástico, además se debe mantener la banda limpia y su uso debe ser en lugares limpios.

Cuando se usan cadenas de metal para propulsar los pallets, las cadenas deben estar bien lubricadas. El aceite tendrá una tendencia para obtener el producto y la maquinaria. Esto podría requerir limpieza adicional del producto y del equipo de producción. Cuando se usan cadenas de plástico, no se requiere lubricación, sin embargo, la capacidad de carga de las cadenas de plástico es menor que la de las cadenas de metal, por lo que los pallets deben ser mas pequeños y mas ligeros.

Las bandas pueden actuar como un recipiente que recolecta partes caídas y otros escombros. Otro tipo de bandas están abiertas en la parte inferior de tal forma que cualquier parte o escombro que cae en la banda, caerá al piso. El dispositivo de retención que sostiene la cadena puede actuar como un recipiente para recolectar estas partículas. Una limpieza adecuada se debe mantener en la cinta transportadora para garantizar que no haya excesiva acumulación de desechos.

Esta banda no es recomendada para aplicaciones clase 10 donde se hace producción de circuitos integrados o discos duros. La fricción entre la cadena y el pallet crea muchas partículas y hay un flojo pobre de aire alrededor de la cadena para purgar el aire sucio. Un cuarto limpio clase 10 quiere decir que en promedio hay menos de 10 partículas con una dimensión de  $0.5 \mu\text{m}$  por cada pie cubico de aire.

### **Bandas transportadoras accionadas por correa**



Los pallets accionados por correas en la parte superior de las bandas. La fricción entre la correa y el pallet conduce el pallet hacia adelante. Un motor eléctrico impulsa la correa.

Para hacer una vuelta o una intercepción se utiliza un dispositivo de elevación y uno de transferencia. Como el pallet esta bajando, la banda esta detenida con un paro neumático. Un cilindro de aire levanta un conjunto de correas de transmisión para elevar el pallet fuera de la banda principal. Estas correas de transmisión activan y mueven el pallet hacia los lados. Por cada unidad de elevación y transferencia, por lo menos un motor eléctrico y un cilindro de aire es requerido.

La formación de colas de pallets es hecha deteniendo un pallet y permitiendo una corriente hacia arriba de pallets para acumularlos detrás de él. Un cilindro de aire genera un tope que detiene al pallet sobre la banda. Esta banda puede rotar al pallet  $90^\circ$  o  $180^\circ$  para cambiar la orientación si así se desea. Un actuador neumático rotatorio y un cilindro levantador recogen el pallet, lo rotan y lo colocan de nuevo en la banda.

Una línea de retorno de bandas puede ser colocada bajo la banda de trabajo usando dos pequeños elevadores.- esto reducirá espacio y permitirá poner equipo en ambos lados de la cinta transportadora. La desventaja de la línea de retorno por elevador es el costo de los elevadores y el tiempo de ciclo requerido por los elevadores del nivel de la banda al siguiente. Normalmente siete u ocho segundos son requeridos para una transferencia. Para mejorar la salida, el elevador puede esperar hasta que dos o tres pallets estén el él, antes de que pase al siguiente nivel de la banda transportadora.

Los elevadores pueden ser usados para cargar pallets para una banda transportadora elevada, si es requerido. Sin embargo el costo de un elevador de ocho pies de altura es alto y el tiempo de ciclo para una transferencia es de diez a veinte segundos. Este dispositivo solo debe ser usado cuando es absolutamente requerido, por ejemplo, si hay suficiente espacio, la banda transportadora se puede inclinar por una pendiente para alcanzar la elevación requerida.

### **Bandas trasportadoras de par deslizante**



Tienen un conjunto de rodillos de plástico con un eje impulsor que va a través de ellos. El eje de impulsor activa el diámetro interior de los rodillos. La fricción deslizante entre el eje y los rodillos proporciona la fuerza de movimiento, la fricción de los rodillos entre el pallets y la cinta transportadora. Un eje impulsor proporciona el par al eje del rodillo a través de una correa transmisora y una polea.

Las características de la cinta transportadora de par deslizante son flexibilidad en el enrutamiento de pallets, fácil acumulación de pallets con una presión mínima y una entrega suave de partes. Los dispositivos de transferencia y de elevación son usados para hacer vueltas, la gestión de colas es también hecha de la misma forma. Los dispositivos usados para estos movimientos son funcionalmente los mismos que los usados en una banda transportadora accionada por correa. Las uniones y ramas son posibles con las bandas transportadoras de par deslizante.

Esta banda transportadora puede acumular más pallets que la banda transportadora de cadenas o la accionada por correas. La cantidad de presión de retorno o la acumulación de presión debida a la acumulación de múltiples pallets detrás de cada uno, es menor en una banda transportadora de par deslizante comparada con una cinta transportadora de cadenas o una accionada por correas. Si la presión acumulada es demasiado grande, el pallet chocara o se encimara en otro.

Esta cinta transportadora entrega partes suavemente porque no tiene fricción deslizante entre el pallet y la cinta transportadora. La cinta transportadora de par deslizante también permite poner productor directamente en la banda sin usar un pallet. Los rodillos en la cinta transportadora pueden transportar y voltear los productos, los daños en el producto no se presentan debido al roce abrasivo entre los rodillos de la banda y el producto. Los rodillos pueden ser seleccionados de tal forma que no haya fricción deslizante entre ellos y el producto. La aceleración es mas suave que una banda accionada por correa porque el rango de aceleración es variable con el tipo de rodillos montados en la banda transportadora.

Las desventajas de una cinta transportadora de par deslizante son un costo mayor, no se pueden manejar pallets pesados, y bajo rango de aceleraciones.



Debido al número de partes en una cinta transportadora de par deslizante es mas cara que una banda similar accionada por correa. La carga limite del pallet es baja. El peso del pallets debe ser soportado por el delgado eje dentro del rodillo de plástico. La carga de una cinta transportadora de par deslizante esta limitada por el espesor de estos ejes. Cuando tiempos de ciclo cortos son requeridos, la cinta transportadora de par deslizante no puede mover pallets tan rápido como una banda transportadora accionada pos correa en distancias cortas. La generación de partículas de esta banda es suficientemente baja para mantener los contaminantes por debajo de una clase 100, es decir, que el promedio es menor de 100 partículas de 0.5 µm en tamaño por cada pie cubico de aire.

### **1.3 Paletizado**

Paletizar consiste en acomodar cajas de productos sobre un soporte de madera conocido como pallet o tarima, para facilitar la manipulación y el transporte de una gran cantidad de artículos sin someterles a manejos excesivos. Los paletizadores nacen durante la II guerra mundial, cuando el ejército americano se viera obligado a manipular y expedir voluminosas cantidades de efectos de todo tipo hacia Europa. Las redes se vieron así sustituidas por unidades de mayor estandarización, que permitían un fácil posicionamiento en los sistemas integrados de logística.

Con el transcurso del tiempo, los pallets han sufrido una importante evolución desde su rol original de simple unidad logística, adaptándose continuamente al mundo de la distribución moderna. Los paletizadores actuales son capaces de tratar mejor los productos difíciles y garantizan una gran flexibilidad operativa en términos del formato de paletización y de cambio de formato. En estos momentos los puntos finales de las líneas y los paletizadores deben considerarse instrumentos estratégicos capaces de garantizar a las empresas la posibilidad de manipular los productos que el mercado exigirá en el futuro, y que en muchos casos ya está demandando. La zona de paletización no constituye el núcleo central del final de la línea: la eficiencia global de este nodo fundamental para el potencial productivo de una empresa depende de la calidad de los paletizadores, de la perfecta integración de los diversos sistemas que conforman la planta.



### 1.3.1 Paletizado Manual

Este proceso se lleva cabo por trabajadores que de manera continua están acomodando el producto final en los pallets, este es un trabajo repetitivo y agotador por lo cual es producto paletizado en muchas ocasiones es maltratado debido a la forma en que se acomoda o que se cae el piso, esto le quita calidad al producto final.

#### Ergonomía

El objetivo de la ergonomía es la prevención de daños en la salud considerándola en sus tres dimensiones: física mental y social, la aplicación de los principios ergonómicos tratan de adecuar y adaptar los sistemas de trabajo a las capacidades de los operarios y trabajadores que los usan, evitando alteraciones en la salud que puedan producirse debido a una carga de trabajo excesivamente alta o baja, para esto existen dos criterios de actuación para conseguir esta adaptación: la prioridad de actuación ante errores humanos y el ajuste de la carga de trabajo a las distintas capacidades de los trabajadores.

#### Carga física: manejo manual de cargas

Se entiende como manipulación manual de cargas cualquier operación de transporte o sujeción de una carga por parte de uno o varios trabajadores, como el levantamiento, la colocación, el empuje, la tracción o el desplazamiento, que por sus características o condiciones ergonómicas inadecuadas entraña riesgos, en particular dorso-lumbares, para los trabajadores<sup>15</sup>

Algunos ejemplos de las tareas que entran dentro del concepto de manipulación manual de cargas, son las siguientes:

- Transportar o mantener la carga alzada.
- La sujeción con las manos y con otras partes del cuerpo.
- Lanzar la carga de una persona a otra.

Para efectos prácticos puede considerarse que la manipulación manual de toda carga que pese más de 3 kg puede entrañar un riesgo dorso lumbar, el nivel de riesgo dorso-lumbar, el nivel

<sup>15</sup> González Maestro Diego, *Ergonomía y Psicología.*, España, FC Editorial, 2008, pp. 244.



de riesgo dependerá de las condiciones en que se realice la manipulación. La manipulación manual de cargas menores de 3 kg podría generar trastornos musculo-esqueléticos en los miembros superiores debido a esfuerzos repetitivos<sup>16</sup>.

En un proceso de paletizado, regularmente se manejan cargas mayores de 3 kg, por lo que dentro de la carga de trabajo representa riesgos a la salud del trabajador que se concentran en daños a la columna vertebral a nivel dorso-lumbar.

Se le denomina “carga de trabajo” a la comparación que se realiza entre las capacidades del operador con las exigencias de las tareas que desempeña, y siempre en toda actividad existen 3 tipos de exigencias generales:

- Físicas.
- Cognoscitivas.
- Psíquicas.

La carga de trabajo es el elemento que dentro de las condiciones de trabajo permite valorar la aparición de daños para la salud como consecuencia de la falta de adecuación y adaptación de las actividades y los puestos de trabajo a los trabajadores, existen 2 tipos de carga de trabajo:

- Carga externa o presión de trabajo: Es la suma de todas las condiciones y demandas externas al trabajador, presentes en su ambiente de trabajo, que de alguna manera trastornan el estado físico o psicológico del trabajador.
- Carga interna o tensión de trabajo: Es la respuesta interna del trabajador a la presión de trabajo.

Este ultimo factor es propio de cada trabajador ya que es posible que en un mismo puesto de trabajo y en la realización de una misma tarea (presión de trabajo) represente una carga de trabajo (tensión de trabajo) diferente para diferentes individuos<sup>17</sup>.

Por lo anterior puede concluirse que existe una carga interna o tensión de trabajo diferente en cada uno de los trabajadores del área de paletizado que provoca perturbaciones en el

<sup>16</sup> Ibíd., pp. 245.

<sup>17</sup> Ibíd., pp. 171 - 181.



desempeño general de esta área que debe funcionar como una unidad, rompiendo el ritmo y la homogeneidad necesaria para llevar a cabo esta operación eficientemente.

La tensión de trabajo experimentada por el trabajador es mayormente provocada por la exigencia física de esta tarea, el trabajo físico bien sea estático o dinámico, repercute en las diferentes estructuras que conforman el aparato músculo-esquelético, apareciendo esfuerzos de tracción, compresión, cizalla dura y también esfuerzos alternativos de tracción compresión. Si estos esfuerzos superan la resistencia de los elementos que conforman este sistema (músculos, huesos, articulaciones, tendones, etc.) aparecerán lesiones en los mismos.

De forma general, las consecuencias que la carga interna tiene sobre el trabajador se manifiestan inicialmente en efectos no patológicos reversibles completamente mediante el descanso adecuado, esto es lo que se denomina fatiga física, mental o psicológica. La fatiga es un aspecto importante en cualquier situación en que se desarrolla un trabajo físico, esta puede causar desplacer, distracción o un decremento en la satisfacción y en la ejecución lo cual dependerá del grado de fatiga experimentado. Estos factores pueden conducir rápidamente a accidentes, como maltrato del producto, contusiones, cortes, heridas e incluso fracturas. El siguiente grafico muestra un modelo simple de la causación de accidentes<sup>18</sup>:

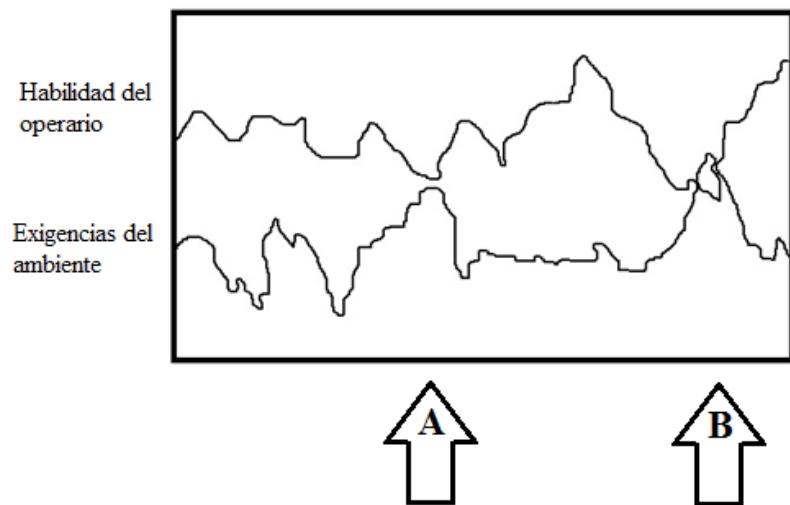


Figura 1. 12 Modelo simple de causa de accidentes

<sup>18</sup> Oborne J. David, *Ergonomía en Acción*, México, Trillas, 1987, pp. 316-318.



En la figura 1.12, en el trazo inferior representa la carga externa o presión de trabajo derivada de las demandas fluctuantes totales que el ambiente impone, en el proceso de paletizado, el ambiente le exige al trabajador un alto nivel de coordinación, puesto que la velocidad a la que debe tomar las cajas es alta, así como requiere un grado elevado de agilidad y fuerza para colocar las cajas en el orden y posición requerida, así como una buena percepción espacial y concentración. En el punto (A) el ambiente incrementa su demanda sobre el trabajador, tal vez porque existe una distracción externa por parte de alguno de sus compañeros de trabajo; sin embargo, su atención no se ha distraído tanto como para que sus habilidades estén demasiado reducidas; así de esta manera es capaz de evitar el accidente. No obstante, en el punto (B), su capacidad ha declinado dramáticamente, quizás debido a la presencia de fatiga por la demanda física que representa esta labor y ahora no es suficiente para satisfacer las demandas repentinas del ambiente. Cuando esto sucede, ocurre un accidente, en otras palabras, cuando las demandas del ambiente exceden a la capacidad del trabajador.

Por otro lado cuando es vez traspasado el umbral de recuperación de la fatiga consecuencia de una exposición continua a períodos de carga física elevada sin los tiempos de descanso oportunos, comienzan a aparecer efectos patológicos que provocan efectos negativos en la salud de los trabajadores, estos efectos también pueden ser consecuencia de un sobresfuerzo único, que causará una lesión con síntomas inmediatos.

En la figura 1.13 se resumen los diversos riesgos de la manipulación manual de cargas bajo consideraciones de seguridad y bajo consideraciones ergonómicas.

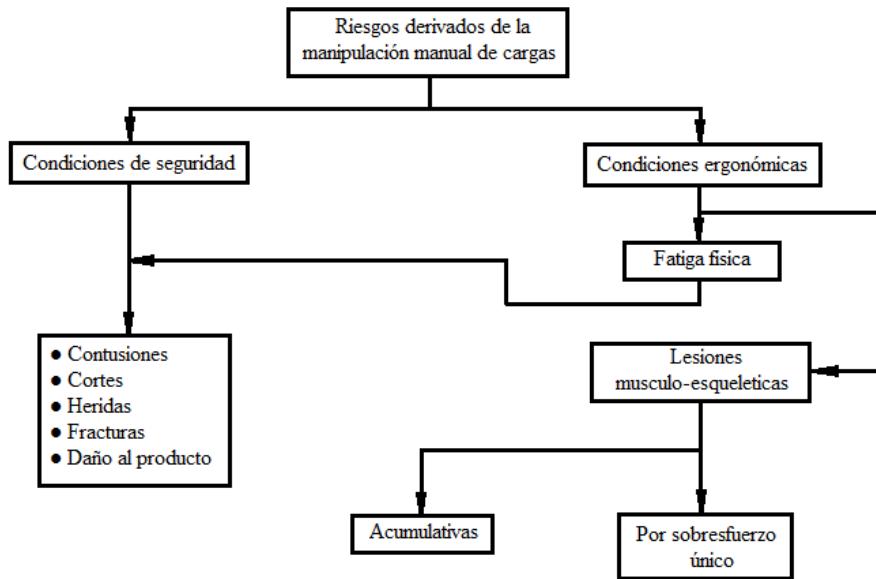


Figura 1. 13 Riesgos derivados de la manipulación manual de cargas

Estos riesgos se materializan en daños sobre las diversas partes del cuerpo, la localización de estos daños depende igualmente del tipo de riesgo que se esté considerando, para los riesgos derivados de las condiciones de seguridad, son más comunes las lesiones en los miembros superiores (como hombros, brazos y manos) e inferiores (piernas y pies). Para los riesgos derivados de las condiciones ergonómicas las lesiones pueden ir desde una lumbalgia a las alteraciones de los discos intervertebrales (hernias discales) o incluso fracturas vertebrales por sobresfuerzo.

A continuación se exponen de las lesiones y patologías musculo-esqueléticas más comunes derivadas del manejo manual de cargas:

- Hernia discal: Cuando el anillo de un disco se agrieta, el núcleo pulposo todavía turgente es empujado hacia afuera por los movimientos de la columna vertebral, es decir, se “hernia” a través de la grieta formada. La hernia se produce en correspondencia con la porción posterior y lateral del disco que es por constitución menos resistente, el disco acabará por chocar en su camino con la raíz nerviosa correspondiente que corre a su lado antes de salir de la columna vertebral. Una aparece, en general, tras un esfuerzo de



levantamiento de una carga, acompañado de un intenso dolor en la zona afectada después de dicho esfuerzo.

- Fractura vertebral: Son muy poco habituales. Los arrancamientos por fatiga de la apófisis espinosa en los trabajos de manejo de cargas son considerados como una enfermedad profesional.
- Dorsalgia: Es el dolor localizado en la columna vertebral, su origen puede estar localizado a nivel de cualquier segmento dorsal y se manifiesta por dolor que a veces se irradia en sentido anterior, con manifestaciones que simulan patologías torácicas orgánicas.
- Lumbalgia aguda: Se caracteriza por dolor intenso en las regiones lumbar y lumbosacra, que irradia hacia la zona del glúteo y la cara posterior del muslo por uno o por ambos lados. La lumbalgia se presenta de forma aguda, de repente, generalmente a consecuencia de un esfuerzo de levantamiento o la realización de un movimiento brusco de torsión del tronco. El dolor es muy violento y los músculos paravertebrales entran en una fuerte contractura lo que impide el movimiento del afectado.
- Lumbalgia crónica: Hay casos en los que el dolor en la zona lumbar aparece gradualmente, no alcanza el grado e intensidad de la forma aguda, pero persiste prácticamente de forma continua. Los estados de lumbalgia crónica se asientan en un estado permanente aunque leve de irritación mecánica del disco intervertebral por acción de un disco degenerado o de un anillo vertebral artrósico que forman protusión de modo permanente hacia el canal vertebral.
- Lumbago agudo: Dolor originado por la distensión del ligamento común posterior a nivel lumbar, existe dolor en toda la zona lumbar con impotencia funcional dolorosa y contractura antiálgica.
- Lumbo-ciatalgias: La hernia de disco se produce entre la cuarta y la quinta vértebra lumbar o bien entre la quinta vértebra lumbar y el sacro. El dolor es característico, está causado por la presión en el nervio ciático, se inicia en la región lumbosacra y se irradia a lo largo de la cara posterior o externa del muslo y de la pantorrilla hasta el pie y los dedos, territorio del nervio sacro<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> González Maestro Diego, *Ergonomía y Psicología.*, España, FC Editorial, 2008, pp. 190-193

## Estadísticas referentes a seguridad y salud del manejo manual de cargas

A continuación se presentarán estadísticas representativas con respecto al manejo manual de cargas, desde el aspecto de seguridad y el aspecto ergonómico de los efectos en la salud, aunque a lo largo de lo expuesto anteriormente se sabe que ambos aspectos están interrelacionados debido a que la fatiga influye directamente en las condiciones de seguridad al afectar la capacidad del trabajador frente a la carga de trabajo externa.

Estas estadísticas han sido extraídas de la encuesta nacional sobre condiciones de trabajo publicada por el ministerio español de trabajo y asuntos sociales referente al año 1998, a pesar de que se trata de otro país, puede realizarse una interpolación sobre estos datos, pues el manejo manual de cargas es prácticamente el mismo sin importar de que nación se trate.

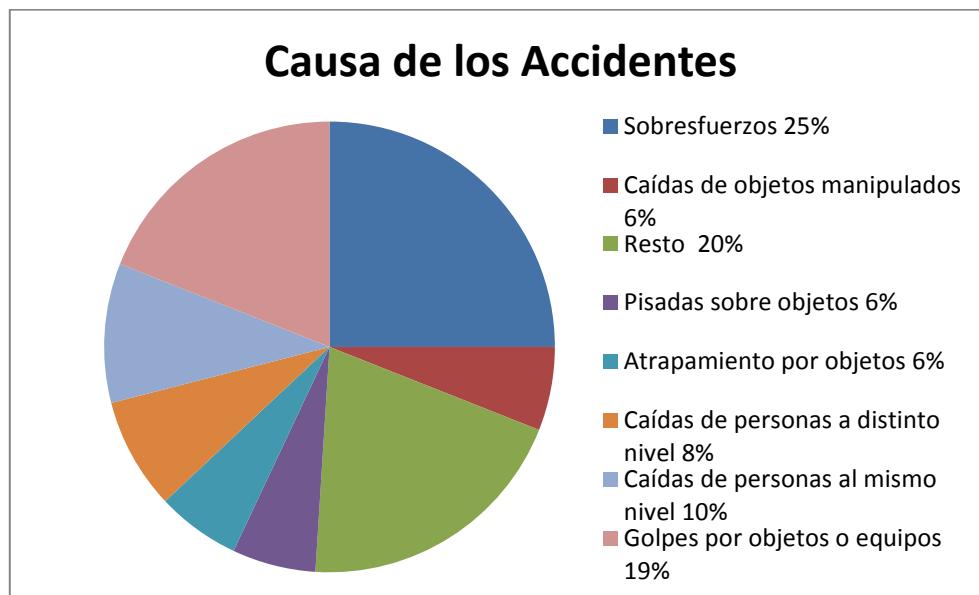


Figura 1. 14 Distribución de la forma en que se produjeron los accidentes

En la figura 1.14 se muestran las causas de accidentes referentes al manejo manual de cargas, y es de notar que la primera causa de accidente es el denominado “sobresfuerzo” el cual es un aspecto importante en las patologías musculo-esqueléticas.

En la figura 1.15 se observa la importancia de las lesiones musculo-esqueléticas dentro del total de lesiones.

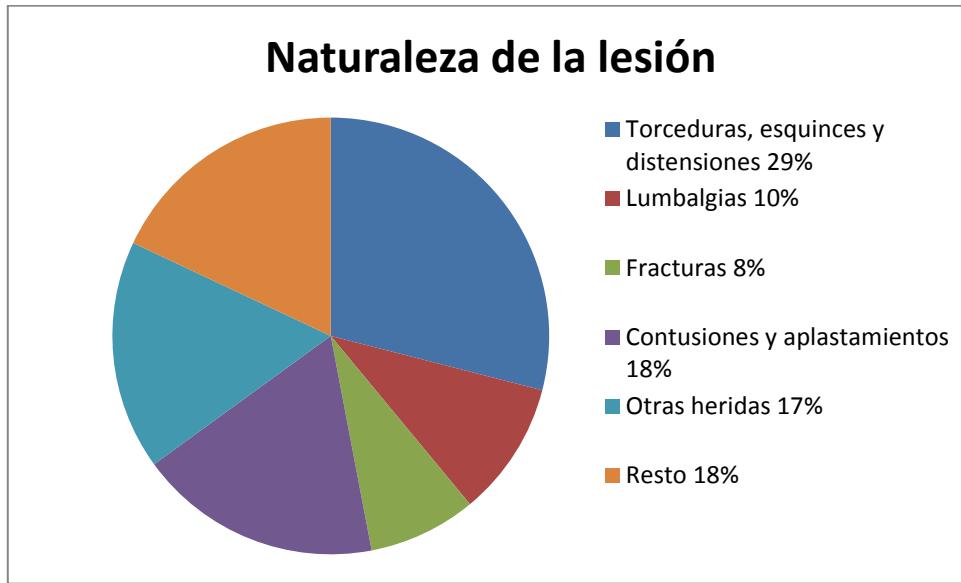
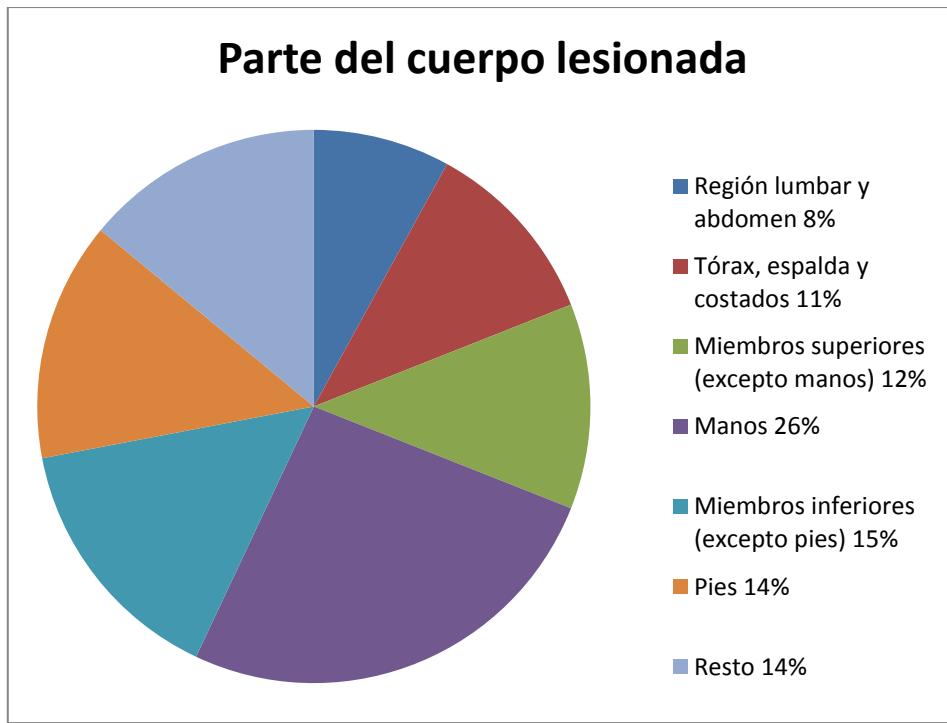


Figura 1. 15 Importancia de las lesiones músculo-esqueléticas en relación con el total de lesiones

Por último, en la figura 1.16 de la figura siguiente se presenta la distribución de las lesiones en el conjunto de los accidentes ocurridos y puede verse que la región lumbar, abdomen, tórax, espalda y costados representan un importante 19% sobre el total<sup>20</sup>.



<sup>20</sup> Ibid pp. 240-245



Figura 1. 16 Importancia de las lesiones en la región lumbar en relación a otras partes del cuerpo lesionadas.

Por todo lo expuesto anteriormente surgen las obligaciones generales del empresario las cuales se estipulan en las leyes alrededor de todo el mundo, siempre procurando la salud y seguridad de los trabajadores.

Es importante que el empresario adopte las medidas necesarias para evitar la manipulación manual de cargas mediante la utilización de equipos para el manejo mecánico de las mismas, sea de forma automática o controlada por el trabajador<sup>21</sup>.

Por lo anterior podemos concluir que la automatización es la mejor medida para eliminar todos los riesgos derivados de la manipulación manual de cargas.

## **Logística Integral**

Como es sabido, el término de flujo en el entorno industrial, puede estar compuesto por materia prima, personas, documentación, productos acabados. Ello nos permite deducir que algunos tipos de tecnologías como lo son los robots industriales, ayuden en forma significativa a mejorar la calidad y efectividad de dicho flujo físico.

El actual contexto de competencia empresarial implica una automatización y control de ciertas áreas de la empresa, lo cual obliga a una reducción de costes en todas las áreas en que ello sea posible<sup>22</sup>. Dicha reducción permite que la empresa pueda reducir sus precios de forma selectiva o que, por el contrario, pueda ganar competitividad a través de la inversión en otras áreas como comercial, marketing.

La plena aceptación de que existe algún sistema o técnica que sigue el flujo del producto desde un punto a otro de la cadena productiva, implica que diversas áreas funcionales (AF) de la empresa deban integrarse para conseguir un bien común, en lugar de dedicarse cada una de ellas a maximizar su propio beneficio.

<sup>21</sup> Artículo 3. Obligaciones generales del empresario. Real decreto 487, España 1997

<sup>22</sup> Monsó i Bustio, Julià, *Sistemas de identificación y control automáticos (I): El sistema y su entorno*, España, MARCOMBO, S.A., 1993, pp. 7-10.

Así de ante mano podemos atrevernos a predecir que la automatización de un paletizado, no ayudará a mejorar en su totalidad la productividad de toda la empresa, sino únicamente del proceso de embalaje del producto.

Para lograr la productividad de toda la empresa se tendría que sumar el aumento de efectividad en las demás áreas de la cadena logística.

En muchas empresas en las que se podría aplicar nuestra metodología de automatización adoptada para el paletizado, se puede encontrar que hay déficit de eficiencia en otras áreas diferentes al acondicionamiento de producto terminado, lo cual, le resta impacto a la inversión hecha a dicha parte automatizada, por ejemplo, en muchas empresas que tienen un gran stock detenido, la mayoría de veces es consecuencia de tener demoras en el transporte, con lo que se afecta a la parte de almacenaje por tener una saturación en el almacén, como se muestra en la figura 1.17, se observa como hay un exceso de stock en un almacén de plásticos.



Figura 1. 17 Fotografía del almacén de una empresa maquiladora de plásticos.

De hecho hay empresas que llegan a tal grado de sobre inventario de productos terminados, que el personal del área de operaciones se ve obligado a dejar fuera del almacén, las pilas de cajas (ver figura 1.18), en ésta fotografía tomada en las afueras del almacén de una empresa maquiladora de plásticos se puede apreciar el acomodo de los pallets fuera del almacén.



Figura 1. 18 Afuera del almacén de una empresa maquiladora de plásticos.

Anteriormente se tenía adoptada una indexación vertical con lo que cada área funcional se responsabilizaba de gestionar el flujo físico relativo a aquella parte que le correspondía, pero ha quedado obsoleta con la nueva indexación horizontal, en la que se integra en una sola unidad la parte de gestión del flujo físico de cada AF, dicha coordinación de departamentos es la aplicación del concepto logística integral a la empresa.

### Gestión del Flujo Físico en Sistemas de Producción

Una técnica que nos permita reducir el nivel de inventario como lo es el contar con un paletizado automático mediante un brazo robótico, nos permitirá asimismo alcanzar menores ciclos de fabricación, con lo cual los factores de competitividad se ven afectados de diversas formas:

- Las mejoras que el departamento de ingeniería incluya en los productos, así como el lanzamiento de nuevos productos, podrán realizarse de una forma más rápida gracias a la flexibilidad de la programación que hoy en día tienen los brazos ABB®.
- La reducción del ciclo de fabricación por debajo del plazo de entrega demandado por el mercado, evitará la utilización de recursos extraordinarios para cumplir con dicho plazo (horas extraordinarias, transporte de urgencia)<sup>23</sup>.
- Los planes de fabricación usualmente se basan en pronósticos de ventas o de demanda del mercado, que son fiables en el tiempo hasta cierto punto. Un ciclo de fabricación largo,

<sup>23</sup> *Ibid.* pp. 12-13.



implicará que se deba empezar a producir cuando aún se está en este punto de poca fiabilidad. Por el contrario, un ciclo corto, nos permitirá iniciar la producción más cerca de la fecha de entrega, con lo que la posibilidad de cambios en la demanda del mercado se reduce, permitiendo mejorar nuestro porcentaje de pedidos entregados dentro del plazo acordado por el departamento comercial, un brazo robótico industrial, servirá como herramienta indispensable para poder asegurar los resultados que se pronostican de esa manera ya que permite tener carga de trabajo sobre una de las últimas fases del proceso de producción, es decir, el paletizado, teniendo la capacidad de adaptación a distintos ritmos de trabajo.

- A su vez esto producirá una reducción del ciclo de fabricación al implicando una reducción de los plazos de entrega al cliente.

Todo este concepto de trabajo se engloba en el término *fabricación sincronizada* que es cualquier forma sistemática de mover el material rápidamente y sin perturbaciones a través de los diversos recursos de la planta, en conjunción con la demanda del mercado, es decir, que asegure una respuesta global óptima al cliente y a la vez satisfaciendo los requisitos internos de la organización.

### **1.3.2 Paletizado Automático**

En un proceso de paletizado de final de línea con elevado volumen de producción puede resultar muy apropiado realizar el trabajo de formación y montaje del producto en pallets mediante unidades de paletización automáticas. Estas unidades disponen de una alta capacidad y velocidad de trabajo cuando el proceso es repetitivo y el formato de montaje de los pallets es adecuadamente estable. Este proceso se lleva a cabo con un paletizador convencional o con una celda robotizada.

Aún con excelentes procesos dentro de la planta de proceso y sus buenas prácticas, la operación como un todo puede dejar mucho que desear si el paletizado no es el correcto o si éste no tiene una capacidad superior a la del proceso. El paletizado puede convertirse en el último paso exitoso de la planta o ser el cuello de botella o el proceso que genere los problemas al cliente ya sea interno o externo. Es por ésta razón dicho proceso se ha vuelto cada día más

importante y sofisticado. De acuerdo a la tipología de los productos manejados, a los formatos bajo los cuales éstos deben de ser entregados según las necesidades del mercado, a los flujos de éstos, la disponibilidad de espacio, entre otros, hay una tecnología más recomendable. Desde un paletizado o convencional hasta una celda robotizada es posible de acuerdo a las necesidades del proceso.

### 1.3.3 Paletizadores Convencionales

Una maquina dedicada es un sistema diseñado para una aplicación industrial específica, una maquina paletizadora convencional puede ser rápida y rentable pero utiliza mucho espacio en una planta, además de que solo puede atender a un solo producto a la vez, no es un sistema flexible dado que esta diseñada solo para una tarea específica.



Figura 1. 19 Paletizador convencional de sacos

En la figura 1.19 se puede observar un paletizador de sacos el cual posee dimensiones muy grandes en comparación con una celda robotizada, además esta maquina solo puede atender la línea de este producto, una de las ventajas de esta maquina paletizadora es su velocidad ya que puede paletizar de 500 a 4500 sacos por hora.

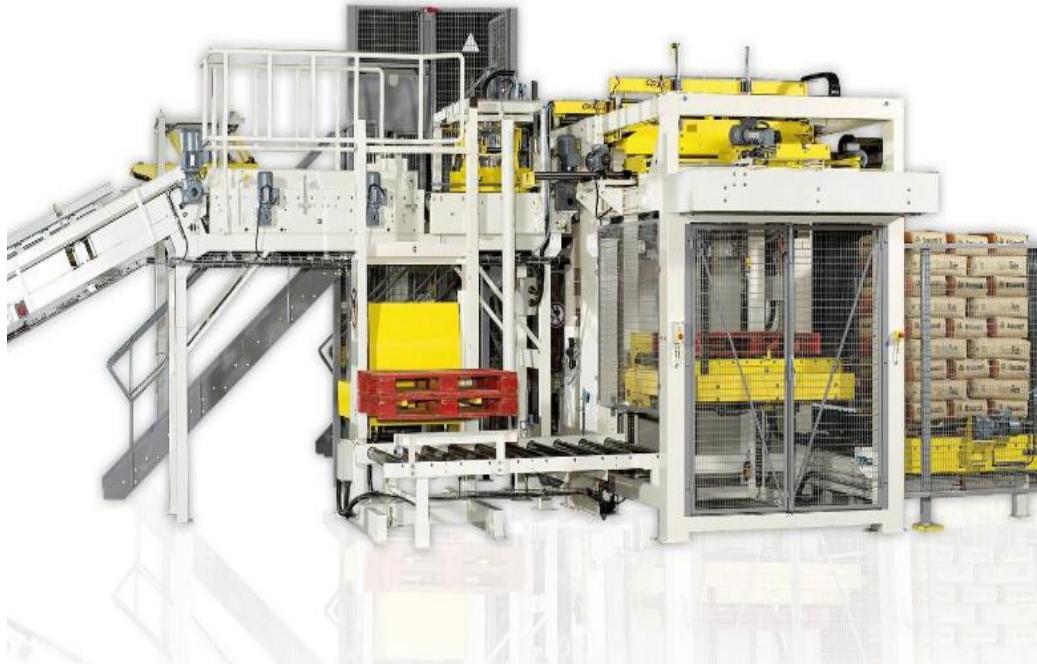


Figura 1. 20 Paletizadora por empuje lateral del saco.

En la figura 1.20 se muestra una paletizadora convencional por empuje lateral, la cual carga los pallets por la parte superior y cada capa es planchada superior y lateralmente. El sistema de orientación de los sacos se elige en función de los mismos: topes laterales, cruz de giro, etc. Esta maquina cuenta con una alta producción, de 500 hasta 4500 sacos por hora.

El sistema es robusto, tiene una cinemática simple y fiable, cuenta con una calidad de paletizado excelente, accesibilidad y seguridad de utilización. El uso de variadores de frecuencia y programa de parametrización asegura un ajuste del paletizador inmediato con cualquier dimensión de saco y producción.



Figura 1. 21 Paletizador convencional por grapa.

Otro tipo de paletizadora convencional en la de grapa que se ve en la figura 1.21, estas maquinas hacen la deposición del saco por grapa o pinza. Este sistema es adecuado para el paletizado de producciones de hasta 1200 sacos por hora, e muy apropiado para manipular sacos cosidos de boca abierta, ya que permite solaparlos entre ellos, la maquina cuenta con una calidad de paletizado buena, y además tiene un programa de cálculo automático.



Figura 1. 22 Paletizador convencional.



Las máquinas están compuestas por módulos independientes, desmontables y retro equipables, con las que puede ser ajustada la maquina paletizadora a las características de la mercancía paletizada, además cuenta con el diseño y equipado para diversas capacidades de paletizado.

El rango de capacidad alcanza su límite en 1200 paquetes por hora. Esta paletizadora convencional se pude ver el la figura 1.22.

#### **1.3.4 Celdas Robotizadas**

Las celdas de trabajo robotizadas son usadas para el paletizado automático de productos, así mismo el robot puede realizar otras tareas como la colocación de elementos intermedios entre las camas. Una celda robotizada es flexible ya que el brazo robótico puede paletizar cualquier tipo de producto terminado, desde cajas, costales, recipientes de cualquier forma, una celda robotizada es una sistema completamente seguro ya que existen normas como la ANSI/RIA R15.06-1999 encargada de la instalación, mantenimiento, implementación, puesta en marcha, seguridad, pruebas en sistemas robóticos. Una celda robotizada incrementara la productividad de la planta lo que aumentara las utilidades, manteniendo la calidad del producto final. En el caso del paletizado un robot puede ejecutar diferentes secuencias de paletizado, además puede paletizar el cualquier tamaño de pallet. Los robots utilizados en operaciones de paletizado suelen tener cuatro grados de libertad. Estos robots por su maniobrabilidad permiten una mayor flexibilidad en la configuración de los pallets, además presentan una mejor relación espacio/campo de trabajo en la planta, lo que puede significar que el brazo robótico puede atender a varios pallets de grandes dimensiones en la misma instalación. Los valores típicos para la capacidad de carga varían entre 30 y 150 kg, con repetibilidad de  $\pm 0.5$  para alcances máximos entre 0.8 y 3 m. Hoy en día los fabricantes han introducido en sus series robots específicos para paletizado, robots angulares de 4 grados de libertad que presentan una mínima flexión del brazo extendido y ocupan espacio mínimo en planta.



Figura 1. 23 Paletizador robótico

Un paletizado con un brazo robótico (véase figura 1.23) es adecuado para producciones medianas, hasta 1600 sacos por hora, o en aquellas aplicaciones donde se requiere que el robot reciba sacos de varias líneas a la vez, o que confeccione varios pallets simultáneamente. A través del panel de control se pueden programar hasta 200 formatos de paletización distintos que son almacenados en memoria para llamarlos cuando sea necesario.

El programa de generación de capas según cada pallet se suministra con cada robot de paletización y permite al usuario la creación de nuevos formatos. La pinza para la manipulación de sacos está especialmente diseñada para poder ajustarse de forma manual en función del tamaño del saco.

### **1.3.5 Comparación entre una Celda Robotizada y una Maquina de Paletizado Convencional**

En la década de 1990, los robots pótico y luego los de brazos articulados lograron importantes avances en el paletizado, lo que llevó a que muchos llegaran a la conclusión que los días de los paletizadores convencionales estaban contados.

Con el fin de manejar más de un producto a la vez, un paletizador convencional necesita almacenar capas o cargas de un producto similar en un sistema de transportadora ascendente, luego, alimentarlo a un paletizador que automáticamente cambia los patrones.

Un robot de paletizado potencialmente puede simplificar varias líneas de paletización al eliminar el sistema de transportador ascendente. Se pueden levantar varias cargas en el área de



trabajo del robot, permitiéndole al brazo trabajar todas las cargas mientras que las almacena parcialmente en forma cúbica al nivel del suelo. A continuación se presenta una tabla comparativa entre las ventajas que ofrece una celda robotizada de paletizado y una maquina para paletizado convencional:

Tabla 1. 1 Ventajas de una celda robotizada de paletizado y una maquina paletizadora convencional.

Celda robotizada de paletizado	Máquina paletizadora convencional
<b>Flexibilidad en la configuración de los pallets</b>	Solo son diseñadas para un pallet en específico
<b>Presentan una buena relación espacio/ campo de trabajo</b>	Debido a su gran tamaño, no presentan buena relación espacio/ campo de trabajo
<b>Gran precisión del brazo robótico de hasta 0.01 mm</b>	
<b>Se pueden ejecutar diferentes secuencias de paletizado.</b>	La mayoría de maquinas solo manejan una o pocas secuencias de paletizado.
<b>Se puede paletizar cualquier presentación de producto terminado.</b>	Son diseñadas solo para un número limitado de productos.
<b>El brazo robótico es flexible ya que puede ejecutar mucha aplicaciones industriales como soldadura, aplicación de spray, corte, operaciones de pulido, , atención a maquinas, empaquetado, además de paletizado</b>	Una maquina dedicada solo se diseña para un proceso en específico
<b>Para capacidades medianas de producción (<math>\leq 1600</math> cajas por hora)</b>	Manejan altos volúmenes de producción
<b>Una seguridad adecuada de acuerdo a normatividad aplicable</b>	También presentan sistemas de seguridad de acuerdo a la normatividad aplicable
<b>Un brazo robótico paletizador puede recibir producto terminado de varias líneas a la vez</b>	Solo puede atender a una sola línea de producto
<b>Un brazo robótico paletizador puede depositar producto terminado en mas de un pallet al mismo tiempo.</b>	Solo paletiza en un pallet a la vez.

## 1.4 Herramientas CAD/CAM

El diseño asistido por computadora (CAD) y la manufactura asistida por computadora (CAM), son sistemas que describen una parte mecánica como un modelo geométrico, e interactúan añadiendo datos de manufactura, pudiendo entregar esta información a un sistema de



manufactura o máquina que pueda maquilar tal parte. El dimensionamiento geométrico y la tolerancia son las prácticas que permiten dimensionar el objeto para su manufactura<sup>24</sup>.

Los sistemas de coordenadas cartesianas posicionan un punto en el espacio con referencia a dos o tres planos perpendiculares. Dos coordenadas X y Y, posicionan al punto en un plano, tres coordenadas en la dirección XYZ posicionan un punto en el espacio. Ese es su principio de funcionamiento de estos sistemas para poder generar dibujos en 2D o sólidos en 3D.

Las herramientas CAD y CAM utilizadas fueron las siguientes:

- AutoCAD® 2013
- SolidWorks® 2010
- RobotStudio® 5.14.03.01

#### **1.4.1 AutoCAD®**

Es un programa de diseño en 2D que utiliza un entorno gráfico con herramientas que ayudan a crear, capturar, conectar y mostrar diseños tales como infraestructura de construcciones, productos, industrias, layouts de plantas, o proyectos de diseño en general.

Su filosofía de trabajo permite plasmar sus ideas de forma rápida y práctica. Dicha filosofía esta basada en el dibujo a escala de objetos o lugares reales desde su construcción con líneas, círculos y demás formas geométricas básicas.

#### **1.4.2 SolidWorks®**

Es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft® Windows®, intuitivo y fácil de manejar. Es una solución completa que integra un gran número de funciones avanzadas para facilitar el modelado de piezas, crear grandes ensamblajes, generar planos y otras funcionalidades que le permiten validar, gestionar y comunicar proyectos de forma rápida, precisa y fiable<sup>25</sup>.

<sup>24</sup> F. Ostwald, Philip y Muñoz, Jairo, *Manufacturing Processes and Systems*, USA, Wiley, 9na ed., 1997, p. 582.

<sup>25</sup> Gómez González, Sergio, *SolidWorks®*, Marcombo, Colección: *El gran libro de*, 4<sup>ta</sup> ed., 2010, pp. 17-18.



Su filosofía de trabajo permite plasmar sus ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas. Dicha filosofía se basa en la utilización de parámetros clave como lo son las dimensiones (cotas) y la característica de asociatividad que permite realizar relaciones geométricas entre modelos tridimensionales. Dichos modelos pueden ser objetos independientes denominados como piezas (archivos formato .sldprt), grupos de ellas, denominados ensamblajes (archivo formato .sldasm), o bien, dibujos (archivos formato .dwg) creados a partir de la obtención de las vistas de un sólido, pieza o ensamblaje previamente diseñado. La característica de asociatividad de SolidWorks®, a su vez, permite exportar las piezas y ensamblajes diseñados en formato .sat.

#### **1.4.3 Laboratorios Virtuales**

A continuación se describirán de forma cronológica algunos proyectos de importancia relacionados con el desarrollo de los laboratorios virtuales.

##### **The Mercury Project (El Proyecto Mercurio)**

Fue el primer sistema tele-robótico accesible a través de la web que permitía a cualquier usuario de Internet alterar un entorno lejano. Este proyecto nació de las manos de Ken Goldberg y su equipo en el laboratorio de robótica de la Universidad del Sur de California en Agosto de 1994. El dispositivo constaba de un robot Scara IBM® SR5427 con 4 grados de libertad, que llevaba montada una cámara digital CCD y una pistola de aire. Los usuarios conectados debían localizar los objetos enterrados en una caja de arena con ayuda del robot<sup>26</sup>.

##### **UWA Tele-robot**

El UWA Tele-robot fue creado hacia finales del siglo XX en la Universidad del Oeste de Australia (University of Western of Australia, UWA). Constaba de un brazo ABB® IRB 1400 y permitía a los usuarios conectados mover objetos de madera de un lugar a otro sobre un tablero [Taylor y Dalton, 2000]. Este dispositivo fue uno de los primeros en incorporar el lenguaje Java

<sup>26</sup> Jara Bravo, Carlos Alberto. *Diseño de Herramientas para la Interacción Remota On-line de Robótica Industrial*. Escuela Politécnica Superior de Alicante, 2007.



en la interfaz de usuario, proporcionando la posibilidad de simular los comandos antes de enviarlos modo Off-Line<sup>27</sup>.

### **PumaPaint**

El proyecto PumaPaint permitió a cualquier usuario dibujar pinturas mediante el uso de un manipulador PUMA® ubicado en la universidad Roger Williams<sup>28</sup> [Stein, 2000].

### **Digimuse Project**

Digimuse Project fue un laboratorio web que desarrolló Ernst Wenck para observar desde distintos ángulos una escultura situada en un museo a través de una cámara montaba sobre un robot controlado desde Internet [Goldberg y otros, 1998].

### **Ouija®**

El proyecto Ouija® 2003 también surgió del grupo de Ken Goldberg poco después del Telegarden [Goldberg y otros, 2000a]. El sistema tele-robótico emulaba el tablero de una Ouija controlada por un robot. El usuario conectado marcaba una letra del tablero y el robot llevaba el cursor hacia esa letra<sup>29</sup>.

### **RoboToy®**

RoboToy® fue laboratorio web remoto de un pequeño brazo robótico en el que se podían coger y mover objetos, y ver lo que ocurría mediante un stream de vídeo.

### **Cosimir®**

Cosimir® es un simulador de aplicaciones con robots industriales desarrollado por FESTO®. Mediante este software es posible configurar células de trabajo robotizadas, programarlas y simularlas. Actualmente es uno de los simuladores más completos, existiendo una versión educacional para la docencia y otra profesional para la empresa<sup>30</sup>.

### **Easy-Rob 3D®**

<sup>27</sup> Ibíd. p 42.

<sup>28</sup> Ibíd. p 42.

<sup>29</sup> Ibídem. p 45.

<sup>30</sup> Ibídem. p 45.



**Easy-Rob 3D®.** Software de simulación de robots industriales diseñado especialmente para aplicaciones industriales, aunque también ha sido empleado para docencia. La tecnología que usa para los gráficos es OpenGL® y la interfaz está realizada en MFC® (Microsoft Fundation Classes).

### **eM-Workplace PC**

eM-Workplace PC es un software empleado en el diseño, simulación, optimización, análisis y programación off-line de múltiples robots y procesos de automatización.

### **Famous Robotic**

Famous Robotic es un software para la simulación de procesos industriales de alta precisión. Es posible introducirle el archivo CAD o DXF de la trayectoria del robot para simularla. Los gráficos están basados en una tecnología OpenGL®. Incluye también varios módulos para el diseño y programación off-line de procesos industriales.

### **Kuka.Sim Pro®**

Kuka.Sim Pro® es un software de simulación para robots tipo KUKA®. Posee muchas opciones para el modelado, simulación, comunicación y programación off-line de los robots<sup>31</sup>.

### **PC-Roset**

PC-Roset es un software desarrollado por Kawasaki® para la simulación y programación off-line de robots de esta marca. Posee tres versiones dependiendo del tipo de tarea a simular: Material Handling, Arc Welding y Painting.

### **Roboguide®**

Roboguide® es una familia de simuladores off-line desarrollada por FANUC®. Posee tres módulos: Roboguide HandlingPRO®, Roboguide PalletPRO® y Roboguide WeldPRO® que permiten simular y diseñar celdas robóticas para procesos industriales que impliquen el agarre, paletizado y soldado de objetos.

---

<sup>31</sup> Ibídem. p 47.



## RobotStudio®

Software que proporciona herramientas para la simulación de procesos industriales utilizando robots ABB®. Sus principales características son: importación de archivos CAD, edición de programas, detección de la colisión y planificación de trayectorias<sup>32</sup>. Tuvo la primera revisión, denominada RobotStudio® 2008, lanzada para las jornadas para empresas colaboradoras<sup>33</sup>.

La programación offline es la mejor forma de aumentar la rentabilidad de la inversión en sistemas de robots. La simulación de ABB® y el software de programación offline RobotStudio® permiten programar los robots en un PC sin necesidad de parar la producción.

También se pueden preparar los programas de los robots anticipadamente, lo que implica un aumento de la productividad. RobotStudio® aporta herramientas que aumentan la rentabilidad del sistema de robots, pues permite realizar tareas tales como formación, programación y optimización de programas sin alterar la producción. Esto añade muchas ventajas, entre ellas:

- Reducción de riesgos
- Arranques más rápidos
- Menor tiempo para modificaciones
- Aumento de la productividad

RobotStudio® se basa en el controlador virtual de ABB®, una copia exacta del software real que emplean los robots en la producción. Ello permite ejecutar simulaciones muy realistas, utilizando programas de robots reales y archivos de configuración idénticos a los que se emplean en la fábrica.

**Importación CAD.** RobotStudio® permite importar fácilmente datos de los principales formatos de CAD, como IGES, STEP, VRML, VDAFS, ACIS (.sat) y CATIA, lo cual le da la capacidad de poder asociar los diseños 3D de programas como SolidWorks® entre otros. Al trabajar con esta

<sup>32</sup> Ibídem. p 48.

<sup>33</sup> ABB® Robotics. *Manual del operador RobotStudio® 5.14. 2011, v. a3, Rev. F*



información de alta precisión, el programador del robot puede generar programas de robot más exactos, lo que da lugar a una mayor calidad del producto<sup>34</sup>.

**Autopath.** Ésta es una de las funciones de RobotStudio® que más tiempo ahorra. Al utilizar un modelo de CAD de la pieza que se desea programar, es posible generar automáticamente y en cuestión de minutos las posiciones de robot que se necesitan para seguir la curva, algo que de lo contrario requeriría horas o incluso días.

**Detección de Colisiones.** La detección de colisiones previene los costosos daños en los equipos. Al seleccionar los objetos afectados, RobotStudio® controlará e indicará automáticamente si colisionarán cuando se ejecute el programa.

**Carga y descarga reales.** Todo el programa de robot puede transferirse al sistema real sin necesidad de ninguna conversión. Se trata de una característica exclusiva gracias a la tecnología VirtualRobot, sólo ofrecida por ABB®.

### **RoboWave**

Simulador de robots y procesos industriales. Las principales características de este software son: diseño 3D del espacio de trabajo, simulación 3D de diversos dispositivos robóticos y programación off-line.

### **Virtual Robot Simulator**

Esta aplicación permite la programación off-line, la simulación y la monitorización de sistemas multi-robot mediante una interfaz de usuario gráfico basado en OpenGL.

La arquitectura software, puede ser fácilmente ampliada con componentes y aplicaciones externas que el usuario puede realizar. Este software se ha utilizado en diversos proyectos de investigación y desarrollo.

### **Programación y ejecución del programa**

---

<sup>34</sup> ABB®, *RobotStudio® 5 Data Sheet*, 2005, [www.abb.com/product](http://www.abb.com/product)



Los controladores de robot deben proveer un lenguaje de programación y una librería de funciones para explorar las funcionalidades del robot y del controlador. La mayoría de los fabricantes ofrecen lenguajes de programación estructurados avanzados PASCAL-like, incluyendo un lenguaje interprete dentro del controlador. Consecuentemente los usuarios pueden escribir código usando cualquier editor ASCII, descargarlo para el controlador y correrlo inmediatamente.

Algunos fabricantes también ofrecen herramientas de programación basadas en PC offline y online, las cuales le permiten al usuario diseñar código directamente en el controlador (online) usando una PC remota. Alternativamente el código se puede desarrollar offline para cargarlo al controlador en cuanto este listo.

El Flex Pendant Unit (FPU) o Teach Pendant Unit (TPU) también es usada para parametrizar y programar el sistema. Estos son básicamente ordenadores corriendo un sistema operativo que ofrecen muchas maneras de programar, parametrizar y operar el manipulador del robot<sup>35</sup>. Los controladores de robots actuales son sistemas multitareas que pueden correr varios procesos a la vez. Es posible configurar las aplicaciones para manejar todos los procesos de las células de manufactura industrial.

### **Programación on-line en RobotStudio®: Interfaz de usuario TPU**

Esta básicamente definida por el desarrollador del sistema, el desarrollador puede usar los links de comunicación disponibles y servidores remotos del controlador del robot para establecer una interface de PC para ordenar y monitorear la operación del robot alternativamente, el operador puede usar el controlador TPU para diseñar una interface de usuario. Dado que la mayoría de consolas de programación (Teach Pendant) son computadoras avanzadas, corriendo sistemas operativos, las posibilidades para el desarrollo de avanzadas interfaces son enormes y flexibles<sup>36</sup>. Por ejemplo, el TPU que viene con el controlador ABB® IRC5 es un sistema operativo Windows CE.

---

<sup>35</sup> J. Norberto Pires , “Industrial Robots Programming”, Springer, p. 103.

<sup>36</sup> J. Norberto Pires , “Industrial Robots Programming”, Springer, p. 104.



## Programación off-line en RobotStudio®<sup>37</sup>

La programación offline es la mejor manera de maximizar el retorno sobre la inversión para los sistemas de robot. El software de simulación de ABB® y el software de programación fuera de línea, RobotStudio®, permite realizar la programación de robots en una PC en la oficina sin necesidad de parar la producción.

RobotStudio® proporciona las herramientas para aumentar la rentabilidad de un sistema robótico, ya que permite realizar tareas como la programación de las tareas, sin afectar al proceso productivo. Esto proporciona beneficios durante la programación, incluyendo:

- Reducción de riesgos
- Puesta en marcha más rápida
- Aumento de la productividad
- Facilita el diseño CAD y CAM

RobotStudio® se basa en el controlador virtual (VirtualController) de ABB® es decir, tiene cargados los mismos algoritmos de control que usa el controlador IRC5, lo que permite que en las simulaciones realizadas las trayectorias generadas sean exactamente iguales a las generadas por el controlador físico.

### 1.5 Instrucciones Básicas que se Emplean para la Elaboración de un Programa de Paletizado en RobotStudio® mediante Programación Off-line

En esta parte se hablará de todas las partes esenciales para desarrollar el programa que nos dará una simulación del proceso automatizado de paletizado, se debe de recalcar que esta simulación esta hecha bajo condiciones ideales de acuerdo a los datos recabados del proceso.

<sup>37</sup> Autor prmaeplidos, “xxxx”, el nombre de revista, año, num de revista



### 1.5.1 Procedimiento para la Programación de un Proceso de Paletizado en RobotStudio®

El procedimiento que se sugiere seguir para la elaboración de un programa de paletizado en RobotStudio® (RS) es el siguiente:

1. Distribución de elementos de la celda de paletizado
2. Introducir a la celda el Robot, como sistema
3. Creación de una herramienta propia
4. Identificación y creación de Objetos de Trabajo
5. Generación de Objetivos y Trayectorias
6. Sincronización con la unidad virtual
7. Generación de tarjetas de entrada/salida virtuales
8. Creación de señales digitales o analógicas
9. Añadir eventos al programa
10. Simulación

### 1.5.2 Conocimiento del Entorno de RobotStudio®

Para llevar a cabo este procedimiento primeramente se debe abrir el programa RobotStudio® haciendo click en el ícono de RobotStudio® (ver figura 1.24).



Figura 1. 24 Ícono del Programa RS

En la pantalla inicial, click en *Empty Station* (figura 1.25), para crear una nueva estación de trabajo.

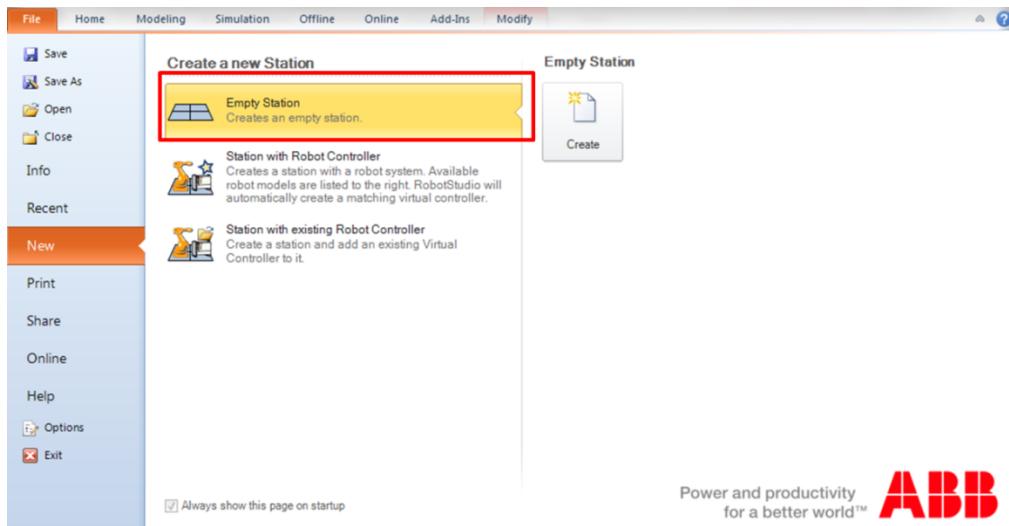


Figura 1. 25 Creando nueva estación de trabajo.

Aquí se encontrará con el entorno mostrado en la figura 1.26, donde se muestran las partes esenciales del programa.

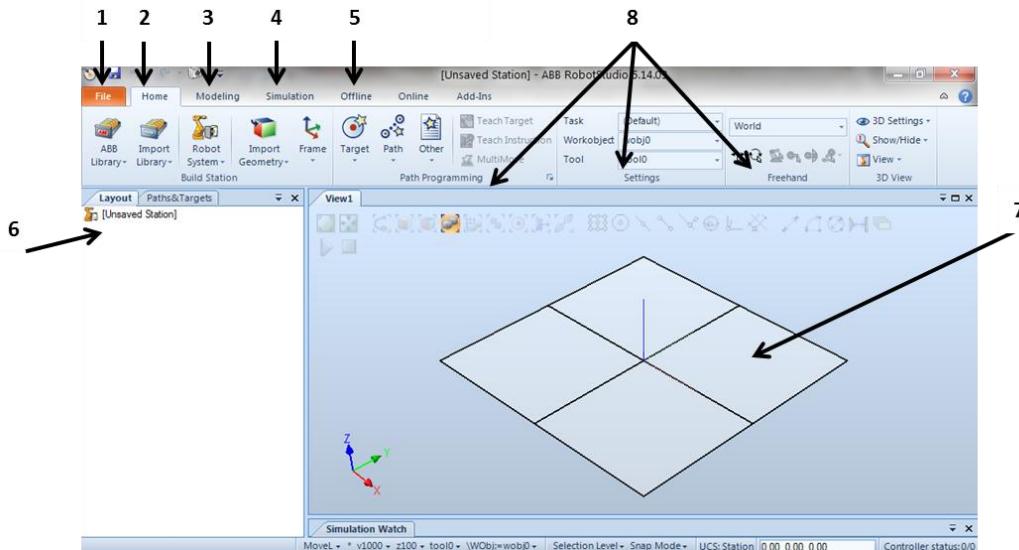


Figura 1. 26 Entorno gráfico de RobotStudio®.

Ahora se describirá cada punto señalado en la figura 1.26:

1. Pestaña File, aquí se muestran comandos como Guardar (Save), Guardar como (Save As), Abrir, etc. Para guardar un proyecto no se recomienda guardar desde la opción Save, ya que el archivo generado, sólo podrá correr en la computadora donde fue creado; en lugar



de esto, se recomienda “empacar” el archivo, en la opción de Share y click en *Pack and Go*, como se muestra en la figura 1.27:

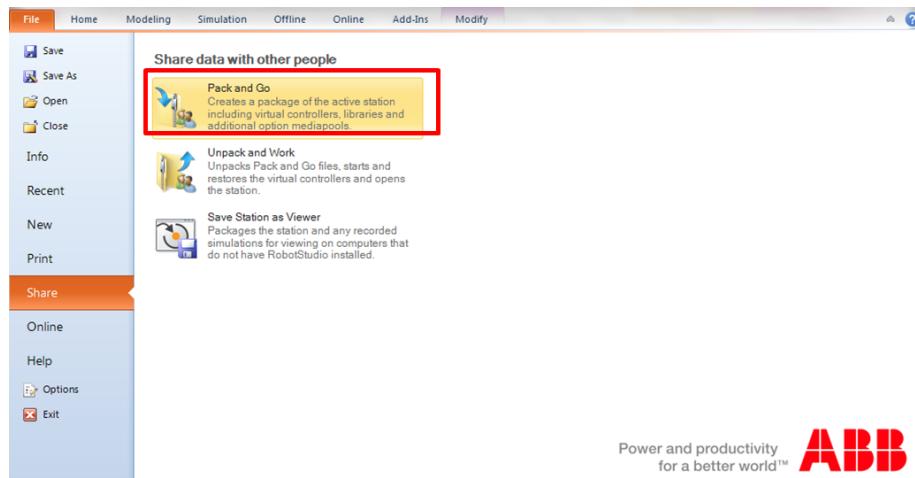


Figura 1. 27 Opción Pack and Go permite abrir proyectos desde otras estaciones de trabajo.

2. Pestaña Home, muestra el árbol de proyecto con las pestañas de Layout y Paths&Targets, así como las opciones básicas para iniciar un programa como programación de paths, construcción de la estación, selección de objetos de trabajo, movimiento a mano de figuras etc.
3. La pestaña Modeling contiene herramientas para modelar figuras dentro de RS.
4. La pestaña Simulation nos permite crear simulaciones de los programas creados, las cuales son muy parecidas a como será en la realidad, al momento de cargar el programa al robot real.
5. Pestaña Offline, permite realizar sincronizar el programa creado con la unidad virtual y a su vez, realizar modificaciones directas al código de RAPID creado, así como la creación de tarjetas, señales y eventos.
6. En esta sección se irá mostrando el árbol de proyecto de los sólidos que se utilicen (pestaña layout), así como todas las trayectorias y objetivos creados (pestaña Paths&Targets).



7. Esta es el área de trabajo, donde se podrán visualizar tanto el robot como los sólidos y tener manipulación sobre ellos.
8. Sub-menús dentro encontrados dentro de cada pestaña.

### 1.5.3 Obtención de un Robot como Geometría

Antes de importar un robot como sistema, primero se recomienda importarlo como geometría, hacer toda la distribución de sólidos de la celda de manufactura y posteriormente al iniciar con la programación ya se puede obtener como sistema, esto para tener un mejor control en la manipulación del robot, ya que como sistema ocasionalmente el robot se mueve lento.

Para ingresar un robot como geometría únicamente nos vamos al menú Home, en el submenú *Build Station* (Construcción de Estación), dar click en el botón *ABB® Library* (Librería de ABB®) como se muestra en la figura 1.28 y seleccionar el robot para trabajar.

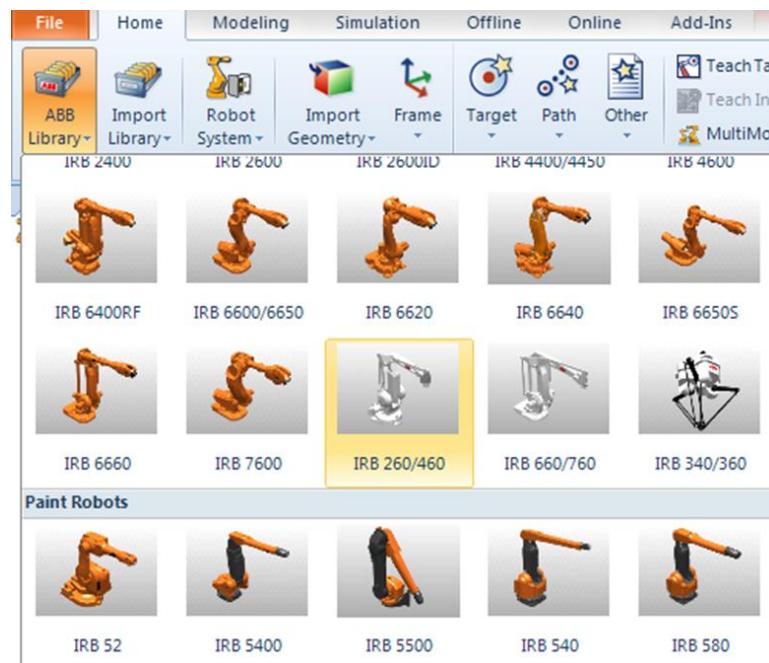


Figura 1. 28 Importar un robot como geometría en RS.



#### 1.5.4 Sistemas de Coordenadas en RobotStudio®

Existen dos sistemas de coordenada que se estarán utilizando todo el tiempo a través de la programación en RS, para lo cual es necesario explicar la diferencia entre coordenadas mundo y las coordenadas locales. Como se observa en la figura 1.29, las coordenadas mundo, es un sistema de ejes cartesianos que RS utiliza para referenciar cualquier objeto dentro del área de trabajo, es decir son las coordenadas generales, mientras que las coordenadas locales, son propias de cada objeto.

Si se posiciona un objeto como se verá más adelante, RS nos pedirá especificar si se desea posicionar con respecto a las coordenadas mundo o las locales, por lo que si se elige por coordenadas mundo, siempre se esta referenciando al sistema de la izquierda en la figura 1.29 pero si se posiciona el objeto con coordenadas locales, el objeto se estará desplazando sobre su propio eje, lo mismo ocurrirá al rotar un sólido, con coordenadas mundo el objeto se trasladará sobre una circunferencia con centro en el sistema general de RS, mientras que si la figura se referencia a coordenadas locales, ésta rotará sobre su propio eje.

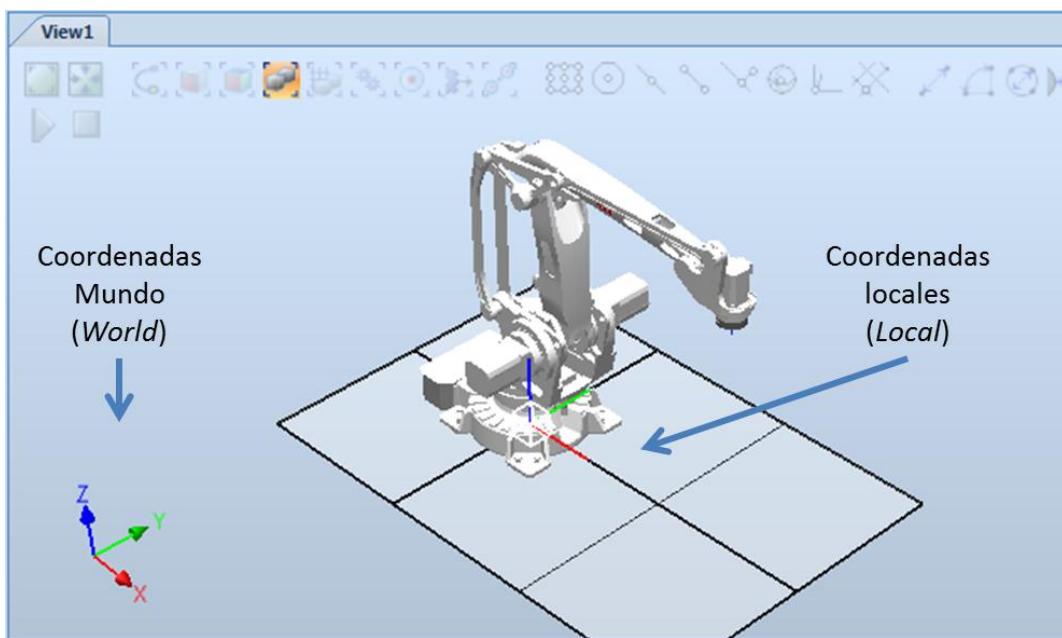


Figura 1. 29 Sistemas de coordenadas en RS.



### 1.5.5 Importar Modelos 3D a RobotStudio®

Para importar sólidos diseñados en 3D a RobotStudio® únicamente se debe dar click en la pestaña de *Modeling*, a la opción *Browse for Geometry*, y se busca el archivo en el explorador de Windows. Recordar que RS sólo es compatible con cierto tipo de archivos, los cuales se mencionan en el tema Importación CAD dentro del punto 1.1.3 de este capítulo.

### 1.5.6 Herramientas para Posicionamiento de Objetos en RS

Para mover, rotar, o posicionar mediante coordenadas X, Y, Z, RS maneja ciertas herramientas muy útiles a la hora de presentarse este tipo de necesidades cuando se realiza la distribución de sólidos de la celda de paletizado.

#### Herramientas manuales

Para hacer esto manualmente, hay opciones en RS que permiten mover linealmente un objeto, en la pestaña de *Home*, sub-menú *Freehand* (Mano libre), las cuales se pueden apreciar en la figura 1.30:

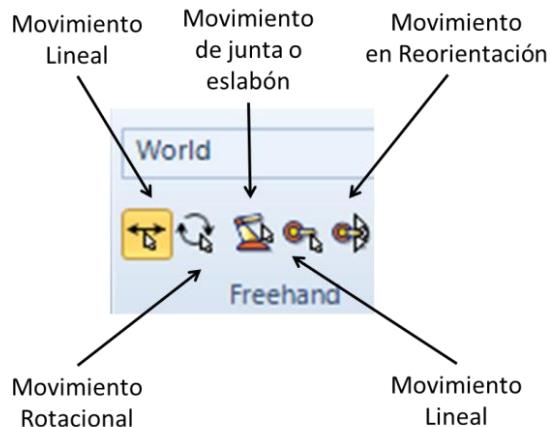


Figura 1. 30 Tipos de movimiento disponibles en RobotStudio®

Las dos primeras son para cualquier sólido, y las segundas para cuando un robot esta presente en el área de trabajo como un sistema, no como sólido.

En los movimientos lineales se podrá desplazar la figura o robot, a través de los ejes cartesianos, como se muestra en la figura 1.31:

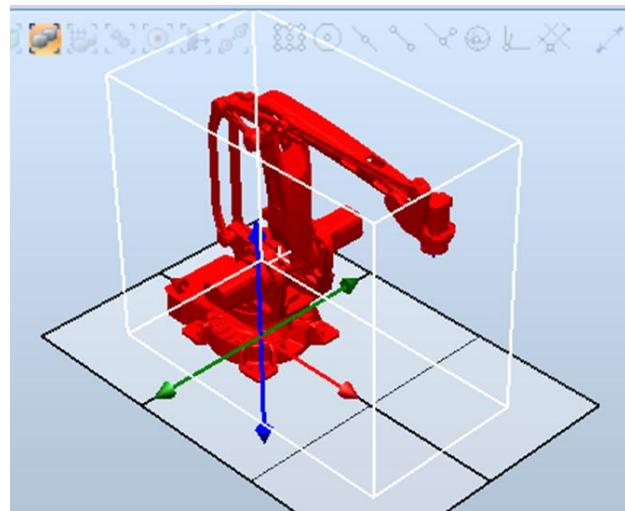


Figura 1. 31 Movimiento lineal

En el movimiento rotacional se podrá mover el objeto, a través de los ejes polares como se muestran en la figura 1.32:

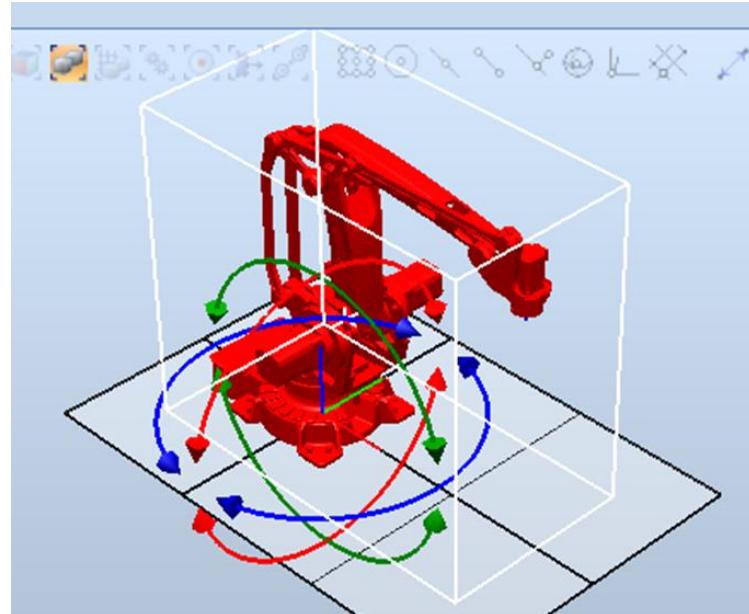


Figura 1. 32 Movimiento rotacional.

En el movimiento de junta (ver figura 1.33), el robot se puede mover por junta, es decir, que el robot queda articulado para poder posicionarlo libremente.

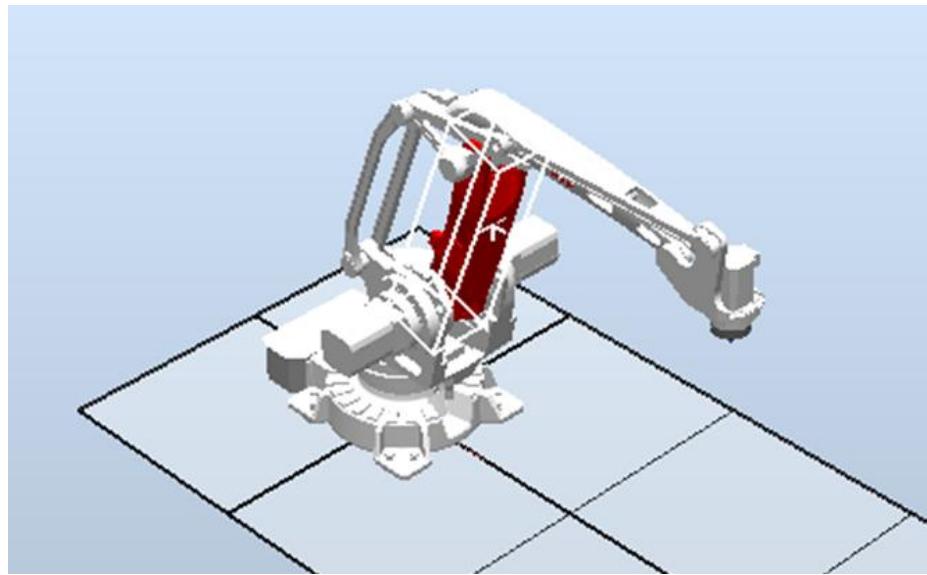


Figura 1. 33 Movimiento por junta.

En el movimiento lineal (ver figura 1.34) para el robot, este se podrá mover a través de los ejes cartesianos tomándolo por su punto centras de herramienta , pero siempre conservando su orientación paralela al plano  $X,Y$ , lo cual da una ventaja para cuando se quiera mover al robot, sin perder dicha orientación, herramienta fundamental para el paletizado.

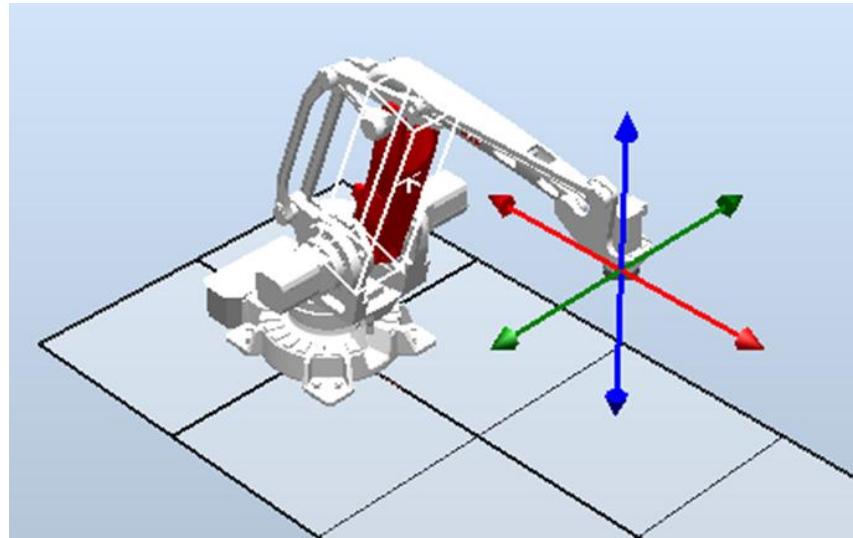


Figura 1. 34 Movimiento lineal para un robot.

El movimiento en reorientación (ver figura 1.35) sirve de cuando RS manda un error a la hora de programar una instrucción de movimiento en el robot, donde la mayoría d las veces, esto

se da debido a que el robot no es capaz de tomar la mejor ruta para llegar a un punto y hay que reorientarlo sobre ese punto para que se reconfigure la trayectoria y ahora si el robot tenga oportunidad de recalcular su movimiento.

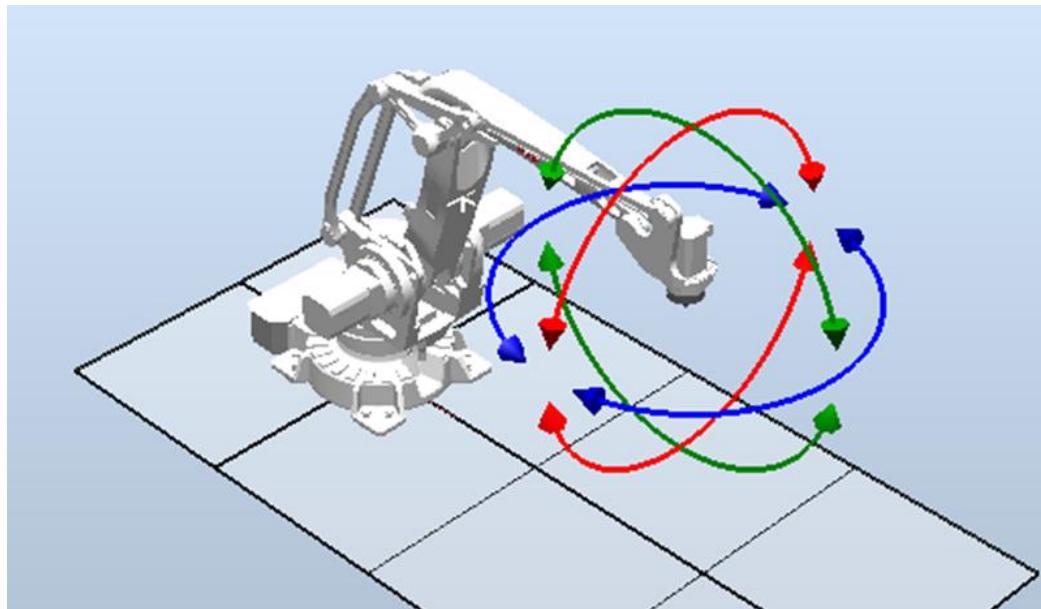


Figura 1. 35 Movimiento en reorientación para un robot.

### Cambiar el origen de un sólido

La mayoría de los sólidos que se modelan en un entorno como el de SolidWorks<sup>®</sup> o cualquier otro software de diseño en 3D, asignan un punto de origen al sólido, al momento de dibujarlo. Al importar el sólido a RS, siempre aparece en las coordenadas mundo, si el sólido tiene su punto origen en el centro de una de las caras, por default, RS hará coincidir este punto con el punto 0,0,0, lo que hará que el sólido aparezca entre el plano de trabajo, si por ésta razón o por cualquier otra se desea modificar el origen de alguna figura, únicamente nos dirigimos al árbol de proyecto en la pestaña *Home*, se le da click derecho al sólido, y click en la opción *Set Local Origin* (Configurar el origen local) como se muestra en la figura 1.36.

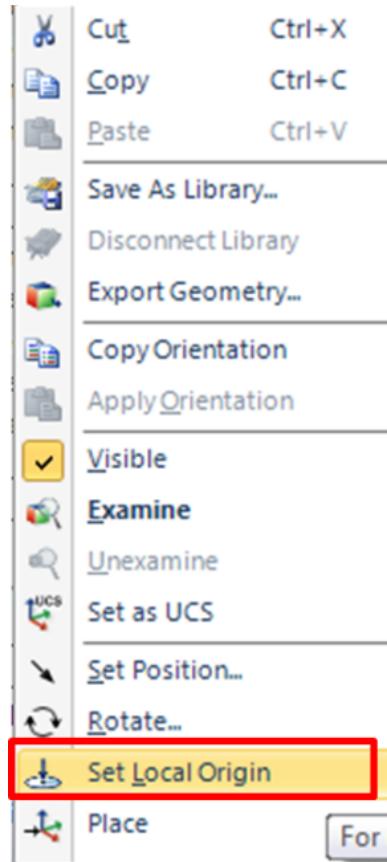


Figura 1. 36 Operación para Set Local Origin.

Y en la ventana que se despliega (ver figura 1.37), se ingresan las coordenadas a las que se quiere reposicionar el objeto (recordar que esto puede ser con respecto a las coordenadas mundo o con respecto a las coordenadas locales).



Figura 1. 37 Ingresar nuevas coordenadas para el origen local del objeto.

## Herramientas exactas



Existe otro método para posicionar un objeto, es el más utilizado ya que las herramientas manuales son muy inexactas. Dicho método consiste en utilizar una herramienta denominada *Set Position* (Establecer posición), para hacer esto simplemente nos posicionamos sobre un objeto dentro del menú *Home*, pestaña *Layout*, y en el árbol de proyecto, click derecho sobre el objeto y click en la opción *Set Position* como se muestra en la figura 1.38.

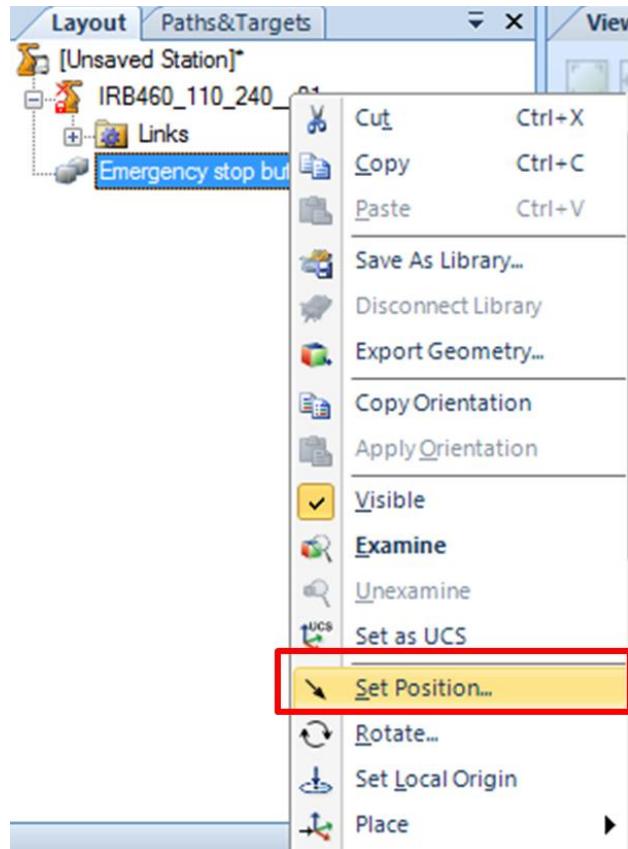


Figura 1. 38 Función Set Position...

Se desplegará una ventana como la vista en la figura 1.39 donde se podrán ingresar los valores que se desean para la nueva posición del objeto, pudiéndose permitir, inclusive, especificar en qué ángulo de rotación se desea que este inclinado el objeto pero todo esto de una manera más exacta (recordar que se puede realizar el establecimiento de la nueva posición con respecto a coordenadas mundo o con respecto a coordenadas locales).

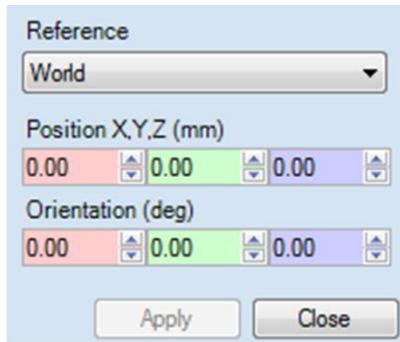


Figura 1. 39 Ingresar nuevas coordenadas de la posición el objeto.

Para comenzar a realizar la programación de los movimientos del robot, primeramente se inserta como un sistema, para esto, como ya se tenía como geometría, nos vamos al menú *Home*, sub-menú *Build Station*, Opción *Robot System* (Sistema de Robot), y click en *From Layout* (Desde distribución) como se muestra en la figura 1.40.

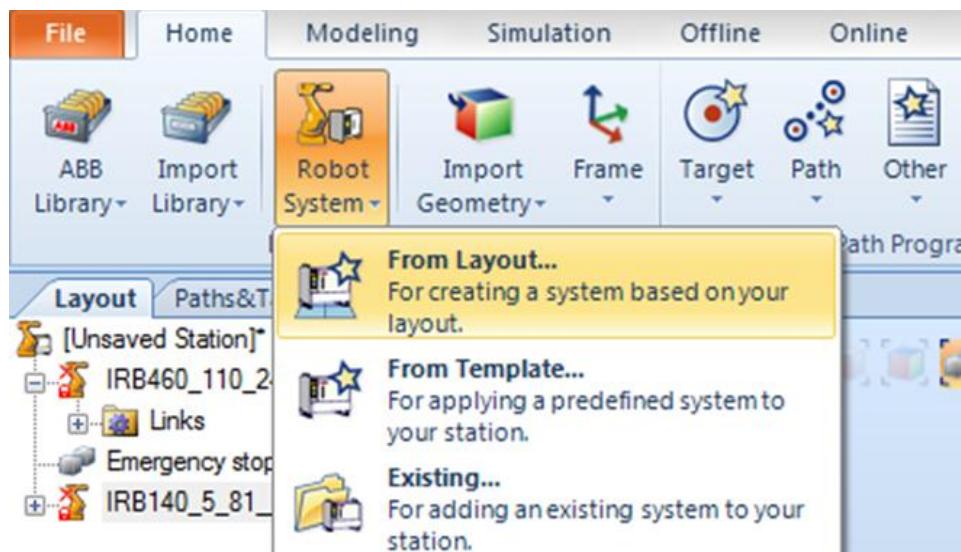


Figura 1. 40 Ventana para crear obtener un robot como sistema, a partir de una distribución de sólidos.

En al ventana desplegada se re-elije la ubicación del sistema dando click en Next (ver figura 1.41).

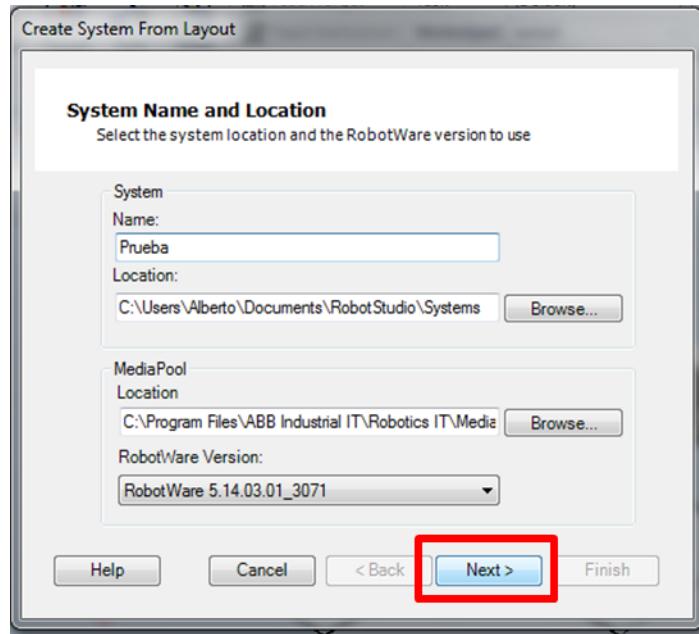


Figura 1. 41 Ubicación para crear un nuevo sistema de robot.

En la pantalla siguiente (figura 1.42) se da click en *next*, solo se selecciona el robot de los sólidos que se tienen, al que se le aplicará el sistema.

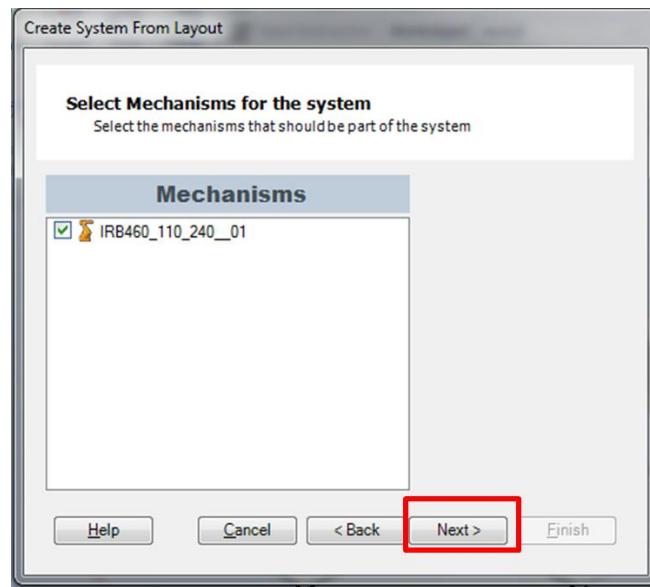


Figura 1. 42 Seleccionando robot geometría, para convertirlo en sistema.

Luego de que RS realiza las operaciones correspondientes, click en *Finish* (Finalizar) como se muestra en la figura 1.43.

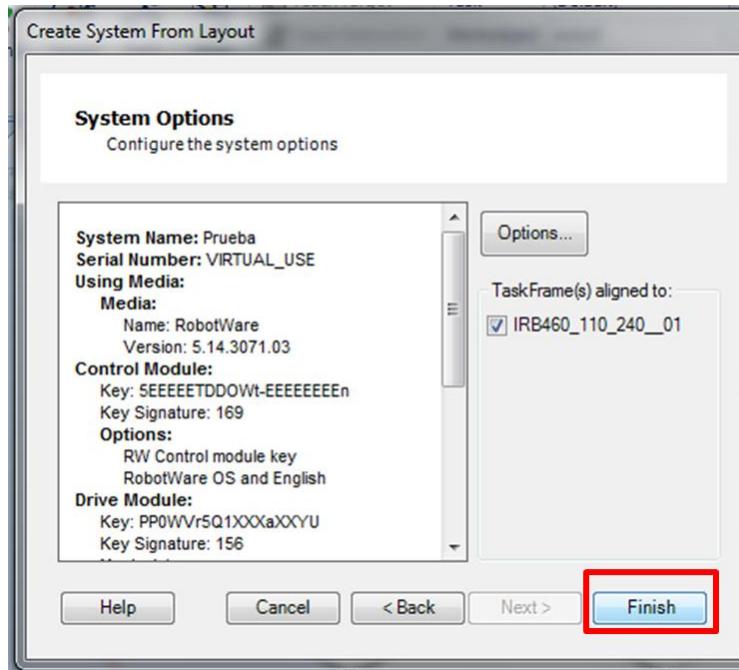


Figura 1. 43 Finalizar la conversión.

Para corroborar que el robot es ahora un sistema, se verifica que el estado del controlador este en color verde, como muestra la figura 1.44.

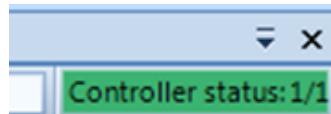


Figura 1. 44 Sistema robótico con el controlador detectado.

### 1.5.7 Creación de una Herramienta (Tool) Propia en RS

Para crear una nueva Tool en RobotStudio® se necesita de los siguientes pasos:

1. Nos vamos a la pestaña *Home*
2. Se selecciona el ícono *Other*
3. Se selecciona *Create Tooldata* (ver figura 1.45).

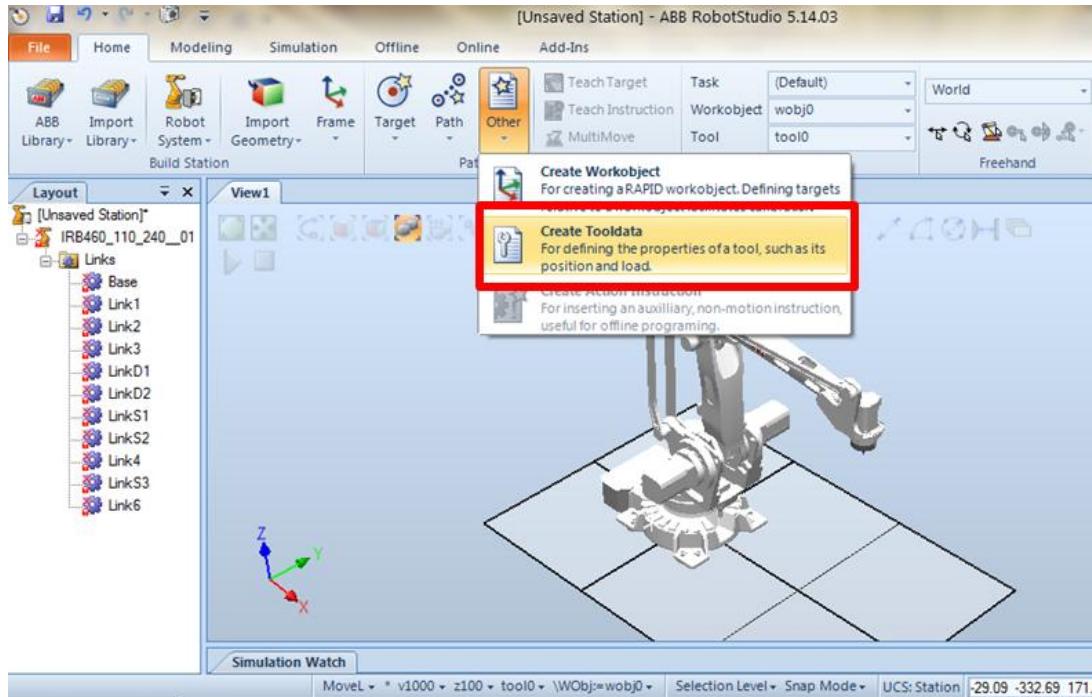


Figura 1. 45 Creación de una nueva tool en RS

4. En *Tool Frame*, *Position x, y, z* se agregarán los valores de las coordenadas x, y, z que deseamos para nuestra nueva *Tool* (ver figura 1.46), y el nombre que RS le da la la primera tool por default es la *Tool0* y esta tiene coordenadas 0,0,0.
5. Se presiona el botón *Create*

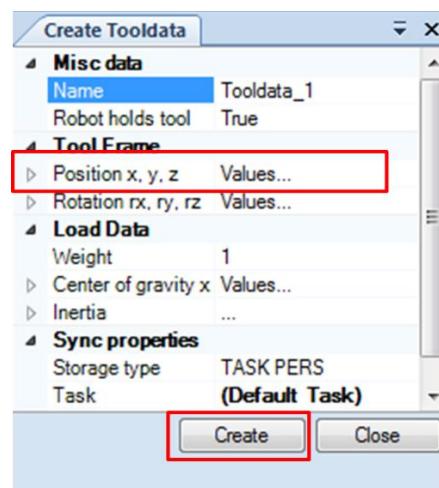


Figura 1. 46 Creación de una nueva tool en RS



Cuando se hace esto en el brazo robótico aparecerá la ubicación de la nueva *Tool* como se muestra en la figura 1.47, que en este caso se le dio el nombre por default del programa: Tooldata\_1

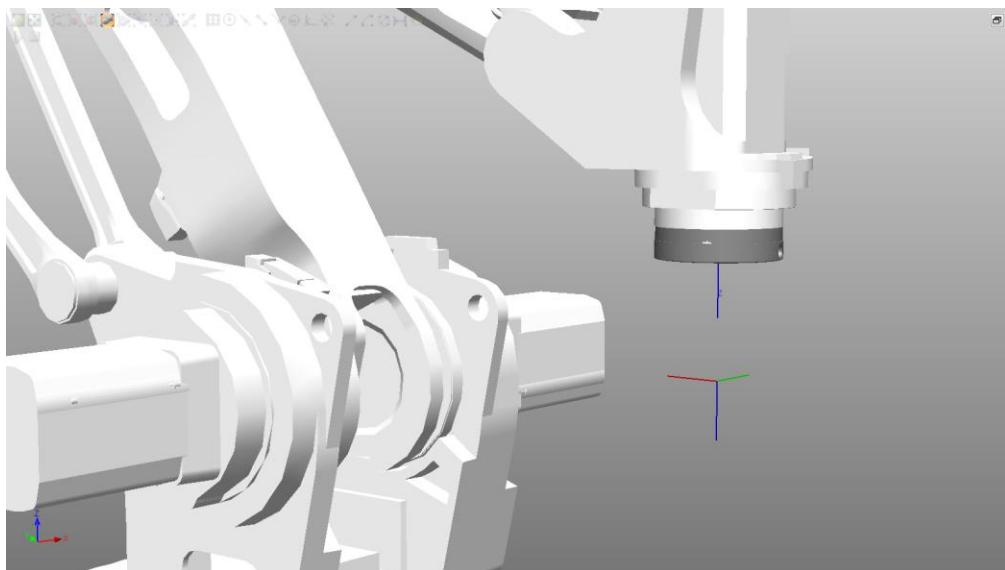


Figura 1. 47 Nuevo TCP llamado “Tool data\_1”.

### 1.5.8 Creación de Objetos de Trabajo (*Workobjects*)

Son sistemas de coordenadas que se graban en posiciones específicas de un sólido 3D de referencia. Todas las instrucciones de movimiento y objetivos que se crean para durante la programación tendrán que ir referenciados a estos *Workobjects*, lo cual tiene como propósito conservar dichos movimientos al pasar el programa realizado en RobotStudio® al robot real cuando tales sólidos se han alterado en la realidad. Es decir que si se crea un *Workobject* sobre una banda transportadora, se graban las instrucciones de movimiento con respecto a dicha banda, y al pasar el programa al sistema real, notamos que la banda se ha movido de lugar por 10 cm, se reconfiguran las coordenadas de ese *Workobject* definido, es decir que permiten la calibración y modificación de la celda. Para crear una nueva *Tool* en RobotStudio® es el siguiente:

1. Nos vamos a la pestaña *Home*
2. Se selecciona el ícono *Other*
3. Se selecciona *Create Workobject* como se muestra en la figura 1.48.

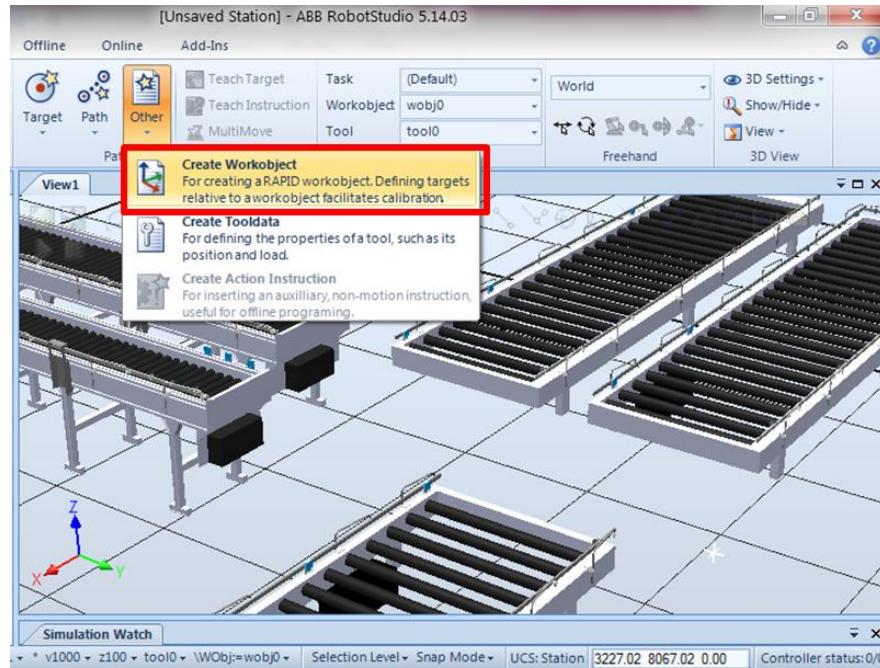


Figura 1. 48 Creación de un Workobject.

En la ventana desplegada mostrada en la figura 1.49:

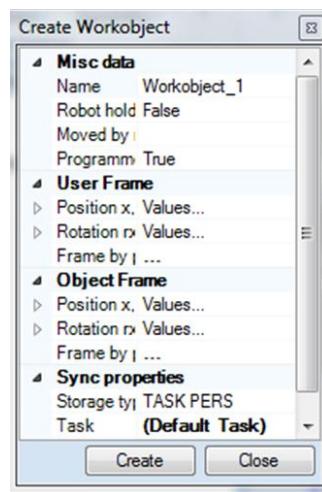


Figura 1. 49 Ventana para crear un Workobject.

En la sección Referencia de Usuario (*User Frame*), click en Referenciar por puntos (*Frame by Points*) y aparecerá el cuadro siguiente mostrado en la figura 1.50:



Position       Three-point

First point on X axis (mm)  
0.00 0.00 0.00

Second point on X axis (mm)  
1000.00 0.00 0.00

Point on Y axis (mm)  
0.00 1000.00 0.00

Figura 1. 50 Cuadro para definir coordenadas de un nuevo Workobject.

Se selecciona la opción, referenciar por tres puntos (*Three-point*) y se seleccionan tres puntos de referencia para crear el Workobject, en el ejemplo de la figura 1.51 se crea un Workobject para cada banda transportadora donde para cada uno se tendrán que seleccionar dichos tres puntos en el orden mostrado.

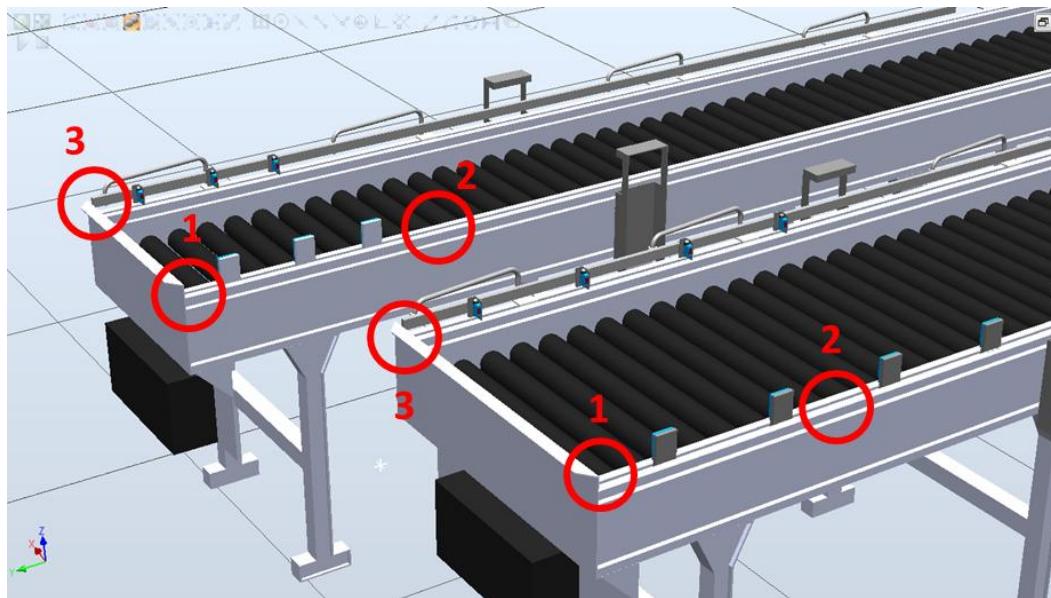


Figura 1. 51 Definición de Workobjects por el método de tres puntos.



### 1.5.9 Modos de Selección de Sólidos y Referencias (Snaps)

Como ya se mencionó RobotStudio® es un programa con muchas herramientas útiles, una de estas es el modo de selección de los sólidos, es decir, que si un grupo que forma un determinado sólido en 3D, esta separado en partes, y una dichas partes están separadas en cuerpos, se puede realizar la selección completa o por secciones, incluso superficies, de dicho sólido. El menú para modos de selección, se encuentra ubicado en la parte superior del área de trabajo en RS, y se muestra en la figura 1.52:

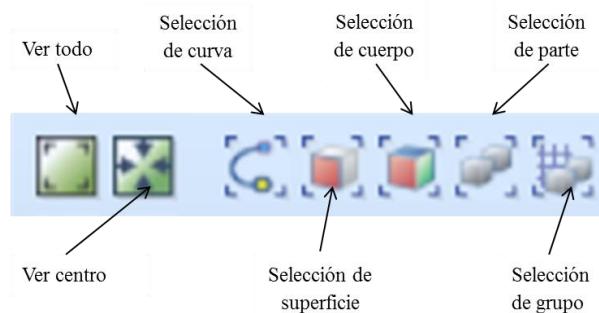


Figura 1. 52 Menú para modos de selección de sólidos en RobotStudio®.

En todo momento que se tenga problema para moverse a través del área de trabajo en RS, oprimir el botón Ver centro visto en la figura 1.52. Otra herramienta para poder interactuar con las distintas geometrías dentro de RS son las referencias ó en inglés, *Snaps*, los cuales sirven para que detecte cierta característica en una geometría como el centro, los finales de una línea, el centro de un círculo, etc. y esto nos ayuda a grabar los Targets de una manera mas fácil y rápida. Para seleccionar el tipo de snap que se desea detectar, se activa desde el menú que se encuentra situado en la parte superior del área de trabajo de RS, el cual se muestra en la figura 1.53.

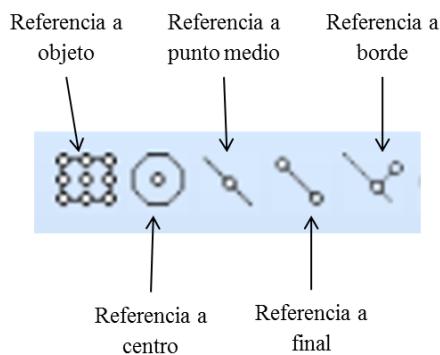


Figura 1. 53 Menú para selección del tipo de referencia ó snap en RobotStudio®.



### 1.5.10 Creación de un Objetivo (Target) en RS

El procedimiento para grabar un target es el siguiente:

1. Se debe estar seguro que se tiene seleccionado el Workobject adecuado (ver figura 1.54) de acuerdo al Target a grabar.

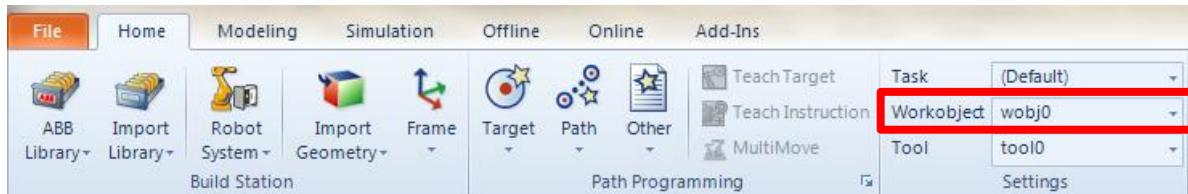


Figura 1. 54 Workobject seleccionado al crear un target.

2. En la pestaña de Home, se selecciona el icono de Target.
3. Se le da a la opción de *Create Targets on Edge* como se muestra en la figura 1.55.

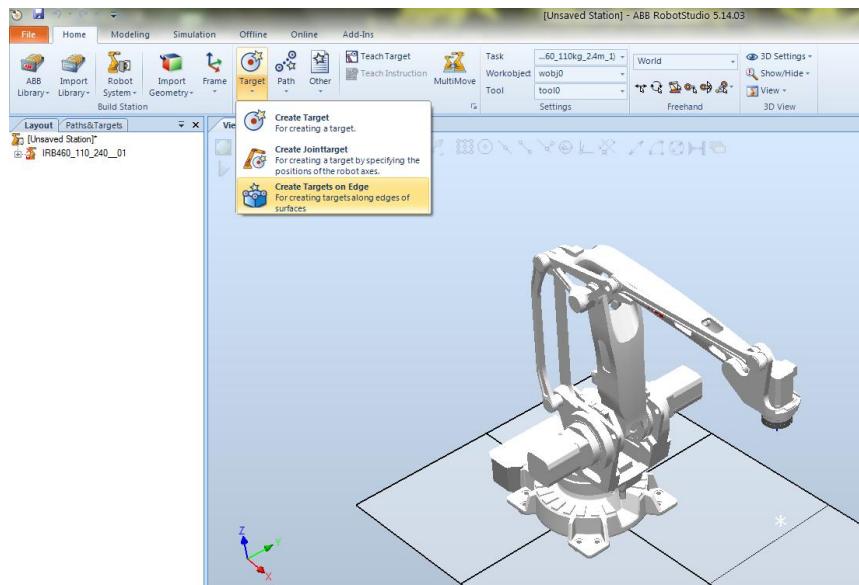


Figura 1. 55 Creando nuevo target.

4. Se le da click al Snap tipo Mid ya que este ubica al cursor en el punto medio de una línea recta.
5. Posteriormente solo se selecciona el punto donde se quiere que se posicione el gripper, como lo muestra la figura 1.55.

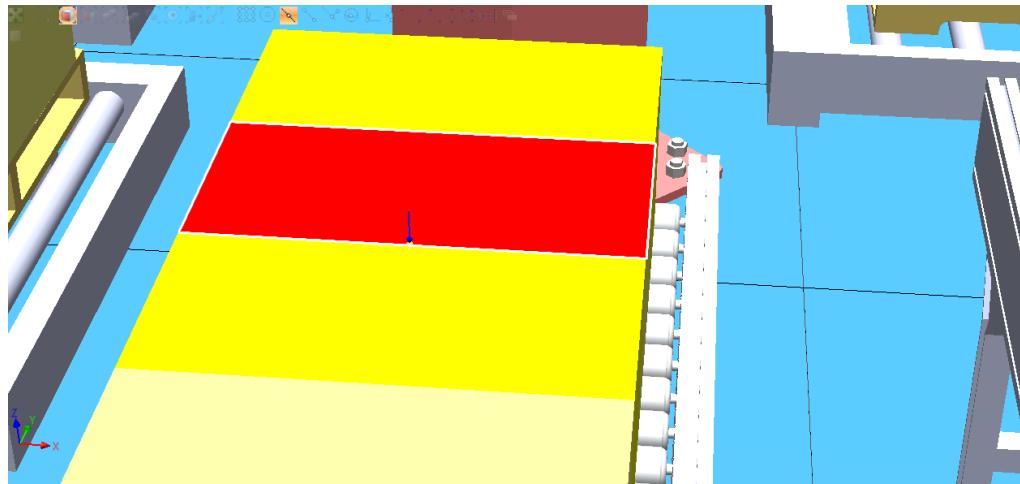


Figura 1. 56 Creación de un Target o “objetivo”.

Este punto es guardado como un nuevo Target y al presionar el botón de Create el nuevo Target aparece en la ventana de Paths and Targets. En la figura 1.57 se detecta un nuevo target, este punto estará referenciado al Tooldata\_1 creada anteriormente, ya que este tool esta seleccionado al momento de crear el target.



Figura 1. 57 Nuevo target se muestra s dentro de la pestaña de Home, dentro del árbol de proyecto Paths&Targets, en la rama de Workobjects & Targets.

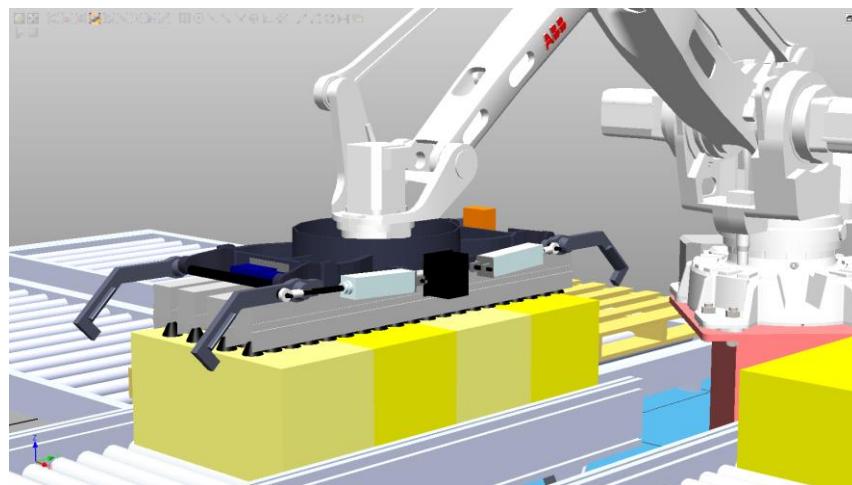


Figura 1. 58 Robot posicionado en un target creado.



En la figura 1.58 se ve como al ser creado un Target, y la Tool adecuada a al gripper, el brazo robótico ya puede ir a tal punto con la función ver robot en objetivo, explicada más adelante. Existe la posibilidad de que el robot no tenga el alcance suficiente para llegar al Target, en tal caso aparece un mensaje en la ventana de Output de RobotStudio®, indicando tal situación.

Ahora se vera otro caso en el que es necesario modificar la posición del Target ya que no se puede detectar el punto deseado, esto pasa en el arreglo de tres cajas ya que aquí si se desea que sea en un punto medio de una recta, pero en el centro de una superficie.

### 1.5.11 Modificar la Posición de un Target

En la figura 1.59 se puede ver la posición inicial que se detectó con *snaps*, la cual se desea modificar.

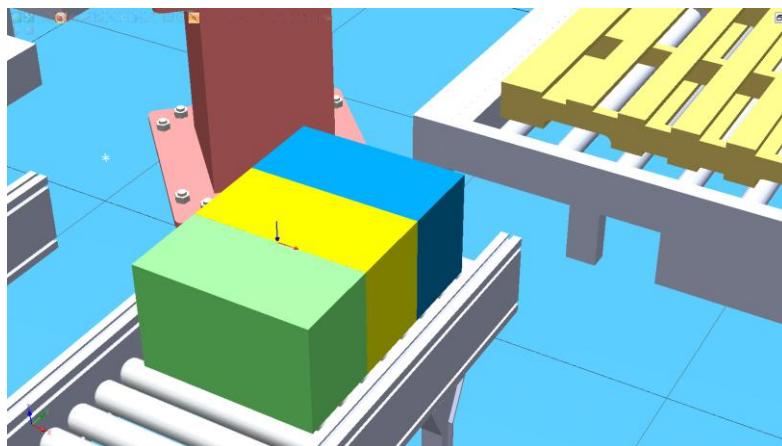


Figura 1. 59 Cambiar la posición del target.

Lo que se debe hacer es para mover el Target a la posición deseada es lo siguiente:

1. Nos dirigimos a la ventana de *Paths and Targets* y nos metemos Sistem1, que es básicamente el controlador virtual de el brazo robótico.
2. Nos dirigimos a la pestaña de *Workobjets & Targets*
3. Se busca el *Workobject* en el cual se haya grabado el Target
4. Una vez ubicado el Target, se da click al botón secundario.
5. Nos vamos a *Modify Target, Set Position*.
6. Se abrirá una ventana donde están las coordenadas del objeto, es importante decir que en RobotStudio® existen 4 sistemas de coordenadas, pero el mas usado será del tipo

coordenadas mundo, entonces en Reference, se le pone World. Ahora aparecen las coordenadas mundo o World.

7. En estas ventanas de cada coordenada,  $x$   $y$ ,  $y$   $z$  ya se puede solo se desplaza el Target en el eje adecuado para situarlo donde debe estar.

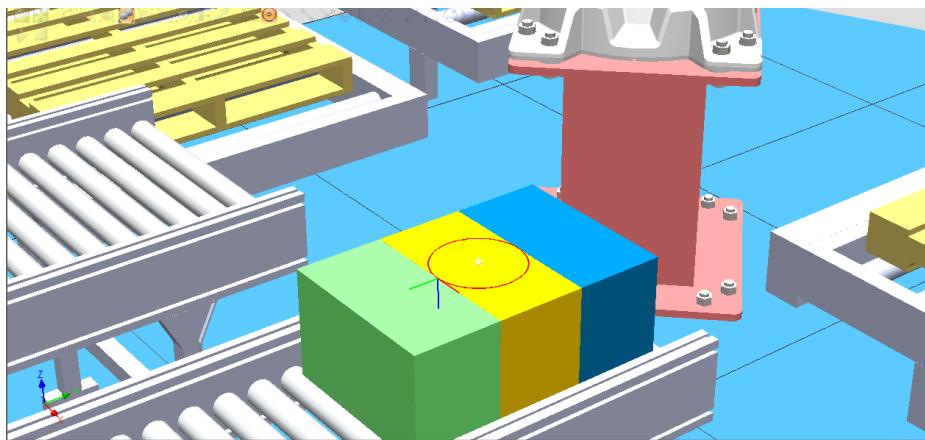


Figura 1. 60 Target modificado.

En la figura 1.60 se puede ver como ya se modifico el target para moverlos al lugar adecuado donde estará el target en el cual llega el gripper a recoger el arreglo de tres cajas chicas.

### 1.5.12 Creación de una Trayectoria (Path)

1. En la pestaña de Home, nos vamos al icono de Path.
2. Se le da a la opción de Empty Path como se muestra en la figura 1.61.

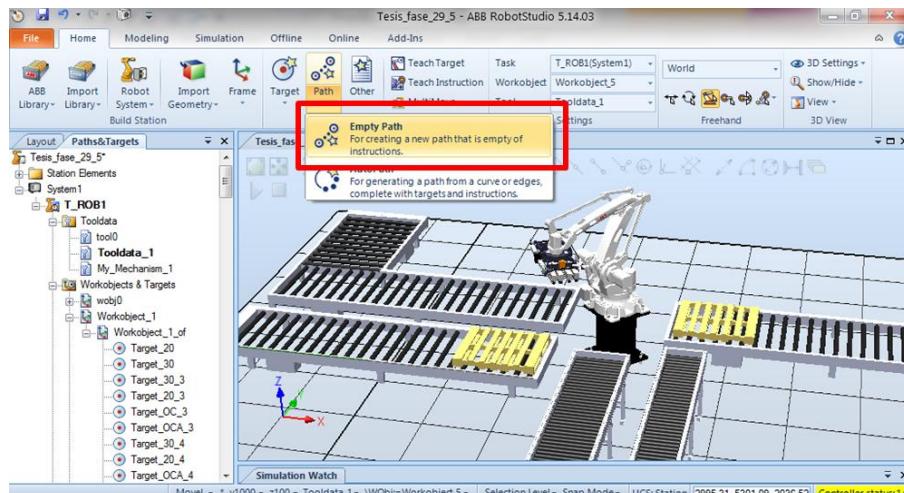


Figura 1. 61 Crear nuevo path.



3. Ahora podemos observar como el path creado aparece en el árbol e proyecto en la sección de paths como se muestra en la figura 1.62.



Figura 1. 62 Nuevo path creado.

### 1.5.13 Creación de Instrucciones de Movimiento en RS

Para crear una instrucción *move* (movimiento) en RS únicamente arrastramos un target hacia el path donde se requiere tener la instrucción de *move* como se muestra en la figura 1.63:

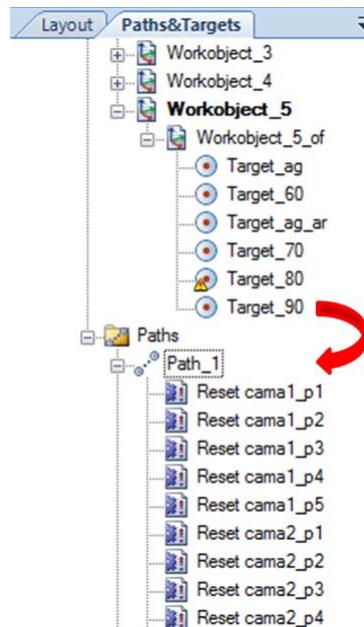


Figura 1. 63 Como ir creando las instrucciones de *move*.

### 1.5.14 Modificar una Instrucción de Movimiento

Una instrucción de movimiento puede ser lineal, es decir, el robot la ejecutará moviéndose de un punto a otro siguiendo una línea recta, o tipo *Joint*, que es un movimiento que ejecuta el robot para llegar de un punto a otro, pero utilizando mas distancia, ya que no seguirá una línea recta.



La velocidad también se modifica directamente en las instrucciones programadas al igual que el tipo de zona que tocará el robot, es decir, si se desea que el robot sea puntual (que se posicione exactamente en el punto deseado) se elige una zona fina (*zone fine*), mientras que para movimientos donde no se requiere demasiada posición se configuran zonas denominadas z0 hasta z200. Eligiendo la opción de z100 el robot se moverá al punto deseado, pero con menor precisión, es decir tocando puntos cercanos al deseado, en un radio de 1 cm, si se eligiera z200, el robot se dirige hacia un radio de 2 cm y así sucesivamente.

Todas estas modificaciones pueden realizarse en dando click derecho en cualquier instrucción de *move* creada, y eligiendo la opción *Modify Instruction*, y en la ventana que se despliega se pueden modificar las características de la instrucción como se observa en la figura 1.64.

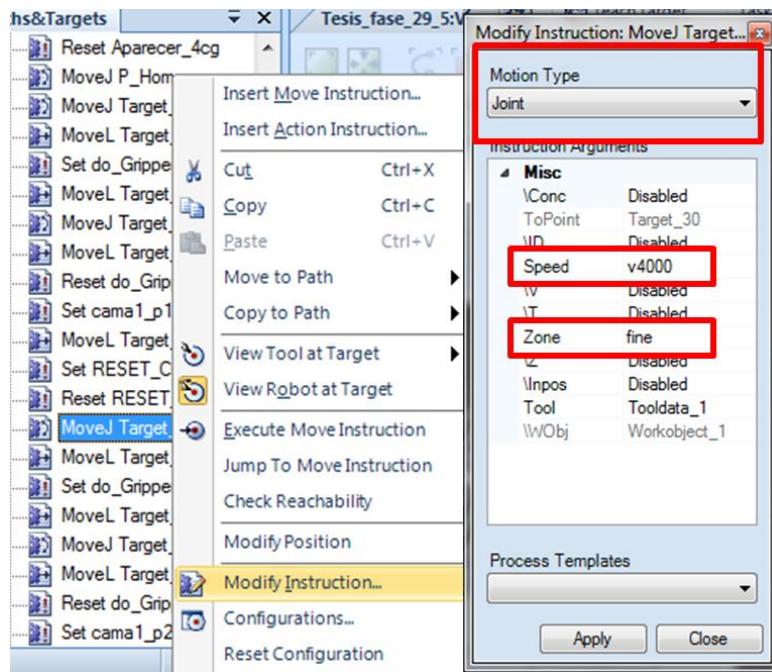


Figura 1. 64 Ventana donde se modifican las propiedades de una instrucción de movimiento.

### 1.5.15 Auto-Configuración de Targets

La mayoría de los targets nuevos generados, aparecen con una señal de advertencia, cuando se añaden a un *path*, se tiene la posibilidad de que el robot aprenda estas nuevas



trayectorias generadas y corrija los errores de los targets haciendo una auto-configuración, esto se hace posicionándose sobre el *path* deseado, en el árbol de proyecto, click derecho, *Configuration* (ver figura 1.65) y click en *Auto Configuration*, y se verá como el robot rápidamente recorre todas las trayectorias para grabar los nuevos targets generados.



Figura 1. 65 Autoconfiguración de los targets que indican una advertencia

### 1.5.16 Ver robot en Objetivo (View Robot at Target)

Esta opción se habilita para poder observar en todo momento la orientación del robot al posicionarse en un target o en una instrucción *move*, lo cual sirve para corroborar que el programa se esté realizando en el orden adecuado. Para habilitar esta opción, únicamente vamos a la pestaña de *Home*, dentro del árbol de proyecto *Paths&Targets* basta con nos posicionamos con el cursor en un target o en un *path*, click derecho y habilitar la opción *View Robot at Target* como se muestra en la imagen 1.66.

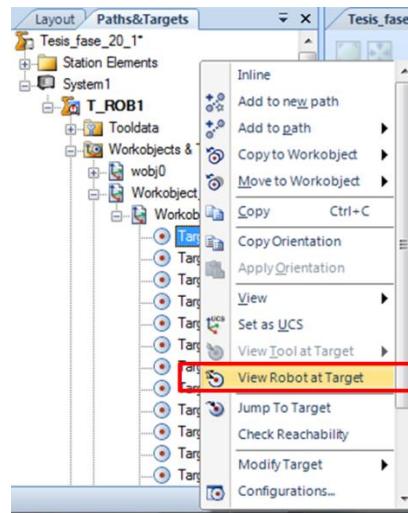


Figura 1. 66 Habilitar el modo *View Robot at Target*.

### 1.5.17 Ver el Gripper en un Objetivo (View Tool at Target)

Debido a que la opción *View Robot at Target* se vuelve difícil de utilizar debido a que el robot realiza cálculos para llegar al objetivo a un determinado momento del proyecto cuando ya



se tienen muchas instrucciones programadas y esto va saturando el programa lo cual puede tardar hasta 5 segundos para cambiar de un *path* a otro, lo mas adecuado es utilizar la opcion que únicamente muestra el gripper posicionado sobre el objetivo. Para habilitar esta opción, únicamente vamos a la pestaña de *Home*, dentro del árbol de proyecto *Paths&Targets* y nos posicionamos con el cursor en un target o en un path, click derecho y habilitar la opción *View Tool at Target*. Se debe de tener al gripper configurado como mecanismo, de otra forma esta opción estará bloqueada, para este proyecto, tal parte fue realizada en el capítulo de solución e ingeniería.

### 1.5.18 Move Along Path (Moverse a Través de la Trayectoria)

Al término de la programación de cada *path*, se puede ir corroborando que los movimientos se hagan correctamente con la función *Move Along Path* para que se ejecuten todas las funciones de movimiento de cada *path* y en el área de trabajo se observen los movimientos del robot. Basta con dirigirse a la pestaña de *Home*, en la pestaña *Paths&Targets*, seleccionar el *path* deseado, click derecho y click en la opción *Move Along Path*, como se muestra en la figura 1.67:

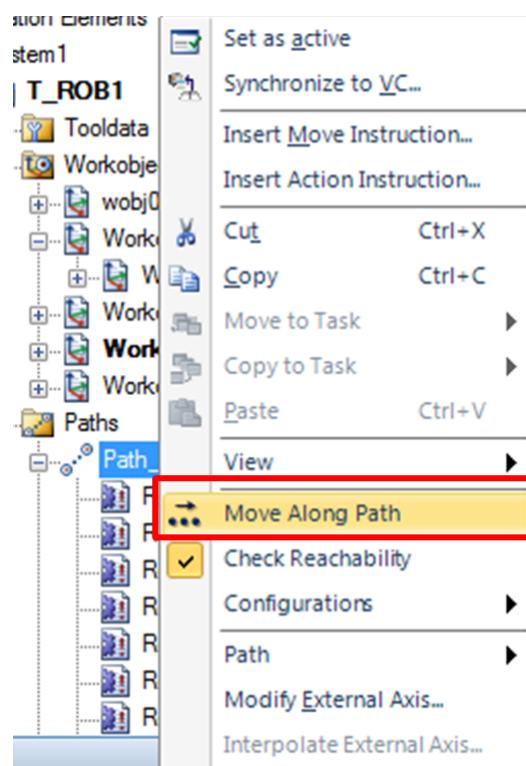


Figura 1. 67 Operación *Move Along Path*.



### 1.5.19 Sincronizar con el Controlador Virtual

Después de haber programado todos los *paths*, o a cada momento que se requiera intervenir directamente en la programación del código RAPID, es decir, se debe sincronizar la estación o proyecto con el Controlador Virtual (VC), para que se guarden todas las instrucciones de movimiento programadas dentro del controlador virtual, y sean traducidas en código RAPID. Para sincronizar con el VC en la pestaña de Offline, sub-menú *Synchronize* (Sincronizar) basta con dar click en la opción *Synchronize to VC* (Sincronizar con el controlador virtual) mostrada en la figura 1.68:



Figura 1. 68 Función Synchronize to VC.

### 1.5.20 Acceso al Código RAPID

Una vez sincronizada la estación con el VC se puede tener acceso y se puede modificar directamente el código fuente del programa, donde se mostrarán todos los *paths* que se han realizado, es decir todas las instrucciones en código RAPID. Para entrar al código dirigirse a la pestaña Offline, y en el árbol de proyecto entrar al programa *main* (principal) como se observa en la figura 1.69.

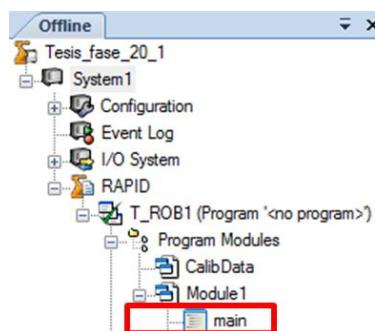


Figura 1. 69 Ubicación del programa principal en código fuente RAPID.



Una vez entrando al programa se puede tener acceso a él en una pantalla como la que aparece en la figura 1.70.

The screenshot shows a software window titled "Tesis\_fase\_20\_1\View1" with the sub-titile "System1: T\_ROB1/Module1". The main area displays a block of RAPID code. The code defines various target points (Target\_10 to Target\_30) as 3D coordinates (x, y, z) and associated parameters. The code is as follows:

```
1 MODULE Module1
2
3 CONST robtarget Target_10:=[[850.700075859,-408.689474083,806.097242704],[0,0.22
4 CONST robtarget Target_30:=[[ -299.997351728,200.002177705,200.002009614],[-0.000
5 CONST robtarget Target_20:=[[ -299.999700831,200.000334919,0.000009614],[-0.00000
6 CONST robtarget Target_50:=[[ -299.998810347,1000.002872962,-199.999834158],[0.70
7 CONST robtarget Target_40:=[[ -880.777426446,626.195968417,-651.834178142],[1,0,0
8 CONST robtarget Target_100:=[[ -299.997810806,600.003901285,-199.999834158],[0.70
9 CONST robtarget Target_60:=[[ -300.000000629,599.999999685,0],[0.707106782,0,0,-0
10 CONST robtarget Target_110:=[[ -289.997279105,200.003593681,-199.999834158],[0.70
11 CONST robtarget Target_70:=[[ -290.00000021,199.999999696,0],[0.707106782,0,0,-0.
12 CONST robtarget Target_120:=[[ -799.999455484,900.00295142,-199.999834158],[1,0,0
13 CONST robtarget Target_80:=[[ -800.000000944,899.999999161,0],[1,0,0,0.0000000001]
14 CONST robtarget Target_OCA:=[[ -499.995982684,200.003263201,200.00000281],[-0.0000
15 CONST robtarget Target_OC:=[[ -499.997365766,200.002288022,0.000048462],[-0.00000
16 CONST robtarget Target_130:=[[ -799.999164733,500.002893287,-199.999834158],[1,0,
17 CONST robtarget Target_90:=[[ -799.999999915,499.999999161,0],[1,0,0,-0.0000000001
18 CONST robtarget Target_30_4:=[[ -299.997338257,200.002177869,616.942009614],[-0.0
```

Figura 1. 70 Ventana que contiene el código fuente RAPID.

Y se puede observar en el programa principal que se encuentran los *paths* programados hasta el momento y todas las variables necesarias para la ejecución de tal código. En la imagen 1.71 se puede observar que el la función principal *main* solo esta contenido el *path* nombrado Path\_1 el cual contiene una serie de trayectorias.

```
PROC main()
    Path_1;
ENDPROC
```

Figura 1. 71 Programa principal

### 1.5.21 Dar de Alta Tarjetas de I/O dentro del Controlador

Su función de la opción *Configuration Editor*, es poder visualizar y editar los parámetros del controlador, las cuales pueden ser tarjetas de entradas y salidas digitales o analógicas (tarjetas de I/O), e igualmente señales de I/O para poder determinar la interacción entre el robot y todos



los dispositivos que integran la celda de robotizada, como lo son los sensores, alarmas, variadores de velocidad, etc.

Para dar de alta una tarjeta dentro del controlador primeramente se abre el editor de configuraciones o *I/O Configuration Editor* encontrado en la pestaña Offline dentro del submenú *Configuration* como se muestra en la figura 1.72:

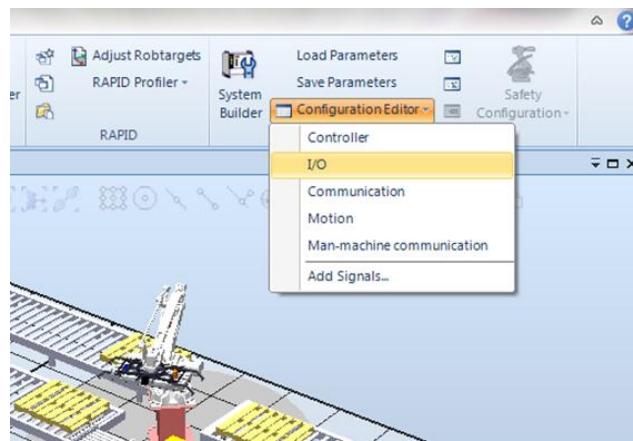


Figura 1. 72 Menú I/O Configuration Editor

En la pantalla desplegada se deberá colocarse sobre *Unit*, click derecho y click en la opción *Add Uni*, como se muestra en la figura 1.73:

The screenshot shows the RAPID software interface with a table of units. The 'Unit' column header is highlighted with a red box. To its right, the 'Add Unit...' button is also highlighted with a red box. The table lists various units such as DRV\_1 through DRV\_4, a PANEL, and four Sensors, each with their respective details like Type, Connected to Bus, and Unit Trustlevel.

Type name	Name	Type of Unit	Connected to Bus	Unit Identification Label	Unit Trustlevel	Unit Startup State	Sto
Access Level	DRV_1	LOCAL_GENERIC	Local	D611 Cont. board	Loss accepted (2)	Deactivated	No
Bus	DRV_2	LOCAL_GENERIC	Local	D611 Cont. board	Loss accepted (2)	Deactivated	No
Cross Connection	DRV_3	LOCAL_GENERIC	Local	D611 Cont. board	Loss accepted (2)	Deactivated	No
Fieldbus Command	DRV_4	LOCAL_GENERIC	Local	D611 Cont. board	Loss accepted (2)	Deactivated	No
Fieldbus Command Type	PANEL	LOCAL_GENERIC	Local	D630 Panel board	Loss accepted (2)	Activated	No
Route	Sensors	Virtual	Virtual1		Error when lost (1)	Activated	No
Signal	sensores2	Virtual	Virtual1		Error when lost (1)	Activated	No
System Input	Sensores3	Virtual	Virtual1		Error when lost (1)	Activated	No
System Output	Sensores4	Virtual	Virtual1		Error when lost (1)	Activated	No
Unit	Add Unit...						
Unit Type							

Figura 1. 73 Dar de alta una nueva tarjeta en el controlador.



Aparecerá una ventana (ver figura 1.74) donde se debe configurar el nombre de la tarjeta, que en este caso es Ejemplo, en la parte de *Type of unit* se pondrá *Virtual*, debido a que solo será una tarjeta interna del sistema, es decir, no será física, al igual que el bus de comunicación, debe de ser tipo virtual por la misma razón mencionada, y click en OK, y dando en OK se dará de alta esta tarjeta.

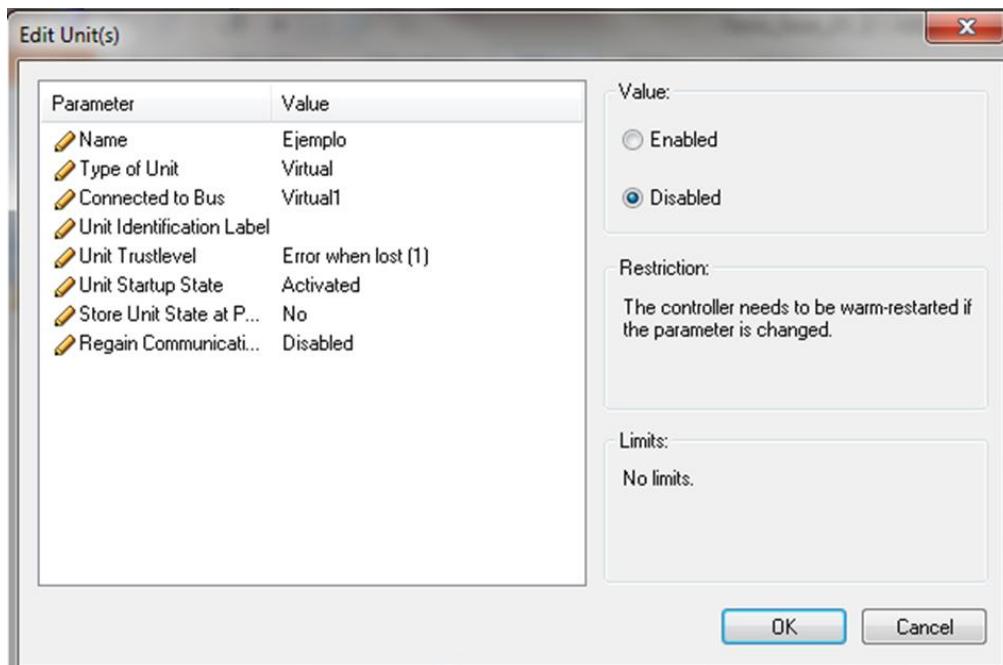


Figura 1. 74 Ventana para configuración de una nueva tarjeta

Click en Aceptar, aparecerá una ventana de advertencia como lo muestra la figura 1.75, la cual nos avisa que los cambios no tendrán efecto hasta que no se haya reiniciado el controlador virtual.

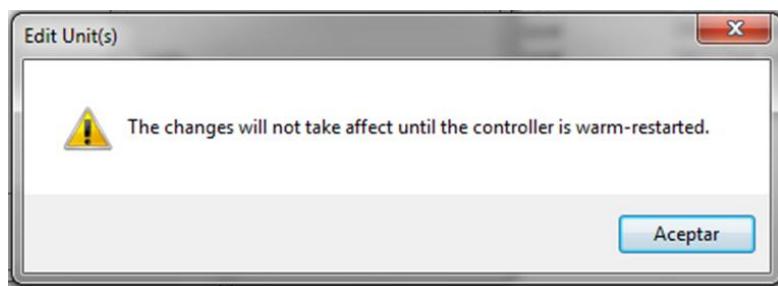


Figura 1. 75 Ventana advertencia de warm-restart.



Una tarjeta virtual posee 16 señales ya sea que se quieran utilizar como entradas o salidas digitales.

### 1.5.22 Dar de alta Señales Digitales dentro del Controlador

Para dar de alta una señal digital, dentro del *I/O Configuration Editor*, posicionarse en la opción Signal, click derecho y Add Signal como lo muestra la figura 1.76.

Type name	Name	Type of Signal	Assigned to Unit	Signal Identification Label
Access Level	Aparecer_2cg	Digital Output	Sensores4	
Bus	Aparecer_4cg	Digital Output	Sensores4	
Cross Connection	AS1	Digital Input	PANEL	Automatic Stop chain(X5:11 to X5:6) and (X5:9 to X5:1)
Fieldbus Command	AS2	Digital Input	PANEL	Automatic Stop chain backup(X5:5 to X5:6) and (X5:3 to X5:1)
Fieldbus Command Type	AUTO1	Digital Input	PANEL	Automatic Mode(X9:6)
Route	AUTO2	Digital Input	PANEL	Automatic Mode backup(X9:2)
Signal	Add Signal...	Digital Output	Sensores3	
System Input		Digital Output	Sensores3	
System Output	Caja_60x30_aaa	Digital Output	Sensores3	
Unit	Caja_60x30_aaaa	Digital Output	Sensores3	
Unit Type	Caja_60x30_aaaaa	Digital Output	Sensores3	
	Caja_60x30_b	Digital Output	Sensores3	
	Caja_60x30_bb	Digital Output	Sensores3	
	Caja_60x30_bbb	Digital Output	Sensores3	
	Caja_60x30_bbbb	Digital Output	Sensores3	
	Caja_60x30_bbbbb	Digital Output	Sensores3	
	cama1_4C_p2	Digital Output	Sensores3	
	cama1_p1	Digital Output	Sensores4	

Figura 1. 76 Dar de alta una nueva señal digital para una tarjeta de I/O.

Se desplegará una ventana de configuración (ver figura 1.77), donde únicamente se tienen que ingresar datos como el nombre de la señal (en este ejemplo se le asigno el nombre “Señal”), tipo de señal, donde se pueden tener señales analógicas inclusive, las cuales no fueron requeridas en este proyecto. También se especifica a qué tarjeta se le esta asignando la señal, y como una tarjeta sólo tiene espacio para 16 señales, éstas se tienen que ir numerando. La numeración se realiza desde el número 0 al 15. En la figura 1.73 se esta configurando una salida digital. Es importante mencionar que en la parte de *Access Level* se debe de poner en *All* ya que si no se hace esto se tendrán problemas en la programación de eventos al usar esta señal.

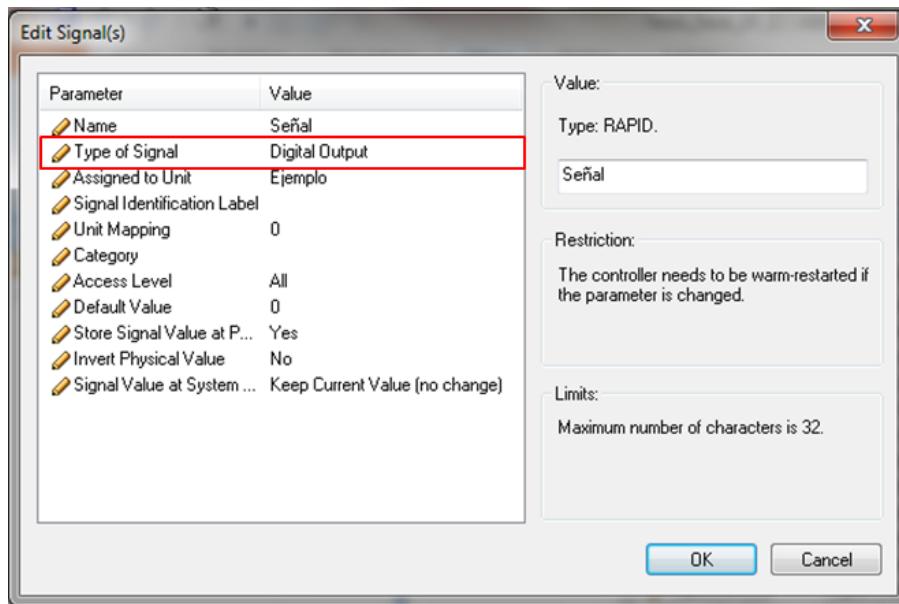


Figura 1. 77 Dar de alta una salida digital.

En la figura 1.78 se esta configurando una entrada digital la cual se hace de la misma manera que configurar una salida.

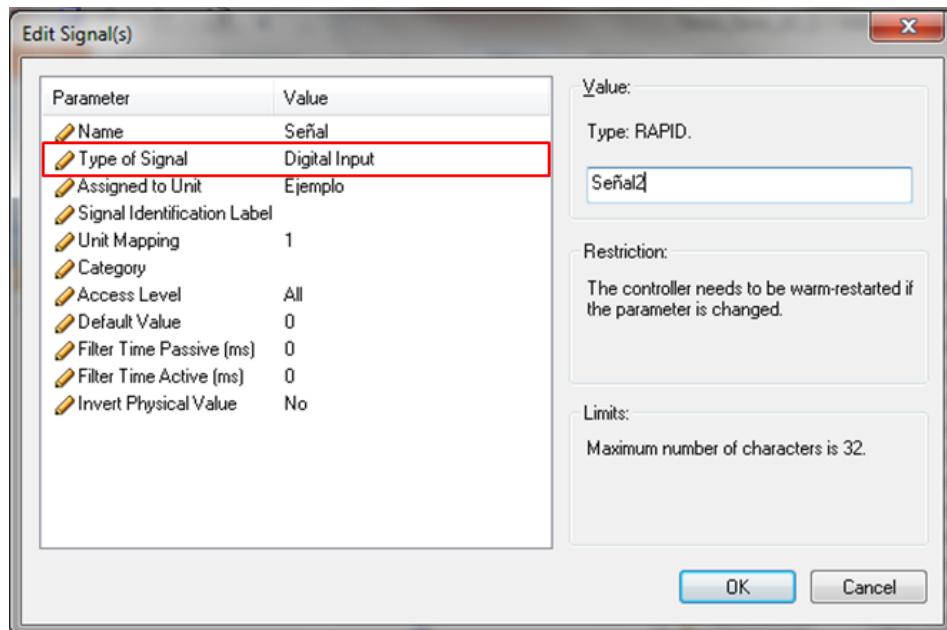


Figura 1. 78 Dar de alta una entrada digital.

Cuando se le da OK a la ventana de señales, vuelve a salir la advertencia (ver figura 1.79) que igualmente aparece al crear una tarjeta.

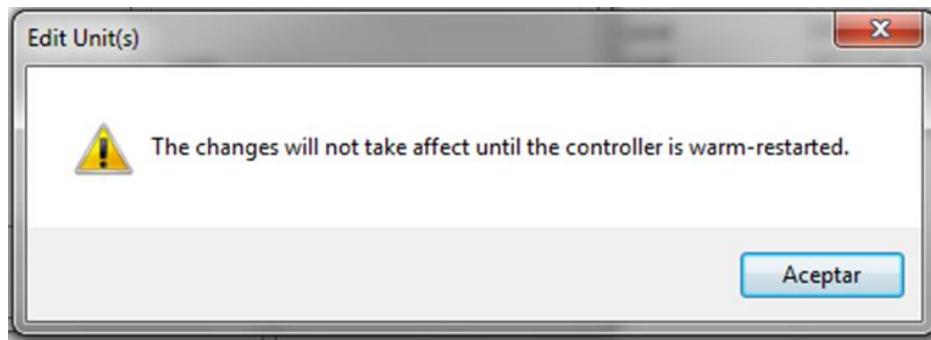


Figura 1. 79 Ventana de advertencia *warm-restarted*.

Esto se debe a que los datos nuevos creados deben de ser actualizados, para posteriormente poder utilizarlos en la generación de eventos, para actualizar las nuevas salidas existe una opción en la pestaña Offline que restablece el controlador y actualiza los cambios realizados en el sistema, la cual se muestra a en la figura 1.80:

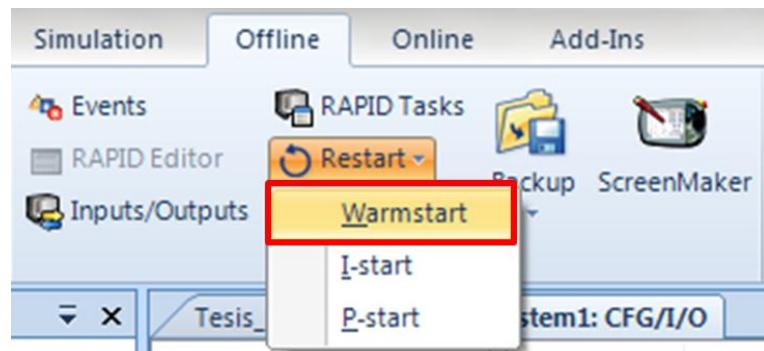


Figura 1. 80 Opción de *Restart* (Re-iniciar), para actualizar tarjetas y señales nuevas.

### 1.5.23 Generación de Eventos para Simulación en RS

Cuando se tiene que simular un programa a veces es necesario que el robot realice ciertas acciones las cuales servirán como una visualización gráfica de lo que el robot hará en planta, dichas acciones son denominadas *Events o Eventos*, y estos pueden ser:

*Attach Object* (Sujetar objeto): Un objeto puede mantenerse sostenido por el robot mientras éste se mueve.

*Detach Object* (Soltar objeto): El robot suelta el objeto sostenido con el evento *attach*.

*Move Object* (Mover objeto): Cambia de posición un objeto.

*Show/Hide Object* (Mostrar/Ocultar objeto): Desaparece o aparece un objeto.

Para crear eventos se utiliza el *Event Manager* que es utilizado para la administración de eventos y hacer ajuste de señales y especificar las condiciones de activación, etc. Para abrir el *Event Manager* se ingresa a la pestaña de *Simulation*, en el sub-menú *Configure* y click en el pequeño ícono que aparece en la esquina inferior derecha del sub-menú, el cual se muestra en la figura 1.81:

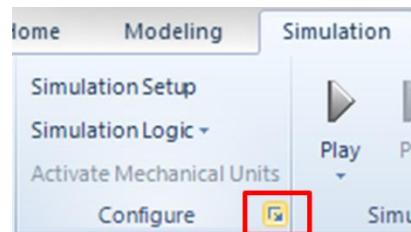


Figura 1. 81 Ícono para desplegar el *Event Manager*.

Una vez desplegada la ventana del Event Manager, se pueden crear nuevos eventos en la opción *Add* como se observa en la figura 1.82.

Activation	Trigger Type	Trigger System	Trigger Name	Trigger Parameter	Action Type
On	I/O	System1	do_Gripper_sucion	1	Attach Obj
On	I/O	System1	do_Gripper_sucion	0	Detach Obj
On	I/O	System1	cama1_p1	1	Show/Hide
On	I/O	System1	cama1_p1	0	Show/Hide
On	I/O	System1	RESET_CC	1	Move Obj
On	I/O	System1	RESET_CG_4C	1	Move Obj
On	I/O	System1	cama1_p3	0	Show/Hide
On	I/O	System1	cama4_p5	1	Show/Hide
On	I/O	System1	cama2_p2	0	Show/Hide
On	I/O	System1	cama2_p1	0	Show/Hide
On	I/O	System1	cama1_p5	0	Show/Hide

Figura 1. 82 Ventana *Event Manager*.

En la ventana mostrada en la figura 1.83 se selecciona la señal a la que se le asignará el evento, en este ejemplo se le asignará la señal que se había creado anteriormente con el nombre “Señal”.

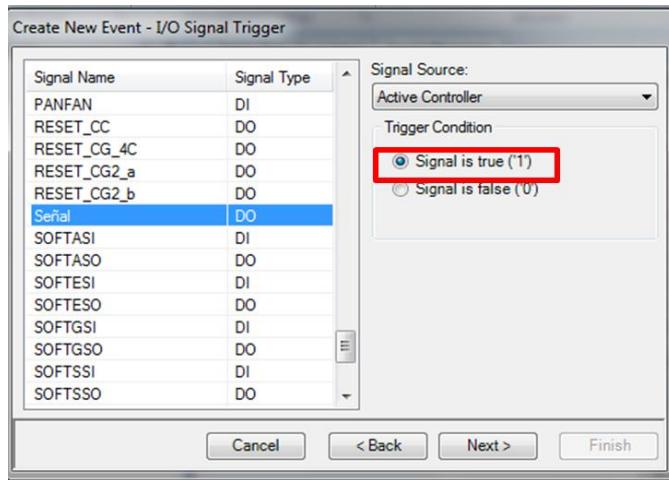


Figura 1. 83 Asignación de señal al evento.

Al crear un nuevo evento, se habilita la opción *Trigger Condition* (ver figura 1.84), en esta parte se especifica si se quiere que el evento se active con un 0 o un 1 de una señal seleccionada en la columna de *Signal Name* donde esta una lista de las señales tanto de entrada como de salida que se han dado de alta.

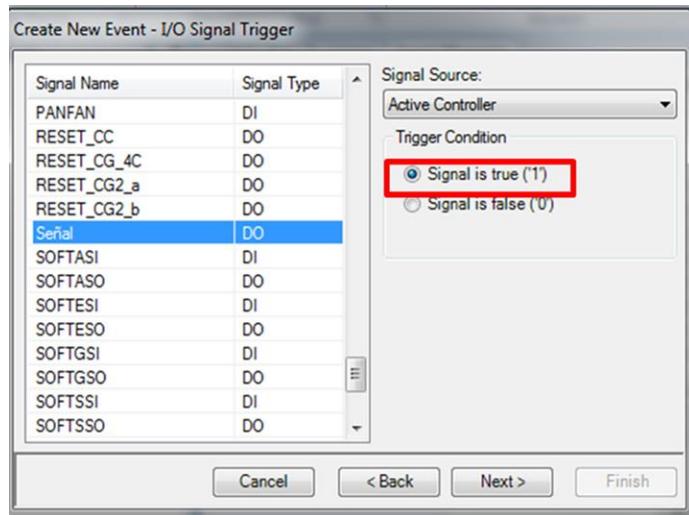


Figura 1. 84 Ventana para *Trigger Condition*.

En la siguiente ventana se puede elegir el tipo de acción que se desea que realice el evento cuando se active en el estado 0, o 1, depende el que se haya elegido en el paso anterior. Para este ejemplo se elegirá la opción *Attach Object* como se observa en la figura 1.85.

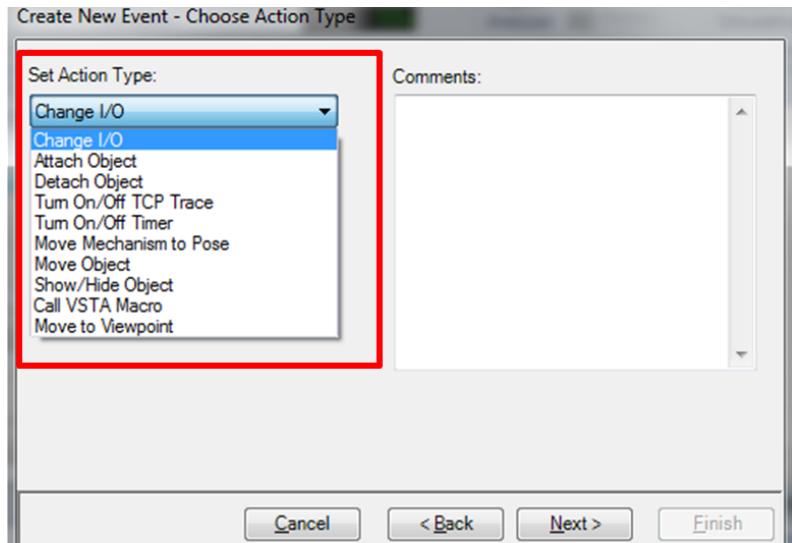


Figura 1. 85 Posibles acciones para un evento.

En la ventana de la figura 1.86 se ve la lista con todos los sólidos existentes hasta ese momento, de la celda de paletizado, ahora se debe elegir el objeto que se le aplicará la acción del evento.

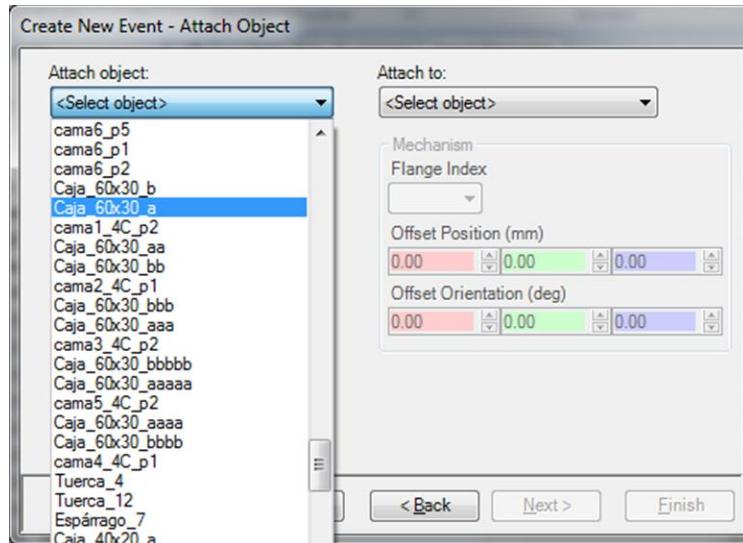


Figura 1. 86 Objeto al que se aplicará la acción del evento.

Al haber seleccionado el objeto al cual se le aplicara el evento se da click en *next*, después se elijen las opciones de que el objeto conserve su posición en la opción *Keep Position*, y se



especifica a qué elemento se le adjuntará el objeto, se selecciona el Robot que en este programa esta nombrado como *IRB460\_240\_01* como se muestra en la figura 1.87.

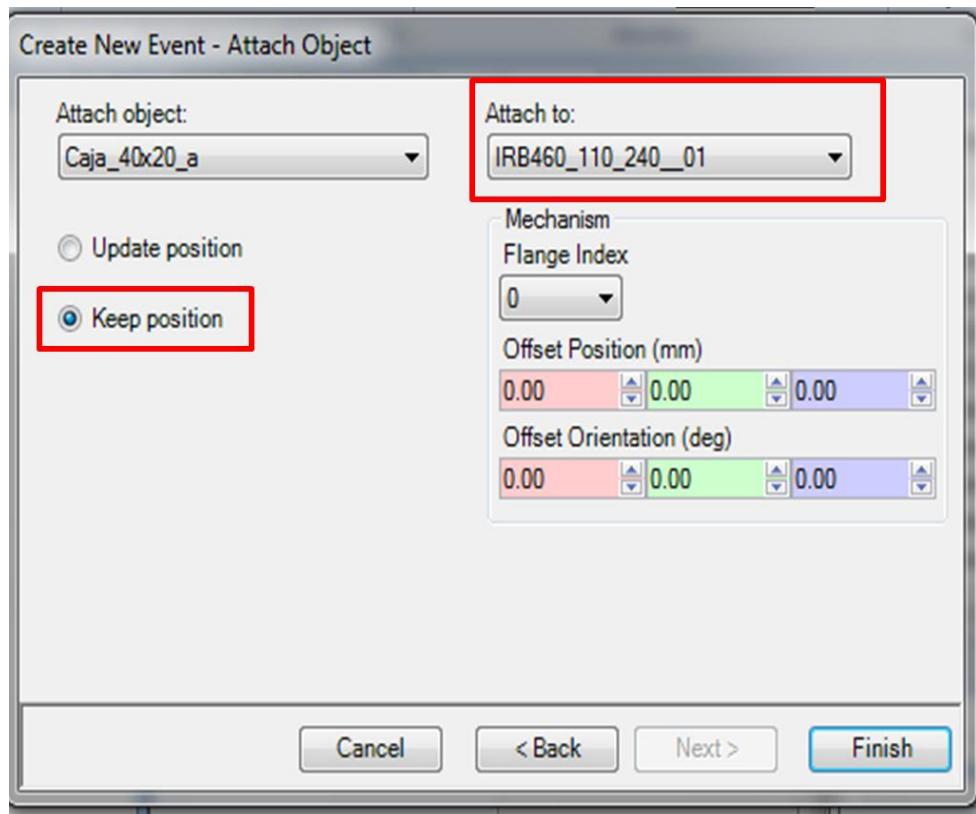


Figura 1. 87 Configuración de evento.

Como el evento fue creado para activarse con el valor de 1 en la señal, el robot tomará el objeto, pero también se tiene que configurar el evento, eligiendo la misma señal, pero ahora para su estado de 0, y en ese caso se activará el evento *detach*, para que cuando esta señal se ponga en 0 el gripper suelte el objeto. Lo mismo se tiene que hacer para crear el evento *detach*, solo que ahora en *trigger condition* se pondrá 0 como se muestra en la figura 1.88.

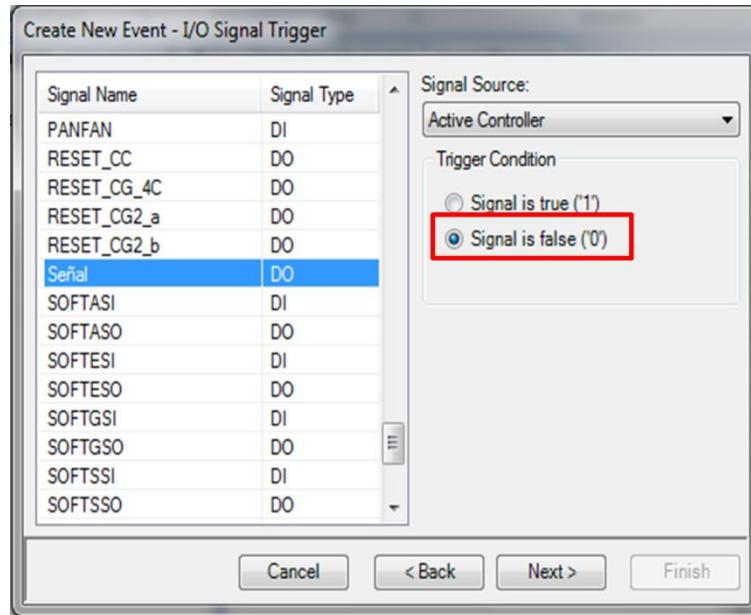


Figura 1. 88 Configurar el estado de 0 mediante otro evento para la acción *detach*.

En la acción se pondrá *Detach Object* como se muestra en la figura 1.89

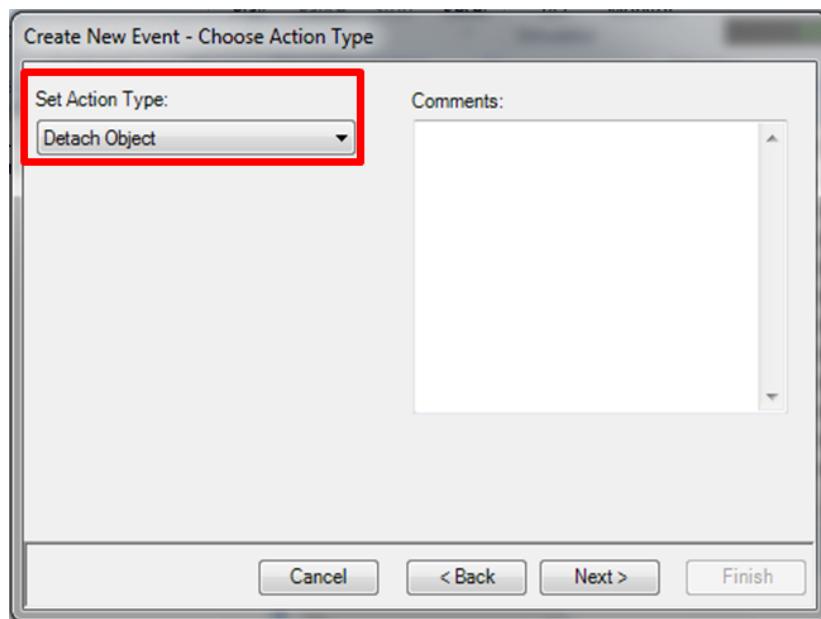


Figura 1. 89 Elegir función *detach*.

Lo siguiente en ver de donde se va a soltar el objeto, en este caso es desde el brazo robótico nombrado en el programa como *IRB460\_240\_01*, además se debe seleccionar el objeto



al cual se le va aplicar la acción, y este debe ser el mismo al que se le aplica la acción de *Attach object* como se muestra en la figura 1.90.

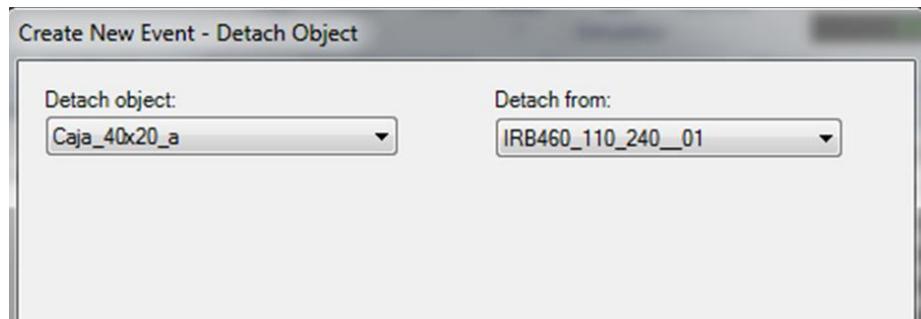


Figura 1. 90 Elegir objeto a adjuntar y objeto al que se le adjuntará al momento de activar el evento.

De igual forma se debe hacer para cada evento creado, así sea para la opción de *show/hide object*, donde de la misma manera se configuran dos eventos para la opción de show (sus estados 1 y 0 de la señal), y dos eventos para la acción de *hide* (estados 1 y 0 de la señal); para la opción de *move object* solo se configuran un estado (1) para la señal.

Después de haber creado un evento se le da la opción *Refresh* (Actualizar) para que quite los eventos con símbolo de error que se hayan creado.

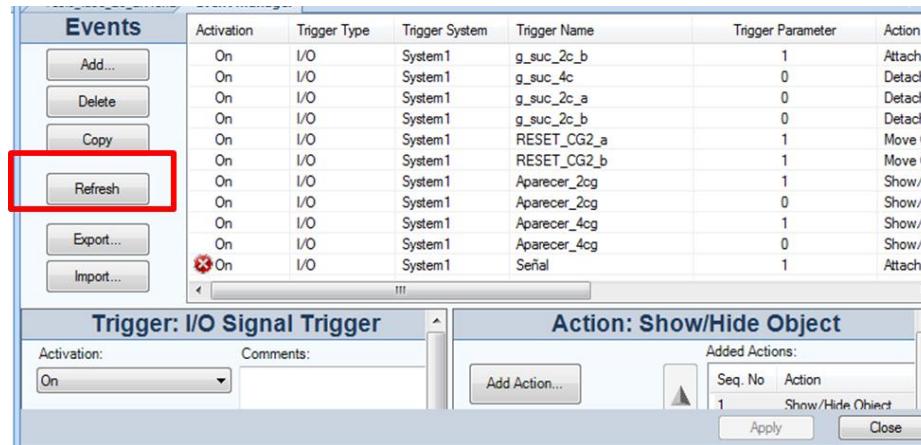


Figura 1. 91 Opción *Refresh*, para actualizar los eventos creados en el *EventManager*.

Si el error persigue probablemente sea porque se están copiando y pegando los eventos en vez de crearlos uno por uno, lo cual es recomendado, y que para copiar y pegar los eventos solo



se tiene espacio para hacer 32 copias de un evento, por lo que a partir de la copia 33 ya empieza a tener fallas la simulación, y puede ocasionar errores más graves.

Para utilizar estos eventos creados y poder cambiar el estado de las señales, se introducen a los *paths* instrucciones de acción en el menú de *Home*, pestaña *Paths&Targets* en el árbol de proyecto posicionarse sobre un *path* o sobre una instrucción de *move*, click derecho y click en la opción *Insert Action Instruction* como se muestra en la figura 1.92.

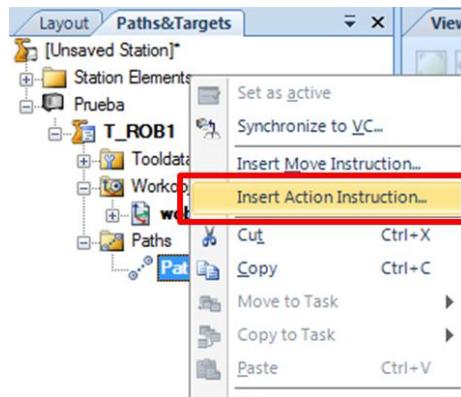


Figura 1. 92 Insertar una instrucción de acción.

En la pestaña desplegable de la nueva ventana, elegir la instrucción deseada en la opción *Instruction Templates* (plantillas de instrucciones) como se muestra en la figura 1.93. Aquí es donde se encuentras las instrucciones *Set* (Fijar) y *Reset* (Restablecer) que son las que cambian los estados de las señales digitales a 1 y a 0.

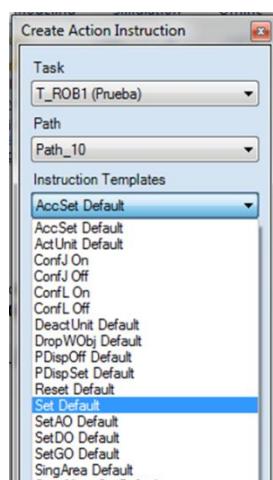


Figura 1. 93 Ventana para crear una instrucción de acción en RobotStudio®.



Para el ejemplo seleccionaremos una instrucción de *Set Default*, que aparezca una señal denominada dos cajas que se configuró como *show/hide*, para que la instrucción de *Set* oculte las cajas, mientras que la instrucción *Reset*, la aparecerá de nuevo.

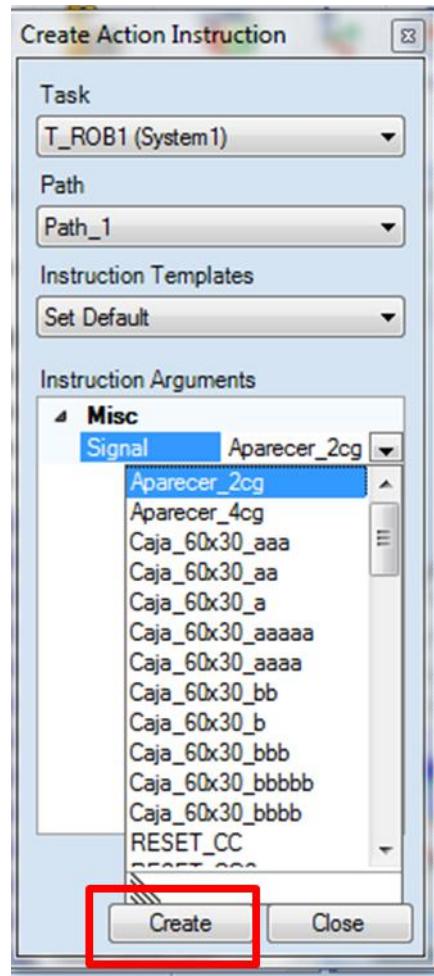


Figura 1. 94 Creando un evento nuevo.

Dar click en el botón *Create* (Crear) como se muestra en la figura 1.94, la instrucción aparecerá en el árbol de proyecto dentro del path seleccionado.

#### 1.5.24 Simulación en RS

Para simular un programa en RS, primeramente pasamos a la pestaña de *Simulation*, y una vez ahí, se le da click a la opción de *I/O Simulator* (Simulador de Entradas/Salidas) en el sub-



menú de Monitor, para que se muestren todas las señales creadas, el cual se puede observar en la figura 1.95:

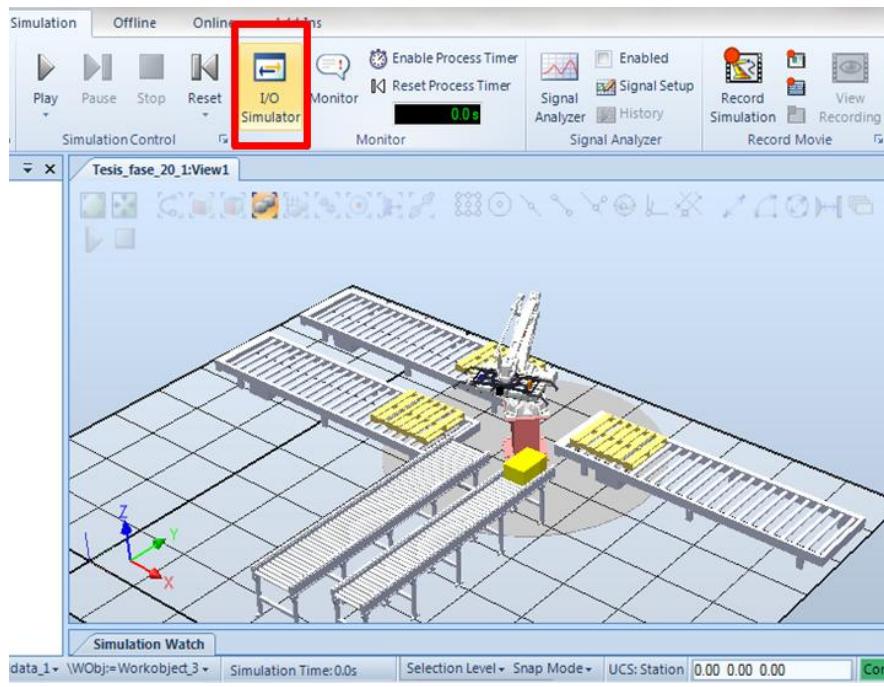


Figura 1. 95 Función de pantalla I/O Simulator.

Una vez abierto el Simulador de entradas/salidas, se selecciona la tarjeta que se quiere visualizar, y el sistema al que pertenece, en este caso se selecciona la tarjeta Ejemplo, perteneciente al sistema System 1, y ahora se puede ver que aparece la Señal creada como se ve en la figura 1.96.

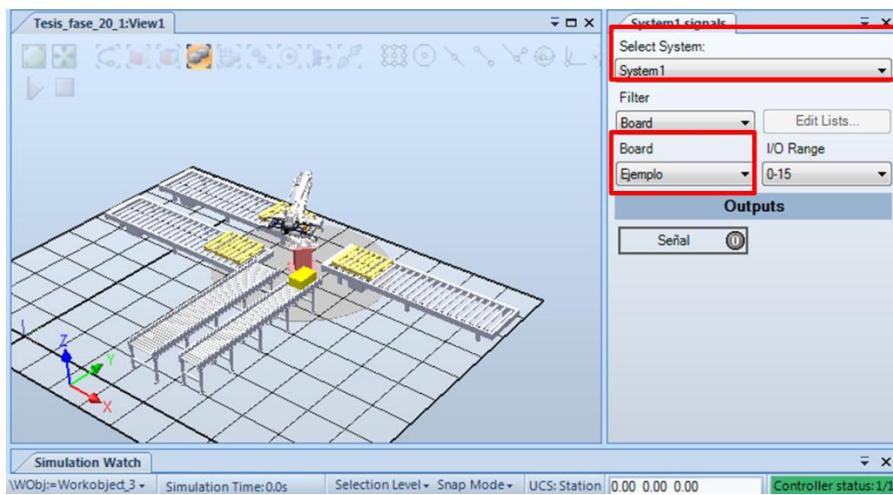


Figura 1. 96 I/O Simulator.



Aquí se podrá monitorear los cambios de estado de la señal, al transcurso de la simulación del programa, inicialmente las señales están en 0, pero al activarse cambian a estado de 1 y se prende un indicador de color anaranjado en la señal como se puede observar en la figura 1.97.

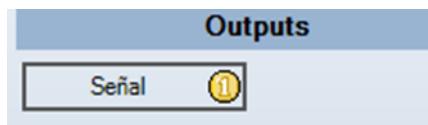


Figura 1. 97 Indicador que muestra el estado de la señal, anaranjado=1, gris=0.

Ahora se sincroniza el programa con la unidad virtual como se explico en pasos anteriores, para que se tengan actualizados todos los paths creados, e ingresamos a la opción *Simulation Setup*, para configurar el orden de la simulación, como se muestra en la figura 1.98:

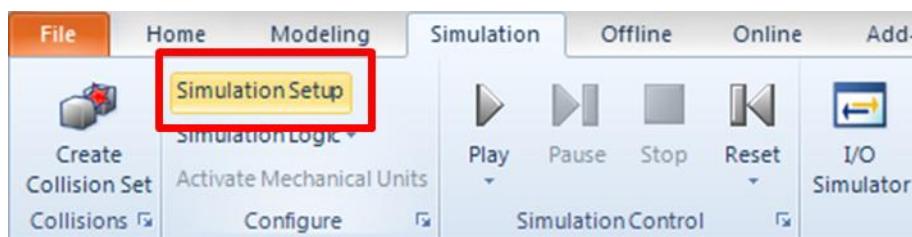


Figura 1. 98 Opción *Simulation Setup*.

Ahora en la pantalla desplegada, aparecen todos los paths que se tienen hasta el momento, se van pasando a la secuencia principal en le orden deseado seleccionándolos desde el recuadro de *Available Procedures* (Procedimientos disponibles) dando click en la flecha mostrada en la figura 1.99 y se van pasando al recuadro *Main Sequence* (Secuencia Principal), si se requiere modificar el orden de los *paths* que ya estén en la *Main Sequence*, se pueden ordenar con las flechas hacia a arriba y hacia abajo, las cuales aparecen entre los dos recuadros, o si se desea eliminar un path no deseado en la *Main Sequence*, se selecciona y se le da click a la cruz encontrada arriba de las flechas de orden, las cuales se muestran en la figura 1.99

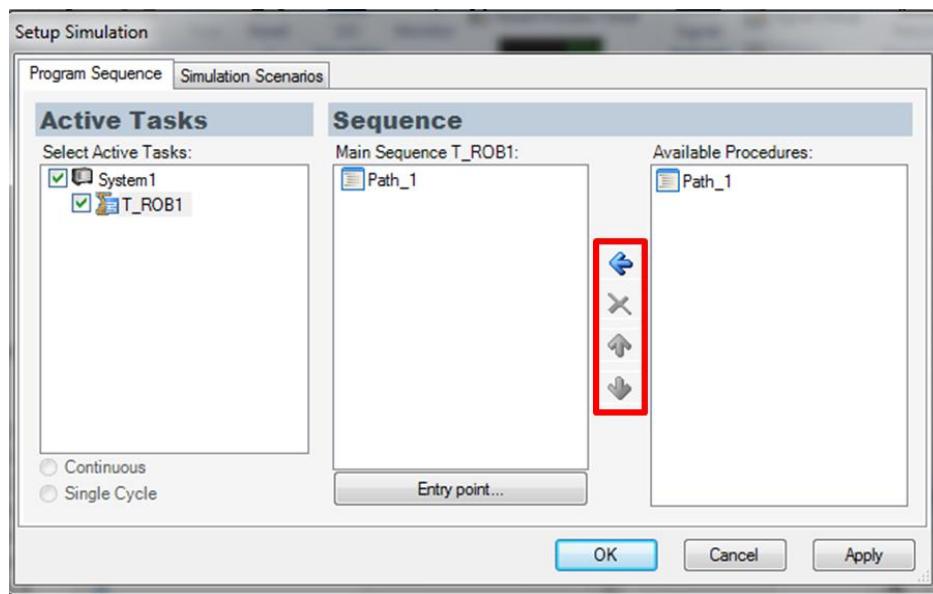


Figura 1. 99 Simulation Setup.

Ahora se le da click en *Apply* (Aplicar), y *OK*.

Finalmente, ya configurados los *paths* a simular, se puede oprimir la opción de *Play* (Correr) e incluso antes de esto, se puede obtener una grabación de la simulación para resguardar el archivo en formato .WMV para correr en Windows, el robot comenzará a ejecutar los movimientos programados.

## 1.6 Seguridad en las Celdas Robotizadas de Paletizado

El mundo está en un cambio constante y las tareas y requerimientos de ingeniería mecánica cambian a la vez. Conceptos como la producción eficiente y la automatización, demandan cada vez más soluciones inteligentes de seguridad. En el futuro, el propósito principal de la tecnología de seguridad seguirá siendo hacer procesos automatizados más seguros para el hombre y su medio ambiente. Más de una vez esto ha sido relacionado con que los ciclos de demanda de producción sean diseñados sin problemas y cada vez más eficientes. Por lo tanto la



tecnología de seguridad esta desarrollándose como una disciplina que abarca al producto y la seguridad, además de la entereza de la planta, y el ciclo de vida de la máquina<sup>38</sup>.

A continuación se mencionan conceptos importantes que deben de ser tomados en cuenta para que tanto el ingeniero proyectista, así como el usuario final, tengan en mente que el cuidado del personal debe de ser el factor más importante a considerarse cuando se realizan proyectos de automatización.

**Peligro:** Fuente de lesión o daño posible a la salud<sup>39</sup>.

**Riesgo:** La combinación de la probabilidad y del grado de lesión o del daño posible a la salud.

El peligro esta presente en todo momento, sea en nuestro trabajo o en nuestros hogares, como socorrista en una emergencia con materiales peligrosos, etc. En cambio el riesgo es producto de no tomar las acciones y medidas que minimizan el peligro.

El peligro es por consiguiente una situación de hecho mientras que el riesgo es una probabilidad.

**Seguridad de la Máquina:** Capacidad de una máquina de realizar su función bajo condiciones previstas sin causar daños a la salud.

**Situación de Peligro:** Cualquier situación en la cual se exponga a una persona a los peligros. En nuestro caso el hecho de estar cerca del robot, ya es considerado como peligro.

**Zona Peligrosa:** Cualquier zona dentro y/o alrededor de la máquina en la cual se exponga a una persona al riesgo de lesión o de daño a la salud.

**Operador:** La persona o las personas asignadas a tareas de instalar, ajustar, mantener, limpiar, reparar o transportar la maquinaria.

<sup>38</sup> Pilz®, *The safety Compendium*, Alemania, 2011, p. 1-3.

<sup>39</sup> Granados, Enrique, *Sistemas de Seguridad en Robots Industriales: ANSI/RIA R15.06*, Pilz®, 2012.



# CAPÍTULO PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL

# 2

*Parte del desarrollo de ingeniería es conocer el proceso en su totalidad, para identificar, con qué fin se realizará una automatización, y a qué áreas de la empresa afectará o se tendrán que llevar a cabo modificaciones y/o adecuaciones para poder obtener como resultado una solución de ingeniería, la cual deberá de cumplir con el objetivo propuesto.*

Primeramente se debe de tener especificado un diagrama de bloques del funcionamiento de toda la planta, donde se describe la obtención del producto final, desde la llegada de materias primas, hasta su manufactura y acondicionamiento del producto final.

## 2.1 Diagrama de Bloques del Sistema de Producción de la Planta

Como se puede apreciar en la figura 2.1, el sistema de producción de la empresa puede ser brevemente descrito con el seguimiento del diagrama de bloques mostrado.

El proceso es la producción de siete tipos diferentes de galletas, las cuales se producen desde una zona de gestión de materia prima, formada por un muelle de descarga de la masa y materiales, una zona de recepción, y un almacén para los mismos. Se tienen distintas celdas de manufactura donde se lleva a cabo el proceso.



Se inicia con la recepción de materias primas, luego esos ingredientes son preparados y seleccionados para la mezcla, esta se prepara de acuerdo a cada receta las cuales se encuentran almacenadas digitalmente en la interface de la mezcladora, de las diferentes mezclas y tratamientos resultan diferentes tipos de masas las cuales corresponden con los diferentes tipo de galletas producidos en la planta, estas pueden clasificarse por su proceso de fabricación en: laminadas, roto-moldeadas y extruidas, es importante mencionar que cada parte del proceso es constantemente supervisada por inspectores de calidad, quienes certifican la conformidad de los atributos de calidad en cada etapa.

Estos procesos necesitan determinados tipos de masas, se usa laminado y roto-moldeado en las denominadas masas elásticas o desarrolladas, el moldeado rotativo se usa en masas cortas, mientras que el extruido se usa en masas blandas, de esta manera se obtienen diferentes tipos de galletas según el proceso y la masa que se utilice.

Posteriormente el horneado de las galletas se realiza bajo un riguroso control de temperatura y humedad y al momento en el que salen las galletas del horno son enfriadas mediante bandas trasportadoras, como se menciono anteriormente, esta planta produce diversos tipos de galletas, entre las que se encuentran las tipo sándwich, es decir dos galletas que contienen una capa de crema, otro tipo de galletas que forman parte de la producción de esta planta son las galletas bañadas, son aquellas revestidas por chocolate u otra cobertura saborizada, luego de ser cubiertas pasan por un túnel de refrigeración, donde se inicia la cristalización de la cobertura, posteriormente las galletas procedentes de las diferentes líneas son alimentadas a la maquina envasadora, la cual esta acondicionada para diversos formatos de envasado, la máquina empaquetadora codifica cada paquete, indicando su fecha de vencimiento, posteriormente los paquetes son encajados en envases secundarios, es decir cajas de cartón, y finalmente estas son paletizadas.

Es esta etapa del proceso la de nuestro mayor interés pues es el paletizado la etapa en que se enfocará el proyecto, por lo que se pasará a realizar una ubicación física y orientación del proceso motivo del proyecto.

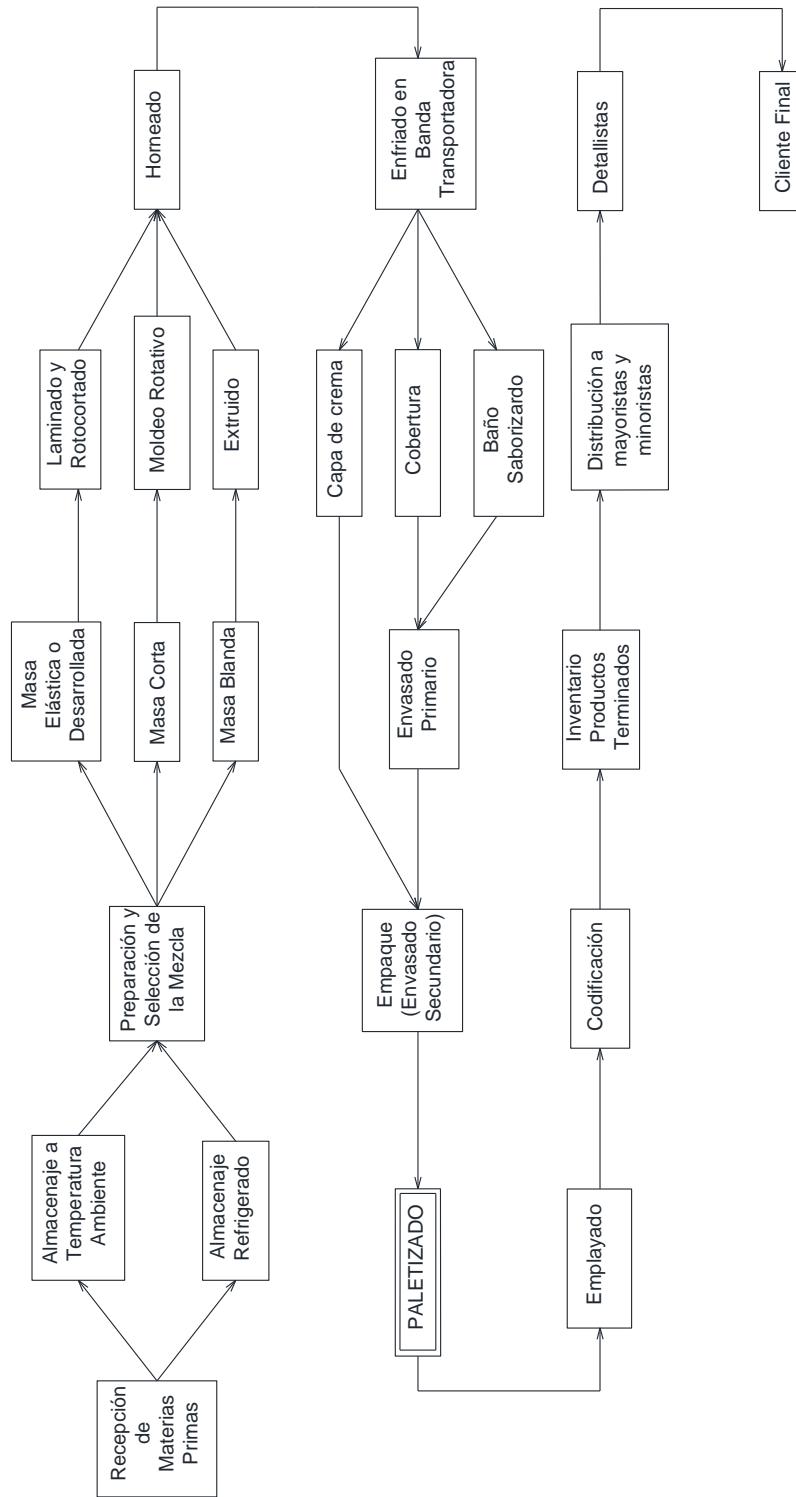


Figura 2. 1 Diagrama de bloques del sistema de producción de la empresa.



## 2.2 Layout de la Planta de Producción de Galletas

La ubicación del área dentro de la planta donde se realizará el proyecto de automatización del paletizado se muestra en el plano A.1 (Ver anexo A), se tiene un espacio de 6 m<sup>2</sup> para realizar toda la distribución del robot, lo cual será utilizado como referencia para la selección del robot adecuado a las condiciones especificadas, ya que no se deben de rebasar estas dimensiones. Más adelante se tendrá que considerar en un análisis de viabilidad si éste espacio es el adecuado para poder llevar a cabo la automatización. Dicho espacio es mostrado con un acercamiento en el plano A.2 (Ver anexo A).

## 2.3 Descripción del Proceso del Paletizado Manual

En la zona donde se efectúa el paletizado manual, se tienen siete bandas transportadoras de llegada de producto final, 3 bandas en un área de la planta y 4 bandas en otra área adyacente a la primera; en el punto de llegada de dos bandas transportadoras de la segunda área, que vienen desde los hornos 4 y 5, es en donde primeramente se realizará la automatización del paletizado, misma área que se expone en este trabajo, y que posteriormente, si la propuesta es adecuada, dará cabida a realizar la propuesta de las áreas restantes. Por lo tanto, se tienen que considerar las características de éste espacio definido. A la salida de dichas bandas se tienen dos productos diferentes, por lo que sus pesos y tamaños son distintos como se observa en la tabla siguiente:

Tabla 2. 1 Características de los dos diferentes productos que se paletizan

	Dimensiones (largo x ancho)	Altura	Peso	Frecuencia de salida (cajas x min)
Producto 1	60 x 30 cm	30 cm	5 Kg	6 cajas x min
Producto 2	40 x 20cm	25 cm	3.5 Kg	20 x min

Mediante una banda transportadora (conveyor) las cajas de cartón van saliendo del proceso de producción una vez que pasaron por la zona de picking donde el producto se guarda automáticamente dentro de las cajas. Se tienen dos bandas, en la primera sale la caja de 5 kg, la cual como se puede observar en la tabla tiene dimensiones de 60x30 cm, el flujo de salida es relativamente bajo, 6 cajas por minuto. El único trabajador encargado de este producto toma la



caja del alimentador y la estiba. Por otro lado se tiene una segunda banda por la cual se transporta el producto 2 cuyas dimensiones son 40x20 cm y una altura de 25 cm, con peso de 3.5 kg, y su flujo de salida es de 20 cajas x min., el cual se considera rápido, en este caso un trabajador toma la caja del alimentador directamente y la arroja a otro que esta a 1 m de distancia aproximadamente.

Los conveyors arriban en un área en común la cual esta destinada para realizar la operación de paletizado manual, con dimensiones de 6 m por 6 m en la cual se encuentran 6 trabajadores, un trabajador esta encargado específicamente para tomar las cajas del alimentador o infeeder del producto 1, e irlas estibando en una tarima próxima al conveyor, ya que la velocidad de este producto es muy lenta no se necesita mas apoyo. Para el infeeder del producto 2 están encargados 2 trabajadores debido a la rapidez con que salen las cajas de la banda, por lo que se necesita mucha agilidad por parte de los trabajadores para ir tomando las cajas y estibarlas igualmente en una tarima próxima a este conveyor, dos son los que se necesitan para realizar la tarea, y un tercero se rota cada hora.

Los pallets se estiban conforme a ciertas especificaciones que ya tiene establecidas la empresa, denominadas “amarres” a cada uno de los niveles de cajas que estarán contenidos en cada estibado.

En las figuras 1.1 y 1.3 se muestran las especificaciones de estibado del producto 1 en una tarima de 1200 mm x 1000 mm normalizadas de acuerdo según la ISO 3676, la figura 2.2 indica la vista superior de la cama 1 que irá como base en la tarima, la figura 2.4 muestra la vista superior de la cama 2 o segundo nivel del pallet, y se realiza un ciclo alternando los dos tipos de camas hasta tener 6 niveles para no pasar de los 2.4 m. que indica la misma norma de referencia incluyendo la altura de la tarima, además de no rebasar la altura estándar que tiene la caja de un tráiler que es de 2.4 m igualmente según la normatividad. La figura 2.3 y 2.5 son los isométricos de las camas 1 y 2 de las cajas chicas, respectivamente.

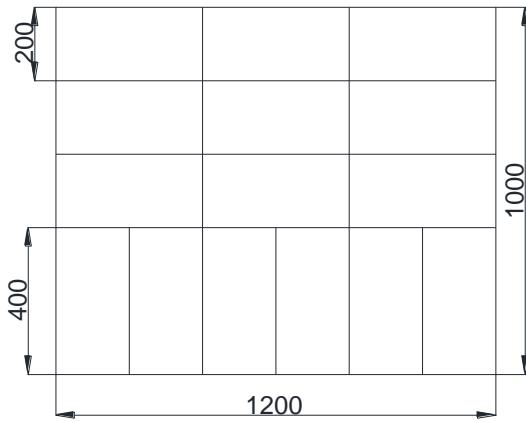


Figura 2. 2 Cama 1, cajas chicas.

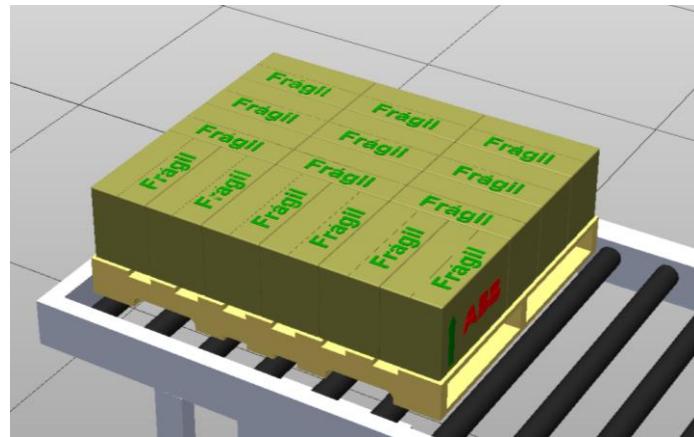


Figura 2. 3 Isométrico de la cama 1, cajas chicas.

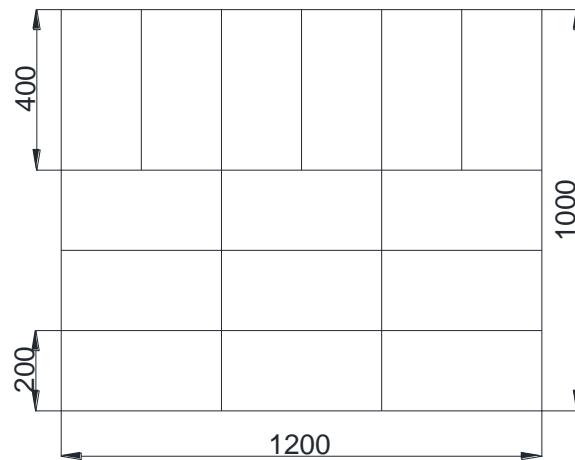


Figura 2. 4 Cama 2, cajas chicas.

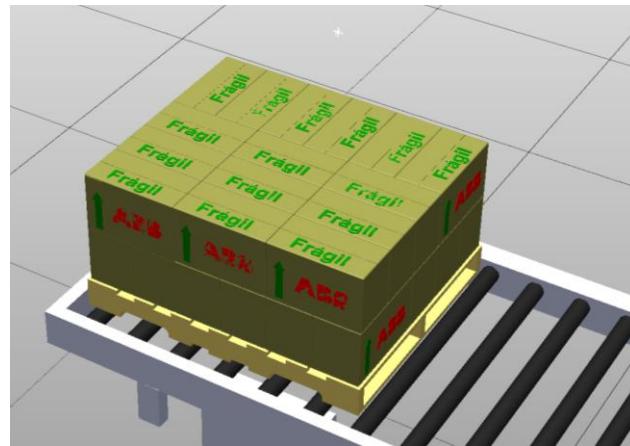


Figura 2. 5 Isométrico de la cama 2, cajas chicas.

En las figuras 2.6 y 1.8 se muestran las especificaciones de estibado del producto 2 o caja grande en una tarima de 1200 mm x 1000 mm normalizadas de acuerdo según la ISO 3676, la figura 2.6 indica la cama 1 que irá como base en la tarima, la figura 2.8 muestra la segunda cama, y se realiza un ciclo alternando los dos tipos de camas hasta tener 5 niveles para no rebasar los 2.4 m que indica la misma norma de referencia incluyendo la altura de la tarima, además de no rebasar la altura estándar que tiene la caja de un tráiler que es de 2.4 m igualmente según la normatividad. La figura 2.7 y 2.9 son los isométricos de las camas 1 y 2 de las cajas grandes, respectivamente.

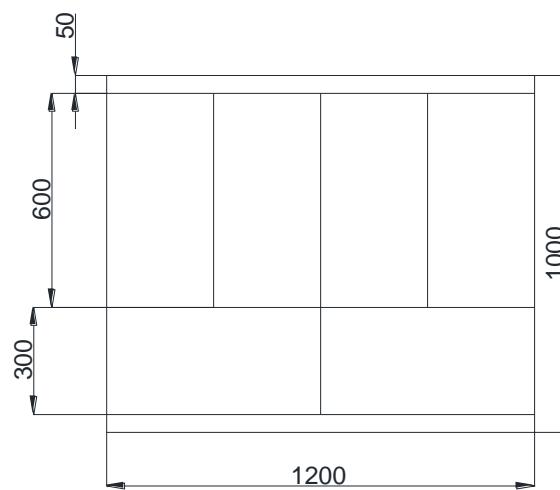


Figura 2. 6 Cama 1, cajas grandes.

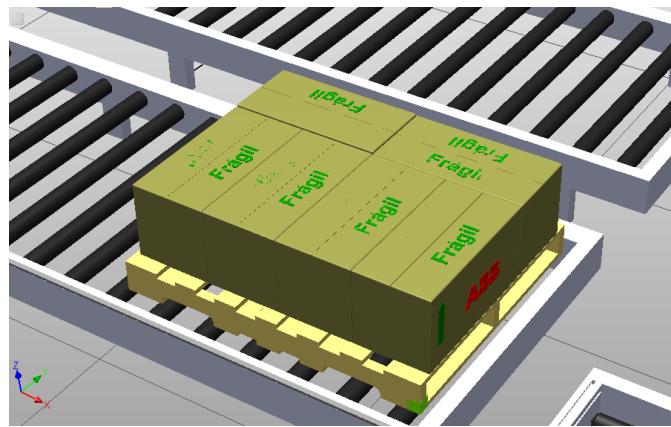


Figura 2. 7 Isométrico de la cama 1, cajas grandes.

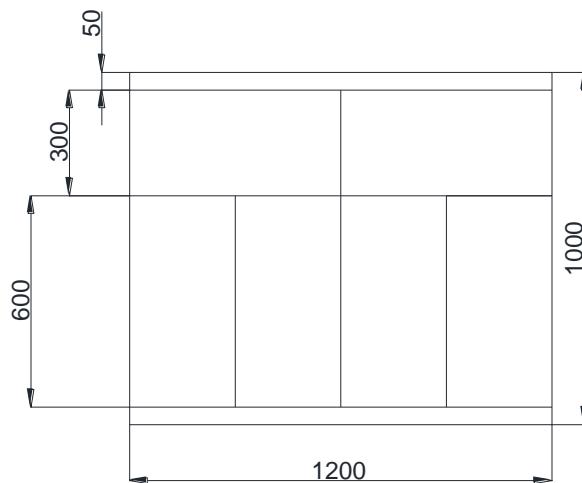


Figura 2. 8 Cama 2, cajas grandes.

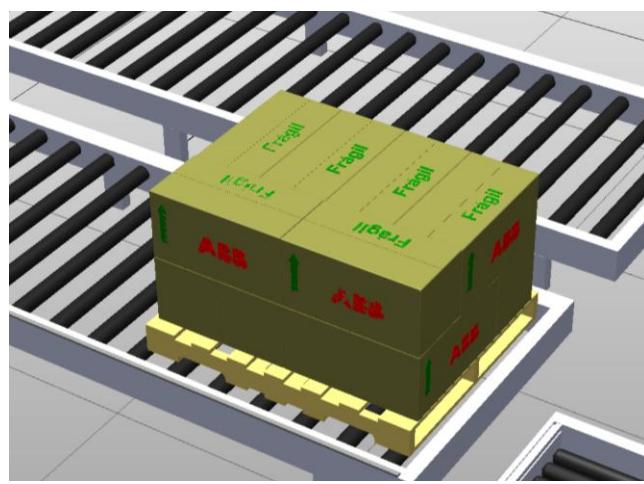


Figura 2. 9 Isométrico de la cama 2, cajas grandes.

Posteriormente de ser estibado un pallet, un montacargas llega para transportarlo al rack o área de almacenamiento para su posterior distribución, o se carga directamente al tráiler en caso de ser un pedido especial.

En la figura 2.10 se puede apreciar el modelo realizado en SolidWorks® que describe el proceso actual del paletizado manual.

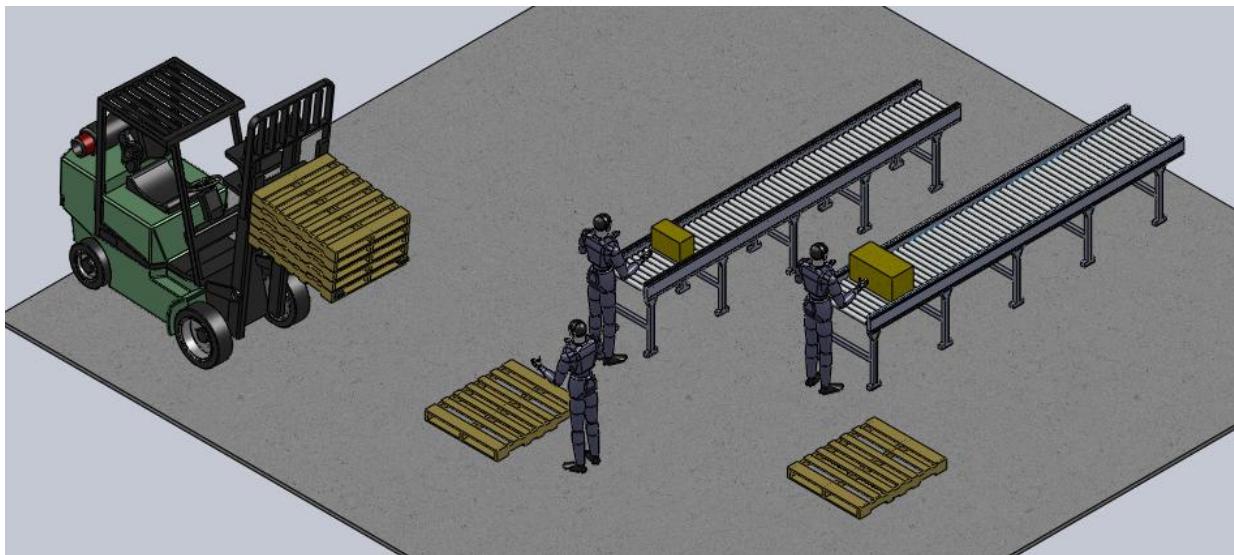


Figura 2. 10 Modelo del sistema actual en SolidWorks®.

Para comprender mejor el funcionamiento del sistema, se realizó el Grafcet descriptivo visto en la figura 2.11 que es un diagrama que muestra la secuencia lógica de operación de etapas y transiciones que se ven implicadas en el proceso de paletizado manual.

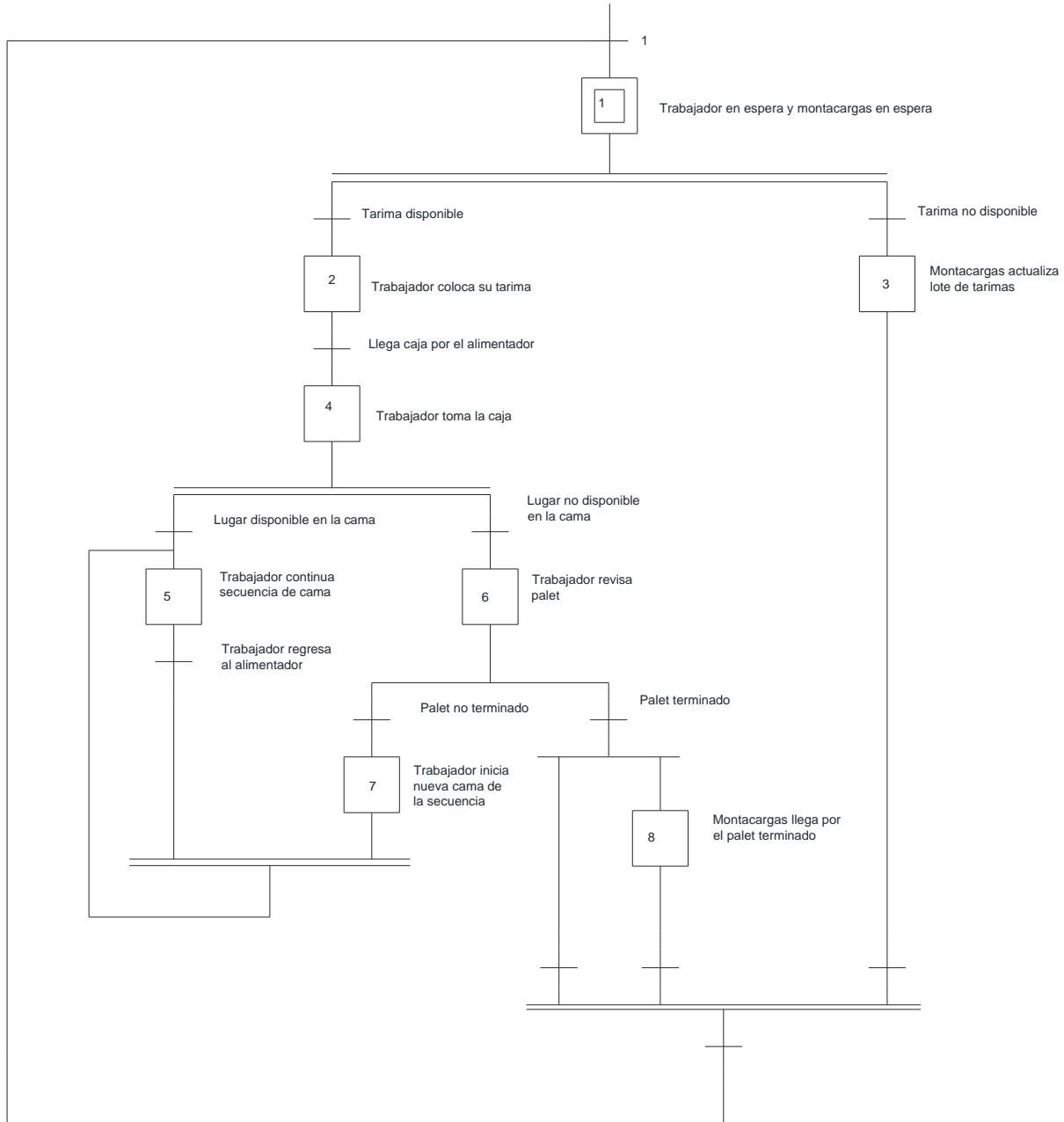


Figura 2. 11 Grafcet descriptivo del sistema actual.



## 2.4 Aspectos Importantes de la Problemática Detectada

Uno de los aspectos más importantes a considerar en el sistema actual, en el que no existe ningún tipo de automatización y en el que el trabajo se lleva a cabo de forma manual son las capacidades de los trabajadores que llevan a cabo esta tarea, así como los problemas de salud que estos podrían llegar a padecer derivados de la exigencia del mismo.

Estos aspectos caen dentro del campo de estudio de la ergonomía, y tal como se menciona en el capítulo 1, su objetivo es la prevención de daños en la salud considerándola en sus tres dimensiones: física, mental y social, ahora usando esta herramienta podemos conocer la razón por la cual esta empresa experimenta problemas con el desempeño de sus trabajadores, así como los problemas de salud que estos comienzan a sufrir derivados del reciente incremento en las exigencias de su trabajo.

El primer indicador de estos problemas comenzó cuando el encargado de esta área reportó que dos trabajadores necesitaban de al menos tres días de incapacidad para recuperarse, debido a que sufrían de una lumbalgia aguda, investigando el motivo de esto, se concluyó que el motivo era que los trabajadores habían optado por levantar dos cajas a la vez, para poder dar abasto al repentino aumento en la velocidad de salida de las cajas de mayor tamaño con un peso de 5 kg, por lo tanto el peso que estaban levantando era de un total de 10 kg, si bien como se explicó en el capítulo 1, con 3 kg ya existe un riesgo para la salud, con 10 kg el riesgo es mucho mayor, así que al levantar esta carga y rotar el tronco para poner la carga en la tarima, indudablemente estos trabajadores sufrieron una lesión en la espalda. La primera estrategia para evitar este tipo de accidentes y salvaguardar la salud de los trabajadores fue el volver a instruirlos en la manera adecuada para levantar cargas y evitar accidentes, si bien esto ya se había hecho al momento de contratarlos, tal como lo marca la ley federal del trabajo, se volvió a hacer hincapié en estas medidas de seguridad.

Desafortunadamente esto no fue suficiente para eliminarlos, tan solo una semana después un trabajador sufrió una caída que tuvo como consecuencia la dislocación de dos dedos del



trabajador afectado, investigando nuevamente las causas de este accidente se llegó de nuevo a la conclusión que un aumento repentino en la velocidad de salida de las cajas y debido a que el ritmo había sido de por si intenso en los últimos 30 minutos, este trabajador llegó a un nivel alto de fatiga, que afectó sus capacidades de atención, tal como se vio en el capítulo 1, y basta una pequeña distracción por parte de uno de sus compañeros para que perdiera la concentración y se tropezara y callera.

Lamentablemente este tipo de accidentes se han hecho muy frecuentes, además de que una encuesta reciente a los trabajadores de esta área arrojara datos que muestran que todos experimentan un alto grado de fatiga apenas a la mitad de su jornada y cinco de ellos comienzan a presentar lumbalgias crónicas.

Los costos asociados a actividades específicas tales como: transporte, almacenaje, personal, empaquetado (packing), costo por exceso de almacenamiento (stock), etc., han evolucionado de tal forma que actualmente representan un porcentaje importante del coste global de la empresa.

Actualmente la empresa comienza a tener problemas de almacenamiento, los cuales se requieren evitar para no llegar a tener que tomar medidas de sobre stock observadas en las figuras 1.17 y 1.18.

Esto es ocasionado por la no aplicación de la indexación horizontal mencionada en el capítulo anterior y que como consecuencia da lugar a que la AF que se ocupa del aprovisionamiento de materia prima a las líneas de producción, retenga grandes volúmenes de stock a fin de poder reaccionar rápidamente a un incremento de producción, que la AF de producción genere grandes cantidades de producto acabado a fin de reducir el máximo el número de paros en máquinas, aumentando así su productividad y evitando producción diferida, y además que la AF de ventas se ocupe solamente de aumentar la cifra de ventas, sin tener en cuenta los stocks de producto acabado<sup>40</sup>.

---

<sup>40</sup> *Ibid.* p. 9



Es por todos estos problemas que la empresa ha comenzado a buscar alternativas de solución a toda esta problemática, una solución a largo plazo, y que resuelve de una vez toda esta problemática es la automatización de la operación de paletizado.

## 2.5 Análisis de Viabilidad

Este análisis previo tiene que ser realizado por el ingeniero proyectista, especialista en robots industriales, o en su caso, por un ingeniero ó técnico capacitado para identificar la factibilidad del proyecto, es decir, si el cliente presenta las condiciones necesarias en su empresa para poder realizar este tipo de proyecto. El análisis se realiza estando en contacto visual con el sistema del proceso de paletizado manual actual en el área de carga y descarga de producto terminado de la empresa para la que se esté proponiendo una solución. Una vez estando presente en la planta se debe adquirir cierta información. Se dio a la tarea de investigar qué tipo de información era la que, por lo general, las empresas que se dedican a realizar este tipo de proyectos necesitan para poder verificar si un robot industrial va a ser la mejor solución al problema, si se tiene el espacio requerido para la instalación y puesta en marcha del robot, etc., dicha información puede ser observada en el cuestionario C 1 (Ver anexo B) que se adquirió durante el desarrollo de este trabajo, tal cuestionario es aplicado por ABB®, empresa líder en soluciones industriales en procesos de automatización y control, a sus clientes. O en caso de no tener la posibilidad de asistir directamente a la planta de manufactura, se solicita al cliente, contestar el cuestionario, el cual se apreciará durante el desarrollo de la solución propuesta, que los datos solicitados en él, son suficientes para dar una solución.

En nuestro caso particular dicho análisis se logró realizar con el contacto directo con el cliente el cual describió sin mucho detalle algunas características del sistema actual, las cuales dieron pauta a generar la solución más adecuada.

Con la ubicación y distribución de la planta se pueden realizar un análisis de viabilidad del sistema actual, descrito a continuación.



Como se puede apreciar en el layout de la planta, actualmente ya se cuenta con maquinaria y equipos especializados, como los hornos, para poder llevar a cabo la manufactura del producto. Se cuentan con bandas transportadoras que trasladan el producto final desde el enfriado, hasta el envasado, pasando por el empaquetado y finalmente su paletizado. Y en ésta área de paletizado se tiene un espacio de 6 x 6 reservado para el paletizado manual, sin contar que el área cuenta con espacio suficiente para que un montacargas llegue para cargar los palets terminados por los empleados, con libertad para que realice sus movimientos.

Debido a que la planta presenta alta demanda de sus productos, se mantiene en operación los 365 días del año, y como ya se explicó, durante todo este tiempo se trabajan 3 turnos donde cada empleado labora 7 horas y debido a todos los problemas que se presentan descritos en el tema 2.5, es necesario dar una solución al problema. Las características que presenta el tipo de cajas que se desea paletizar y el mencionado cambio que presentará el producto en cuestiones de tamaño, es decir las futuras expansiones y modificaciones que presentará la planta en el proceso son viables para dar una solución de automatización flexible y que además se dejen de presentar los problemas de acumulación de stock en el almacén que se han venido presentando.

Por último cabe mencionar que, como se explica en el tema 1.3.1, el paletizado manual es un trabajo de manejo de cargas y de naturaleza repetitiva, hay que tomar en cuenta el impacto que este trabajo tiene sobre la salud del trabajador y a su vez no perder de vista el límite de las capacidades del hombre en este tipo de tareas para de esta manera no poner en peligro la integridad del operador en el corto, mediano y largo plazo, y de esta manera analizar la viabilidad y el porqué del uso de la tecnología en sustitución del trabajo manual en pos del beneficio del hombre.



# CAPÍTULO SOLUCIÓN DE INGENIERÍA

# 3

*La ingeniería es la parte más fuerte de este trabajo, donde se toman en cuenta consideraciones muy especiales del paletizado automático de los robots industriales, consideraciones que muchas veces sólo se pueden determinar por la experiencia o por el simple hecho de llevar a cabo un proyecto. En esta etapa se genera la solución a la problemática detectada, desde la etapa de diseño hasta el desarrollo de ingeniería, instalación y puesta en servicio.*

La primera etapa del desarrollo de ingeniería donde se identifican todas las características del sistema actual y donde se determina si es viable el desarrollo de una solución, ya fue cubierta en el capítulo 2, ahora se procederá a desarrollar las etapas siguientes de la ingeniería. Donde primeramente se analizarán las alternativas de solución analizando los requerimientos del cliente en la filosofía de operación del sistema a automatizar.

## 3.1 Filosofía de Operación del Sistema a Automatizar

Se deberá instalar un sistema automático que tenga la función de paletizar cajas de producto terminado. Los dos infeeders de entrada del producto, se tienen que conservar, ya que aún se mantienen en buen estado y no se tiene pensado, ni hay un presupuesto asignado para sustituirlos, por lo que los elementos del sistema que se instalen y la programación del sistema automático se deberán de ajustar siempre a estos dos infeeders.



El flujo de productos será el mismo, aún con el sistema automático funcionando, apagándose a las características mencionadas en la tabla 2.1.

El paletizado manual, que anteriormente era realizado por el personal de la planta, ahora será llevado a cabo por el sistema automatizado. Cuando se presente una caja al final de las bandas transportadoras, un sensor o sensores encargados de presenciar las cajas, le tendrán que informar al robot que ya hay una caja disponible y éste tendrá que paletizarla de la manera más rápida y eficiente posible a tal grado que se igual o se mejore lo que anteriormente era hecho por los trabajadores. Con los mismos sensores se podrá realizar un conteo general de producto terminado.

Para tener un orden en la celda, se deberán de tener dos pallets diferentes al igual que en el proceso manual, donde el sistema paletizará de un lado, las cajas de dimensiones de 40 x 20 cm y del otro lado paletizará las cajas de dimensiones de 60 x 30 cm. Para la salida de los pallets terminados, se deben de instalar dos bandas transportadoras de salida, las cuales llevarán el producto hasta sacarlo del espacio de paletizado del robot y en un área adyacente a la celda de manufactura los montacargas puedan seguir asistiendo continuamente por los pallets terminados para su posterior carga en camiones a través del muelle de carga y descarga del producto terminado, hacia el área de carga y descarga donde llegan los camiones para recibir el producto. El sistema deberá contar con la seguridad apropiada para tener un sistema automatizado seguro, sin riesgos para el operador.

### **3.2 Alternativas de Solución**

Existen varias posibles soluciones para el problema de automatización antes planteado, como ya se mencionó en el capítulo 1, hay dos tipos de tecnología diferentes disponibles para realizar la automatización de un proceso de paletizado, estas son, la implantación de una maquina paletizadora convencional o bien la aplicación de una celda robotizada, estas dos diferentes tecnologías corresponden respectivamente a una automatización fija y una automatización flexible, si bien las maquinas paletizadoras convencionales presentan cierta flexibilidad, esta no se compara con la flexibilidad ofrecida por una celda robotizada, se sabe de antemano que las



características específicas del proceso en este caso requieren cierto grado de flexibilidad tal como se menciono en el capítulo 2.

Esta flexibilidad es necesaria ya que la empresa solicita la posibilidad de poder cambiar el tamaño de sus cajas sin tener que invertir en nuevo equipo o invertir en cambiar el existente, esto porque su mercado, el mercado de confiterías, necesita una constante innovación en cuanto al lanzamiento de nuevos productos se refiere, así como en la presentación de los mismos, pues los gustos de los consumidores cambia constantemente, las distintas generaciones de consumidores tienen diferentes preferencias y en general a los compradores les gusta tener una amplia variedad de donde poder escoger.

Por petición de la empresa, se ha solicitado que una sola celda paletizadora se encargue de dos salidas de producto, cosa que es muy difícil de realizar con una paletizadora convencional, tal como se puede ver en el capítulo 1 en la sección de paletizado automático, en donde se mencionan las diferentes maquinas paletizadoras convencionales que existen en el mercado actualmente, por lo que es un punto en contra para esta tecnología.

Otro aspecto importante es el espacio que se tiene disponible para esta operación, pues tal como se menciona en el capítulo anterior y se observa en el Anexo A, el área de paletizado esta limitada, por el área de empaque de producto, el cual a estas alturas no puede ser modificado por las complicaciones y costos que esto representaría.

Así también se tiene el área de carga y descarga limitando el área de paletizado, así que la implementación de una gran maquina capaz de paletizar cada uno de los diferentes tamaños de caja que requiere la empresa, no es una alternativa, pues además de requerir un espacio considerable a un alto costo, no tendría la flexibilidad que la empresa necesita.

Las características de la empresa nos han llevado a descartar una paletizadora convencional como una posible alternativa de solución, ahora hay que analizar si una celda robotizada cubre las necesidades de esta empresa, para comenzar sabemos que una de las principales necesidades de la empresa es la flexibilidad, tal como se vio en el capítulo 1, las celdas de paletizado automáticas cuentan con una gran flexibilidad, siendo capaces no



únicamente de paletizar varias configuraciones de tamaño de cajas, sino de también de variar el tamaño de los pallets utilizados.

También es posible una total reconfiguración de las camas del pallet, así como del paletizado, sin necesidad de una inversión grande o reconfiguración de la celda, basta simplemente con una reprogramación del robot para adaptarse a cualquier cambio que la empresa pueda necesitar en el tamaño o presentación de sus cajas.

Igualmente es importante considerar las capacidades de adaptación del sistema para futuras modificaciones en la planta, pues se tiene un plan a largo plazo para la introducción de un nuevo horno, lo que requeriría una modificación en la configuración de las celdas en general, esto no representa un problema mayor para una celda robotizada pues como se menciona anteriormente sería necesaria una simple reprogramación.

Otra ventaja que se tiene es que para un brazo robótico es posible atender dos salidas de producto terminado, tal como lo requiere la empresa sin muchas complicaciones, siendo el único requisito, el que estas estén dentro del rango de alcance del brazo robótico, por el contrario como puede apreciarse en el capítulo 1, es difícil encontrar una paletizadora convencional comercial, que sea capaz de atender dos salidas de producto simultáneamente, siendo necesario la introducción de dos maquinas, una para cada salida, lo cual es más costoso y menos práctico.

Por todo lo expuesto anteriormente se puede concluir que una celda robotizada es la mejor opción para satisfacer las necesidades de esta empresa en particular, logrando satisfacer cada una de sus exigencias adecuadamente, además de que una celda robotizada posee toda la flexibilidad que esta aplicación requiere para afrontar un amplio rango de variación en el proceso de paletizado sin necesidad de reinvertir en modificar las instalaciones.

El diagrama de bloques básico de nuestra máquina se muestra en la figura 3.1:

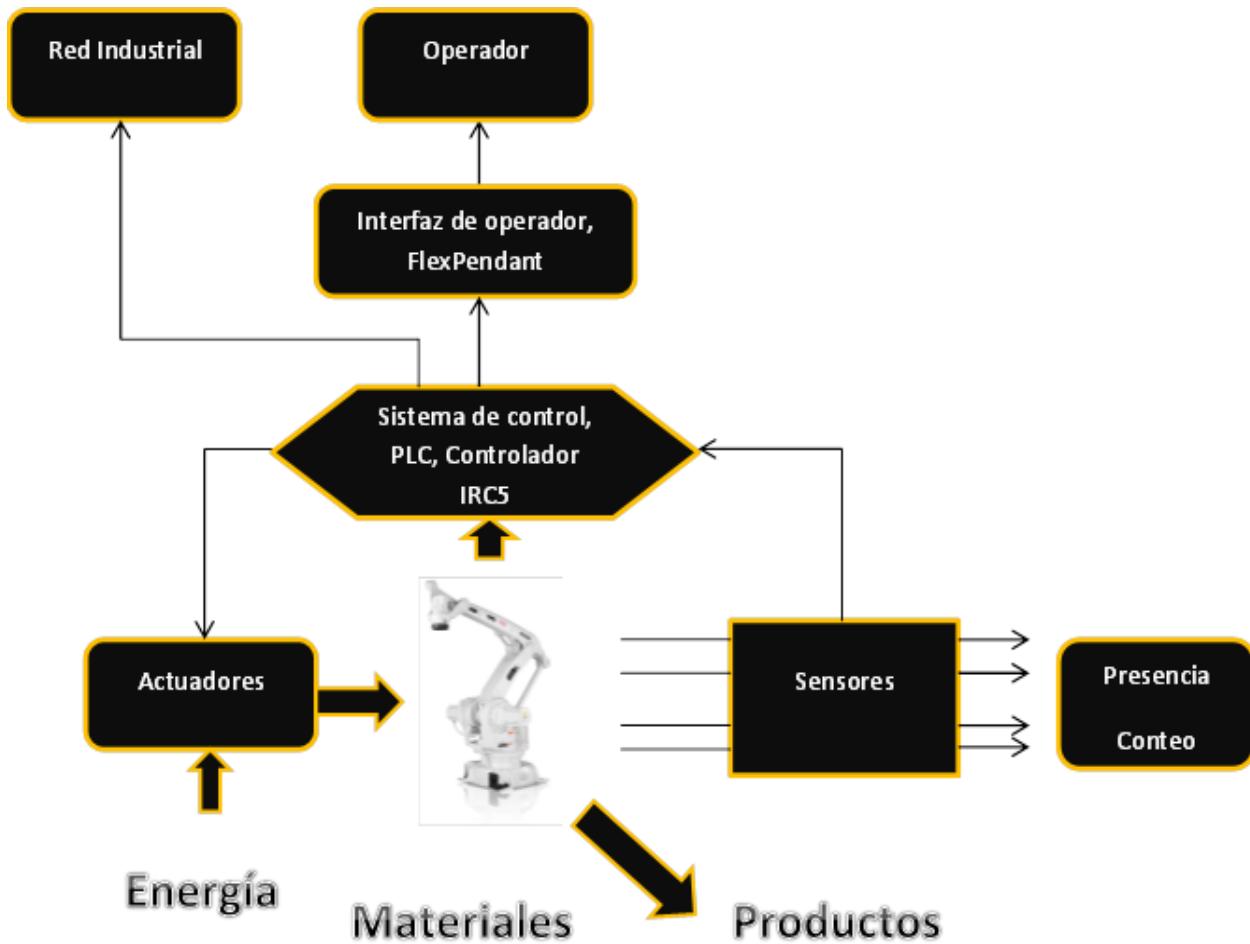


Figura 3. 1 Estructura típica de los elementos que conforman un robot industrial, aplicado a cualquier tipo de aplicación.

Es con este diagrama se puede determinar los elementos necesarios para obtener una celda cuales se seleccionarán en el tema siguiente.

### 3.3 Selección de Dispositivos

Para dar una solución de automatización del proceso de paletizado manual se debe separar el problema en partes: primero se centrara la atención en la selección del gripper para cargar el producto especificado según los requerimientos de la empresa, a la par del brazo robótico, posteriormente se hará una descripción de cada parte que integrará la celda de paletizado y se seleccionaran los dispositivos como los sensores, cortinas, radares para la seguridad de toda la



celda, botones de paro de emergencia etc. Todo esto dependiendo del espacio que se tiene disponible para poder integrar la celda de manufactura, tratando de dar una solución.

### 3.3.1 Selección del Gripper

El gripper es la herramienta con la que el brazo tomara y manipulara las cajas, este puede ser mecánico o funcionar por vacío. El gripper es de vital importancia ya que masa afectara directamente en la selección del robot, el tamaño va a depender de lo que cuantas cajas se quiera tomar por ciclo. Otra cuestión importante es la toma de la tarima o pallet que es una tarea que también debe ser realizada el gripper, cuando un robot termina de paletizar un pallet completo, este será sacado por bandas automáticas, y el robot deberá de colocar un nuevo pallet para comenzar a paletizar nuevamente.

El gripper deberá estar diseñado y construido para que las sobre-cargas eléctricas.

Las características de diseño más importantes de un gripper son:

1. *Número de cajas a tomar.* Cantidad máxima de cajas que puede tomar en un solo ciclo el gripper.
2. *Máximo peso a levantar.* La cantidad de peso máxima que soportara el gripper.
3. Peso del gripper.
4. *Medidas máximas del producto.* Son las dimensiones máximas para el acomodo de cajas que podrá tomar el gripper.
5. *Medidas mínimas del producto.* Se refiere a las dimensiones mínimas para el acomodo de cajas que podrá tomar el gripper.
6. *Rango de rotación del cableado.* Es el rango donde el cableado se puede mover sin ningún problema y no corre el riesgo de doblarse o dañarse y trozarse.
7. Presión de aire. Debido a que cualquier gripper tiene sistemas neumáticos, esto es cilindros y válvulas neumáticas, entre otros, es necesario conocer la presión que maneja el gripper para elegir la alimentación adecuada de la señal neumática.

Ahora debemos considerar las necesidades de nuestro proceso mencionadas en el capítulo 2. Las dimensiones y pesos de las cajas son las de la tabla 1.1.



Suponiendo que se quiere tomar dos cajas grandes acomodadas de manera que el arreglo sea de 600 mm por 600 mm. En el caso de las cajas pequeñas se paletizará un arreglo de tres cajas acomodadas en fila de forma horizontal, es decir, el tamaño del arreglo será de 400 mm x 600 mm. Estos son los dos arreglos que se estarán politizando por lo que el gripper deberá abarcar un máximo de área de contacto de 600 mm por 600 mm y una mínima de 400 mm por 600 mm.

En el mercado existen muchos tipos de grippers, los mas usuales son tres, el primero es un gripper tipo Claw , este gripper se utiliza en las industrias para levantar costales de todo tipo, su forma de “garra” lo hace muy útil para este tipo de empaques, es evidente que para este proceso donde se desea paletizar cajas no es útil.

Otro tipo es el Gripper tipo Clamp, este es muy útil para todo tipo de cajas solo que sus limitaciones están en cuanto al tamaño de caja que puede tomar, ya que en cuanto al ancho del producto solo soporta de 200 mm a 500 mm y debido a que la forma de tomar y dejar la cajas es con abrazaderas, lo cual hace muy complejo el paletizado de las mismas cuando estas se acomodaran en el pallet con una arreglo por cada cama, por otro lado, es imposible que el gripper cargue una caja de mas de 500 mm de ancho, el proceso actual se requiere que levante un arreglo de 600 mm por 600 mm y este gripper no lo puede realizar debido a las características de la física de agarre de sus mecanismos, en cuanto al largo de la caja no hay problema ya que este tipo de gripper se pueden usar dos a la vez lo que nos da un largo máximo de la caja de 1200 mm, esto es opcional solo si el proceso lo requiere.

La tercera opción es el Gripper tipo Vacuum o de vacío que también esta dedicado para paletizar cajas y arreglos de las mismas de diferentes dimensiones, este levanta un producto con un máximo de 1200 mm de largo y 500 mm de ancho de una caja, lo que nos das mas opciones en cuanto al uso futuro del gripper y en cuanto a la flexibilidad para los arreglos de cajas que se podrían manejar, soporta un peso máximo de 40 kg y debido a que este solo necesita moverse en un plano para realizar su trabajo de tomar cajas y dejarlas, es decir, no es necesario que las tome por los lados, solo les aplica vacío por el plano superior donde esta la tapa de la caja.

Por lo anterior se elige el gripper de vacío ya que la forma en que se toman y se dejan las cajas es ideal para el paletizado de cajas en varias camas, como lo requiere el proceso. Otra ventaja de este gripper es que también tiene los mecanismos para agarrar la tarima y de colocarla donde sea necesario.

Es importante señalar que los 3 grippers antes descritos son distribuidos por ABB®, FANUC® y KUKA® y que también una industria puede diseñar un gripper que se adapte a sus necesidades. Ahora se citan las características mas importantes de un gripper de vacío diseñado para paletizado de la marca ABB® mostrado en la figura 3.2.

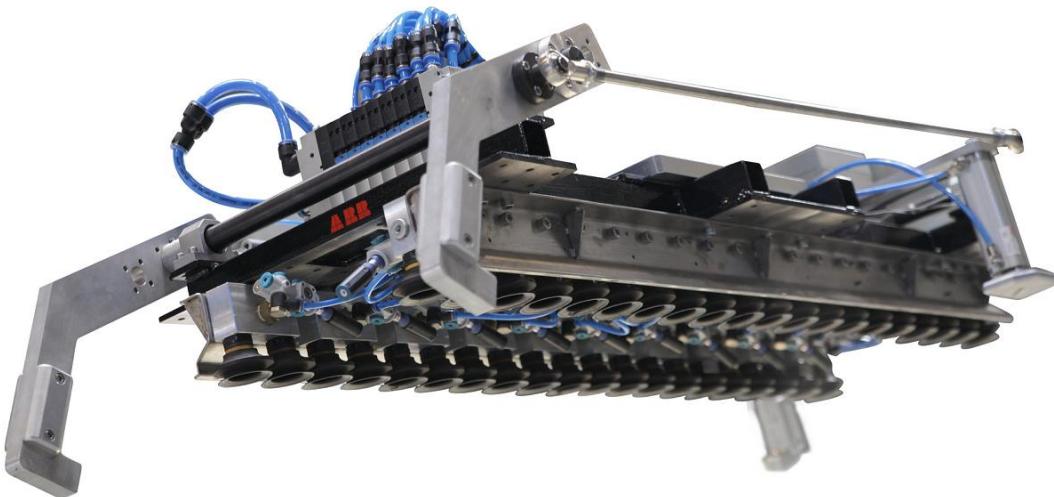


Figura 3. 2 FlexGripper de tipo vacío de ABB®.

Este gripper es fácil para instalar y de programar, el FlexPendant del robot viene pre-configurado con las señales de entrada/salida que reduce considerablemente tanto la puesta en marcha como el tiempo de programación y la interface grafica de usuario simplifica las rutinas de prueba de paletizado. Este FlexGripper de vacío usa sensores para verificar la presencia de paquetes en 4 zonas separadas y programables. Los carriles de vacío pueden ser ajustados para diferentes tamaños de cajas. El gripper viene completo con todas las mangüeras de aire y los cables de señal y esta listo para conectarse y funcionar en el modelo de robot seleccionado. Cabe



destacar que ABB® cuenta con 25 años de experiencia en el sector de paletizado, además tiene ventas y da servicio a más de 53 países.

Las principales funciones del gripper son:

- 4 zonas separadas de vacío controlables.
- Sensores para verificar la presencia/ausencia de cajas.
- Se pueden tomar más de 5 productos a la vez.
- El gripper tiene la opción del mecanismo para tomar los pallets.
- Interface de usuario grafica (GUI) previsto en el FlexPendant del robot para un arranque, sintonización y monitoreo de producción del gripper.

Tabla 3. 1 Muestra las características del producto que tomará el gripper.

Especificaciones	
Productos tomados	1-5
Peso máximo por levantamiento	40 kg
Peso del gripper	75 kg
Medidas máximas del producto (LxWxH)	1200x300x500 mm

Ya que no se llegó a hacer comparación entre grippers de distintas marcas nos quedamos con este gripper de ABB®, además de que la su selección se tiene que realizar a la par que la del robot debido a que uno depende del otro, si el gripper no se ha seleccionado, no se puede saber cuál tipo de robot es el indicado, ya que hay robots para diferentes aplicaciones, (explicado a detalle en el marco referencial), y si no se selecciona el robot, no se puede saber qué tipo de gripper podrá soportar, ya que sus pesos son distintos, por lo general un gripper de ventosas es más pesado que un gripper de tipo abrazadera. Por lo cual se seleccionó el gripper de ventosas, debido a que en nuestra aplicación se requiere que el gripper pueda tomar cuatro cajas a la vez, y que además sea capaz de sujetar las tarimas y ésta última característica sólo la tiene el gripper de ventosas. Se podría realizar una adaptación al gripper de abrazaderas para que lo pueda hacer también, pero podría llegar a ser más costoso y más tardado, por lo que se puede evitar eligiendo desde el inicio el gripper de ventosas, el cual tiene un costo aproximado de \$13,000 dls.



### 3.3.2 Selección del Robot

Un brazo robótico es un sistema flexible ya que puede adaptarse casi a cualquier proceso, cuenta con una precisión máxima de 0.01 mm, es ideal para procesos donde se requieren elevadas precisiones. Cuanto mayor precisión se tenga mayor será la calidad de los productos. La rapidez de un brazo robótico es también una característica importante, esta se mide en *mm / s*.

Para hacer la correcta selección de un brazo robótico se debe ver su *alcance*, que está directamente relacionado con la arquitectura del proceso y con qué área cuenta la empresa para el paletizado. El robot trabajará como parte integral del sistema de producción por lo que lo convierte en la parte más importante del sistema de paletizado automático, y su elección se basa en dónde y cómo debe funcionar. Los principales criterios de selección de un Robot son: ambiente de trabajo, alcance y capacidad de carga. La velocidad no lo es, debido a que oscila desde 1 mm/s hasta 7000 mm/s. Además condiciones ambientales como el calor, la humedad y el polvo determinan el entorno en el que tiene que trabajar el robot. El rango de movimientos (menos de 0.3 m, entre 0.3 y 1.22 m, entre 1.22 y 3.04 m o 3.04 y mas) dependiendo del modelo.

Otro aspecto de selección, es la masa total que soporta el brazo, esto está relacionado con la masa de las cajas que va a paletizaran, para la caja grande que es de 5 kg, el gripper agarrara un máximo de 4 cajas lo cual arroja un peso de 20 kg. En el caso de la caja mas chica el gripper tomara tres cajas a la vez, es decir, 7.5 kg por ciclo. Otra masa a considerar es la del gripper que también debe estar incluida en la masa total que levantará el brazo, esta masa del gripper antes seleccionado es de 75 kg.

El aspecto mas importante es el conocimiento de que un brazo robótico que hará paletizado debe de ser de 4 grados de libertad debido a que la orientación del gripper nunca cambia en un eje, es decir, no es necesario que tenga otro grado para rotar este eje. Para cualquier movimiento del brazo robótico, la gripper no se moverá ya que siempre esta en forma paralela con respecto a la caja a paletizar.

Para el caso del alcance del brazo robótico se tienen perímetros de 6 m por 6 m, es decir un terreno cuadrado del área de paletizado y con las guardas que nos limitan el área de trabajo y por lo tanto la celda de paletizado. El brazo robótico solo ocupará un alcance de 2.5 ya que el gripper



también requiere 600 mm adicionales y se dejan 400 mm para asegurar que el brazo nunca chocara con la valla de seguridad.

Ahora ya se sabe que se necesita un brazo con 4 grados de libertad, además de que la masa máxima que levantara el brazo es de 20 kg y que la masa del gripper es de 75 kg, el robot tendrá que levantar como mínimo 95 kg, y también se debe de tomar en cuenta que este peso máximo debe ser el 90% del peso máximo que soporta el brazo robótico, es decir, el robot debe tener una tolerancia mínima del 10% de su carga total. En cuanto al alcance del robot deberá ser máximo de 2.50 m.

Ahora se hará una tabla comparativa (ver tabla 3.2) con las 4 marcas más comerciales en el mercado de robots, ABB®, KUKA® y z. se harán comparaciones como alcance, máxima carga soportada, grados de libertad y la disponibilidad de grippers para paletizado por parte de la empresa de cada marca.

Tabla 3. 2 Comparación entre robots de distintas marcas con características muy similares entre ellos.

	ABB®	KUKA®	Motoman®	FANUC®
<b>Modelo</b>	IRB460®	KR 120 R2500 pro	MPL100	R-1000iA/100F
<b>Alcance</b>	2.4 m	2.5 m	3.024 m	2.230 m
<b>Carga máxima</b>	110 kg	120 kg	100 kg	100 kg
<b>Grados de libertad</b>	4	6	4	6
<b>Disponibilidad de Grippers</b>	SI	NO	SI	SI
<b>Software</b>	RobotStudio®	KUKA®.WorkVisual	Varios	ROBOGUIDE
<b>Precio</b>	55,000 USD	65,000 USD	62,000 USD	63,000 USD



Como se ve en la tabla, por parte de la marca Motoman® el alcance se excede 500 mm, y la carga máxima soportada no es la suficiente para que los 95 kg que deseamos que cargue sean el 90%. Por parte de la marca KUKA®, esta marca cubre el alcance y la carga máxima sin embargo el brazo tiene 6 grados de libertad, lo que hará mas difícil el paletizado de lo que seria con solo 4 grados de libertad, es importante recalcar que esta marca no distribuye sus propios grippers lo cual es una desventaja contra las demás empresas.

Al parecer ABB® cubre todos los puntos necesarios para este proceso de paletizado, su alcance es idóneo, su carga máxima es la necesaria, y cuanta con los 4 grados de libertad necesarios para este tipo de paletizado, el robot se puede observar en la figura 3.3. La marca también vende grippers para paletizado, y la decisión de elegir ABB® y no otra marca es debido a su performance, con la tecnología QUICKMOVE® se pueden tener aceleraciones altas en distancias cortas, otra tecnología de ABB® es TRUEMOVE®, donde no importando la velocidad del brazo, este sigue su trayectoria con una precisión de 1 mm, en cambio otras marcas pueden tener una trayectoria pero no la reproducen igual a las diferentes velocidades. También se debe mencionar que la tecnología empleada en el robot es otro factor ya que a pesar de que el robot no usa Windows, su operación es análoga al uso de una computadora y su unidad de programación es fácil de usar a diferencia de otras marcas que debes de entrar a muchos menús para realizar tareas. También se selecciona la marca ABB® debido a las muchas ventajas que tiene el software en cuanto al poder de simulación muy cercana a la real de una celda completa ya sea de paletizado, de pintura o de soldadura y la gran flexibilidad que ofrece en cuanto a la programación, así como las muchas herramientas que posee para la edición de sólidos, sin olvidar la eficiencia que representa la programación offline en cuanto al ahorro de tiempo para la programación y la simulación. No se debe olvidar el soporte que existe para México por parte de ABB®.



Figura 3. 3 Brazo robótico modelo IRB460® de ABB®.

Debido a que se usara RobotStudio® por sus grandes cualidades y por su flexibilidad para la programación de toda la lógica de la celda, el brazo robótico que se selecciona es el IRB460® ya que cumple con los requerimientos tanto de paso como de alcance, tiene un alcance de 2.4 m y soporta un peso máximo de 110 kg, de los cuales el 90% son 99 kg, que es menos de lo requerido para el proceso, además de ser un brazo de cuatro grados de libertad que es mas práctico para el paletizado deseado.



El brazo IRB460<sup>®</sup> es uno de los más rápidos del mundo para paletizado, capaz de acortar significativamente los tiempos de ciclo para el paletizado de cajas. Con un alcance de 2.4 m y una capacidad de carga de 110 kg, este robot compacto de 4 grados de libertad, puede ejecutar arriba de 2190 ciclos por hora con 60 kg de carga. Este brazo desarrolla sus trayectorias movimientos suaves y con una elevada precisión, esto significa que hasta el producto más sensible será paletizado con un gran cuidado sin reducir el tiempo de ciclo. El diseño compacto del IRB460<sup>®</sup> permite que los pallets sean colocados 20% mas cerca comparado con robots similares en carga y alcance. Este factor puede incrementar la productividad en un 3%. El software de programación del brazo es muy amigable con el usuario, RobotStudio<sup>®</sup> permite a los usuarios crear programas y simulaciones; y diseñar sistemas de paletizado. El software también es usado para configurar estos sistemas más que para programarlos, esto reduce el tiempo de programación hasta en un 80%.

### **3.3.3 Selección del Controlador del Brazo Robótico**

Un brazo robótico necesita un controlador el cual se va a encargar de ejecutar todos los algoritmos de control para llevar al brazo a un determinado punto, es decir, es el que hace el control de todos los motores del brazo, además del gripper asignado como herramienta. El controlador también posee los sistemas de fuerza que darán la potencia necesaria a los motores del brazo, El controlador del brazo RB 460 será un IRC5, ya que ABB<sup>®</sup> ya tiene asignados controladores a cada uno de sus robots. Este controlador posee las siguientes características que son las más relevantes:

#### **Seguridad**

La seguridad del operador es una de las principales cualidades del controlador IRC5, el cumplimiento de todas las normativas pertinentes con la buena medida de certificado por terceros. Los interruptores de posición electrónicos y el *SafeMove* representan una nueva generación de seguridad. Las características de seguridad se pueden observar en la tabla 3.3.

Tabla 3. 3 Características de la nueva generación de controladores IRC5.

Básico	Paros de emergencia y paros de seguridad Circuitos de seguridad de dos canales para supervisión Dispositivo permitido de 3 posiciones.
Interruptores de posición electrónicos	5 salidas seguras para para monitorear los ejes (de 1 al 7)del brazo
SafeMove	Supervisión de posición, velocidad y orientación (robot y ejes adicionales) 8 entradas de seguridad para activación de funciones y 8 salidas de monitoreo de seguridad

### Control de movimiento

Basado el modelado avanzado de dinámicas, el IRC5 optimiza el rendimiento del robot para lograr el menor tiempo de ciclo posible físicamente y la precisión de la trayectoria. Junto con la trayectoria independiente de velocidad, con el comportamiento predecible y de alto rendimiento, además de que el brazo no requiere una sintonización por parte del programador.



Figura 3. 4 Controlador IRC5 de ABB®.



## Modularidad

El IRC5 se vende en diferentes versiones con el fin de proporcionar una solución rentable para cada necesidad. La capacidad de que los módulos se puedan apilar uno con otra para que estén juntos en la celda de paletizado, es una característica única que conduce a la operación correcta del *layout* de la celda, es decir, se hace un uso adecuado del espacio de paletizado. La versión de montaje en panel viene sin una cabina, permitiendo la encapsulación para una excepcional compatibilidad o para requerimientos de ambiente especiales. Las características del modulo se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Características más importantes del modulo del controlador

Características	
<b>IP</b>	54
<b>Temperatura de ambiente</b>	0-45°C
<b>Humedad relativa</b>	Max. 95% sin condensación
<b>Cumplimiento de normas</b>	Machine directive 98/37/EC regulations EN 60204-1:2006 ISO 10218-1:2006 ANSI/RIA R 15.06 – 1999 UL 1740-1998

## FlexPendant

Esta esta caracterizado por el diseño de su pantalla touch a color y un joystick para una interacción intuitiva (ver figura 3.5), posee una potente aplicación personalizada que soporta la carga de aplicaciones hechas en Taylor.



Figura 3. 5 FlexPendant de ABB®.



## Lenguaje de programación RAPID

El software da la perfecta combinación de simplicidad, flexibilidad y poder. Es un lenguaje verdaderamente ilimitado el cual soporta la programación estructurada y características avanzadas de programación. También incorpora un poderoso soporte para muchas aplicaciones a procesos.

## Comunicación

El IRC5 soporta buses de campos para I/O y puede comportarse como nodo en cualquier red industrial.

## Servicio remoto permitido

El monitoreo remoto del robot esta habilitado a través de GSM y Ethernet. Se pueden hacer diagnósticos avanzados para una investigación rápida en caso de fallo así como el monitoreo del ciclo de vida del robot.

## RobotStudio®

Una poderosa herramienta para la PC para trabajar con datos del IRC5, tanto en modo on-line como en off-line. Este programa nos provee una copia digital perfecta del sistema robótico junto con fuertes características de simulación y programación.

## MultiMove

Con un solo IRC5 se pueden controlar hasta cuatro robots, con un modulo de drive compacto añadido por cada robot adicional. MultiMove abre operaciones antes impensables, gracias a la perfecta coordinación de los patrones de movimiento complejos.

### 3.3.4 Selección del Pedestal del Robot

Si el robot se es instalado a ras de suelo, estaría muy sobrado en cuanto a su alcance se refiere, por lo que la hoja de especificaciones del mismo recomienda la altura a la que se debe de estar para aprovechar al máximo su extensión, dicha altura es de 452 mm (Ver anexo C, Ficha técnica C1), al inicio se consideró esa altura para diseñar el pedestal en SolidWorks®, pero después se



detectó que la altura mínima a alcanzar por el robot no iba a ser el suelo, debido a que las bandas transportadoras de donde el robot toma las tarimas y sobre las que paletiza, también tienen cierta altura que se debe considerar, y la altura de las bandas contando la tarima sumó igualmente 300 mm, datos que se obtuvieron directamente de proveedor, y sumando la altura que tienen las tarimas que es de aprox. 100 mm, da un total de 400 mm, por lo que finalmente se consideró una altura de 800mm, que es la suma de la altura recomendada en el datasheet del robot más la altura de las bandas transportadoras más después podrá variar dependiendo de las consideraciones que se tomen en cuenta al desarrollar el programa de paletizado en RS.

### **3.3.5 Selección del Compresor**

El gripper de vacío necesita un alimentación de presión máxima de aire de 6 bar o 87 psi, debido a esto se hace necesaria la selección correcta del compresor, ya que esto puede incrementar de forma importante los ahorros de energía en la celda de paletizado. Para la selección solo se cuenta con el dato de presión máxima, también se sabe que el compresor funcionara las 24 horas del día, ya que el brazo estará siempre en funcionamiento.

Basándose en la gráfica de la figura 1.0 del marco referencial, se selecciona el compresor de anillo líquido, debido a que nos puede entregar la presión máxima de 6 bar que se requiere para el gripper de vacío. Se sabe por datos proporcionados por la empresa que el compresor se podrá usar en un futuro para aplicaciones donde se requieren flujos volumétricos altos; de alrededor de  $2500 \text{ m}^3/\text{h}$ .

A continuación se presenta la tabla 3.5 que presenta la comparación de las diferentes marcas de compresores de anillo líquido.



Tabla 3. 5 Comparación entre distintas marcas de compresores de anillo liquido.

Marca®	NASH®	HI®	Premier Fluid Systems Inc®.
Modelo	NAB 2500	KPH 85227	SAOG2G/C -GH
Presión	44-200 psi	101.5 psi	101.5 psi
Flujo volumétrico	2200 m³/h	2000 m³/h	3800m³/h
Precio en USD	-	-	-

Debido a que no se pudieron conseguir los precios de estos productos, se elige la marca Premier Fluid Systems Inc®, ya que cumple con la presión requerida y con el flujo volumétrico deseado para que funciones de manera correcta el gripper del brazo robótico.

### 3.3.6 Selección de Bandas Transportadoras (Infeeders y Outfeeders) para Palets

Para el transporte de los pallets completos de cajas ya sea de la caja de 3.5 kg o del producto de 5 kg se requiere seleccionar las bandas, las cuales se seleccionan por la aplicación, en este caso serán bandas de rodillos accionadas por cadena, ya que ya que estas maquinas están diseñadas para soportar cargas elevadas como pallets completos y tambores, en este caso se considera el pallet con todo el acomodo de cajas, otro característica importante es la velocidad que logran alcanzar, para la entrada y salida de la tarima vacía, así como la salida del pallet completo.



Ahora se deben calcular los pesos de los pallets completos de cajas chicas y de las cajas grandes. En el caso del producto 1, es decir, la caja chica, el pallet completo tendría una masa total de 315 kg, pero si se le agrega la masa del pallet que es de 26 kg, entonces se tiene un peso total de 341 kg, en el caso del producto 2, la masa total del paletizado completo es de 150 kg, mas el peso del pallet, seria un peso total de 176 kg. Por lo que el peso que se toma es el mayor. Entonces la banda transportadora tendrá que soportar un peso mínimo de 315 kg.

En cuanto a la velocidad, esta será de 0.2 m/s en la en la cinta transportadora de la estrada y salida de las tarimas, así como en la salida del pallets completos. En la tabla 3.6 se hace una comparación entre distintas marcas de bandas transportadoras.

Tabla 3. 6 Características de bandas transportadoras de distintas marcas.

Marca	PREMIER TEC®	HITROL®	DAIFUKU WEBB®
<b>Modelo</b>	RS-SFF05	36-CRRH	FDSS12-144
<b>Peso máximo soportado por la banda</b>	3200 lb	2000 lb	1000 lb
<b>Velocidad de la banda</b>	30, 40 y 50 FPM	40 y 50 FPM	35 a 75 FPM
<b>Reversible</b>	no	si	si
<b>Precio de banda en MN</b>	\$ 83,000	\$ 75,000	\$ 64,000



Como se ve en la tabla 3.6, las tres bandas son diseñadas para transportar pallets con producto, además las tres cumplen con la carga mínima de 315 kg, en cuanto a la velocidad como ya se menciono, esta debe ser de 0.2 m/s, por lo que todas cumplen con esta característica, sin embargo, se seleccionara la marca DAIFUKU WEBB® ya que soporta 1000 lb, es decir, es la de menor precio.

### 3.3.7 Selección de Sensores para las Bandas Transportadoras

Existe una gran variedad de sensores en el mercado, y para la aplicación de que detecte las cajas de cartón que van pasando por las bandas transportadoras existen diversas soluciones desde los micro-switches que manejan marcas como Honeywell® que son puramente mecánicos hasta los sensores fotoeléctricos que ya cuentan con una tecnología avanzada de detección. A continuación se presenta una tabla comparativa entre diversos sensores, de distintas marcas y algunas de sus características más relevantes que nos ayudaron a seleccionar el mejor para la aplicación.

Tabla 3. 7 Tabla con diferentes modelos y marcas de sensores.

Marca	SICK®	OMRON®	P+F®	Banner®	Honeywell®
Modelo	WL100-P4429	E3Z-R81	ML20-54/103/115	QS18VP6AF 100	BZ-2RD72-A2
Alcance de detección	0.01 m-2.6 m	3 m	1 m		0.04m
Principio de detección	Barrera fotoeléctrica reflex	Barrera fotoeléctrica reflex	Retroreflectivo con función MSR	Fotoeléctrico con supresión de fondo	Mecanismo de acción rápida
Alimentación	24 VCD	24 VCD	24 VCD	24 VCD	X
Salida de aviso	PNP	PNP	PNP	PNP	N.O.
Tiempo de respuesta	0.5 ms	1 ms	0.5 ms	0.7 ms	X
Frecuencia de switcheo	1kHz		1KHz		20Hz
Distribuidor	SEPIA® S.A.de C.V.	Pillar® Mexicana S.A. de C.V.	Dominion® Industrial S.A. de C.V.	ATD® Sensores S.A. de C.V.	Calfer® de México S.A. de C.V.
Precio Unitario (USD)	96	81	69.42	76.44	55.59



Como se puede apreciar en la tabla 3.7, la mayoría de los sensores son fotoeléctricos, a excepción del micro switch Honeywell®, que era utilizado frecuentemente para este tipo de aplicaciones, pero ha dejado de tener ventaja sobre las nuevas tecnologías, que no requieren tanto mantenimiento, y si se compara el precio, no es mucha la diferencia. Los sensores inductivos y capacitivos no fueron considerados debido a que sus distancias de sensado son muy cortas, de los 0 a los 40 mm en el caso de los inductivos y de 0 a 25 mm en el caso de los capacitivos, lo que nos obligaría a colocarlos muy cerca de las cajas, lo que puede ocasionar un problema si en algún momento dado la caja pasa muy alejada del sensor, pegada al extremo opuesto de la banda transportadora, del lado opuesto a donde se instalaría el sensor, lo cual no es confiable, ya que la programación del robot dependerá de las cajas que tenga estén disponibles, vitas por el sensor, en pocas palabras, los sensores serán los ojos del robot, lo cual implica que tengamos que fiarnos de la mejor tecnología.

Como se vio en el marco referencial, existen más variantes de los sensores fotoeléctricos pero en nuestro caso basta con seleccionar el detector fotoeléctrico retro-reflectivo ya que solo se empleará para la detección de cajas de cartón, por lo que los únicos sensores con ésta característica son los sensores SICK®, OMRON®, y Pepper + Fuchs® de la tabla 6.1, y como nosotros tenemos que la distancia mínima de detección es de 0.05 m y la máxima es la longitud de las cajas, es decir, 0.3 m, pues entran en el rango ya que tienen una distancia de detección mayor. Los tres tienen salida a relevador tipo PNP, que es la deseada para programación con el PLC, los tres tienen tiempos de respuesta razonables, de 0.5 ms y de 1 ms en caso del OMRON®, Y la frecuencia de switcheo es la misma, 1KHz. Pudiéndose observar la similitud de sus características, nos fuimos por una decisión por precio, el sensor Pepper + Fuchs®, es el más económico, y además tiene el plus de contar con la característica de MSR.

### **3.3.8 Selección de Fuentes de Alimentación**

Las fuentes de alimentación deben de ser seleccionadas conforme a lo que indica la norma 6.9 de la ANSI/RIA (Ver Anexo C).



### 3.4 Integración y Distribución de Dispositivos en la Celda de Paletizado

Los dispositivos y el robot se tienen que instalar según el fabricante, tal como lo indica la cláusula 6.1 de la norma ANSI/RIA (Ver anexo C). Por lo que el acomodo de equipos es tal que permita su buen funcionamiento.

#### 3.4.1 Instalación del Robot

El robot deberá de ser instalado apegándose a la norma en su cláusula 6.8 (Ver Anexo A), respetando los mínimos requerimientos mencionados. El diagrama unifilar para la alimentación del robot, bajada de acometida y protecciones eléctricas puede observarse en el Plano A5, (Ver anexo A).

#### 3.4.2 Tierra Eléctrica de Dispositivos

La tierra eléctrica de dispositivos deberá de ser instalada de acuerdo a las especificaciones del fabricante (Ver anexo C, norma ANSI/RIA, cláusula 6.10)

#### 3.4.3 Disposición Final de Equipos Instalados

Después de haber realizado la distribución de equipos en 3D de la celda de paletizado, el sistema quedaría listo para su puesta en marcha dentro de la simulación de RobotStudio®, como se muestra en las figuras siguientes:

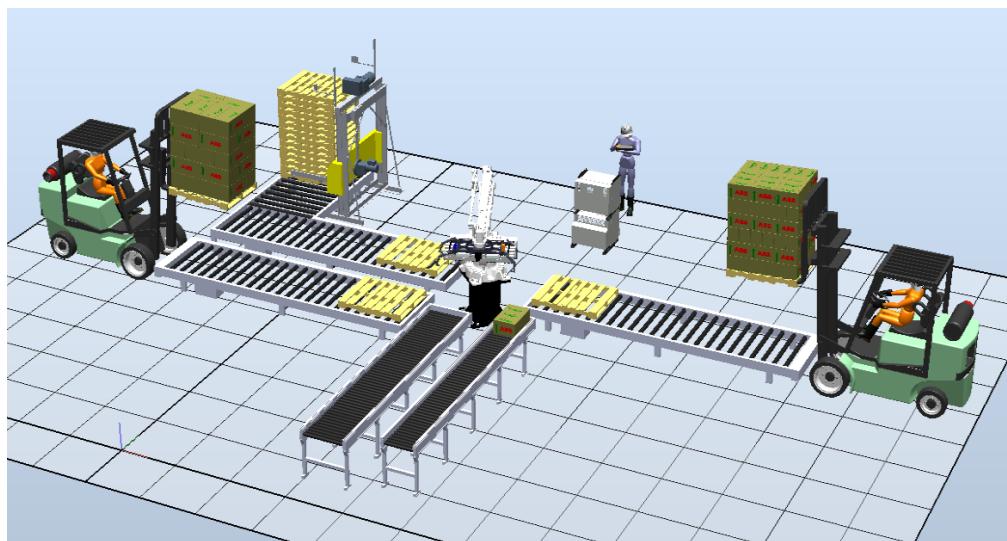


Figura 3. 6 Muestra la distribución final de equipos.

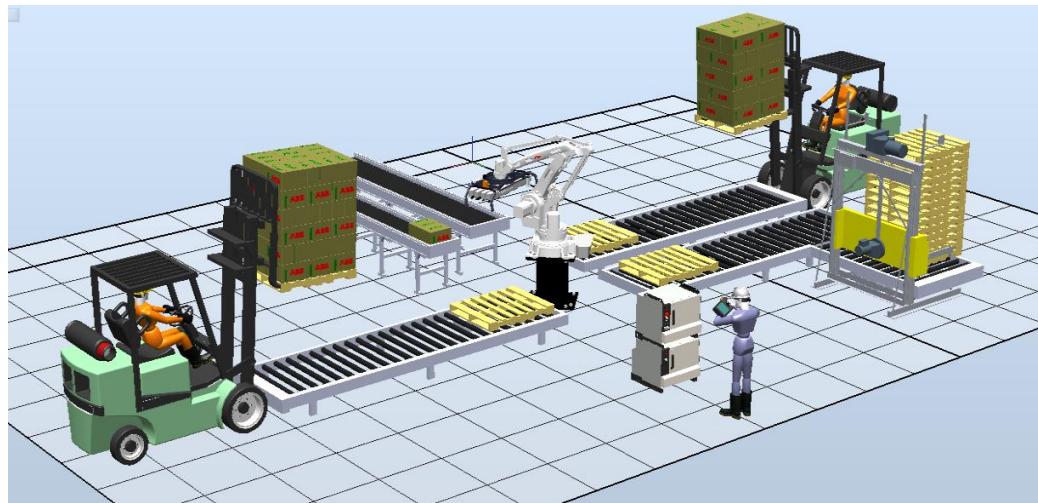


Figura 3. 7 Muestra la distribución final de equipos.

### 3.5 Programación del Paletizado en RobotStudio®

Para comenzar, se definirá el acomodo de cajas que irá realizando el robot para colocar las camas en los pallets, o como comúnmente se les denomina, los tipos de amarres del paletizado.

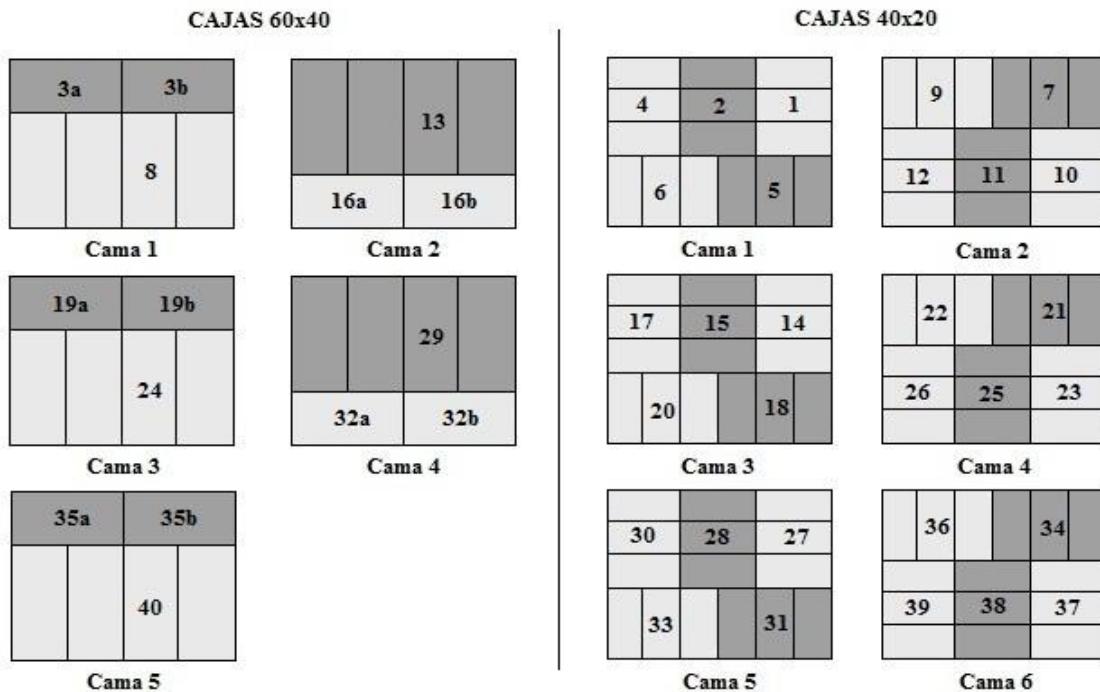


Figura 3. 8 Amarres de camas que tendrá que realizar el robot.



Se puede observar en la figura 3.8, tanto el acomodo de cajas chicas como el de cajas grandes requeridas por la empresa de galletas, y la numeración se propuso de esta manera debido a que el robot primero debe de acomodar las cajas de la parte de atrás del pallet y después las de adelante para que no existan obstáculos en las trayectorias del robot.

Los arreglos de cajas que se hicieron, están en función de los tiempos de salida de las cajas de acuerdo a los datos del proceso, que se muestran en la tabla 1.1.

Primero se acomoda un arreglo de tres cajas chicas, se hacen arreglos de tres debido a que el pallet tiene dimensiones de 1 m por 1.2 m normalizado por la ISO 3676, es decir se busco la forma de que los arreglos quedaran cubriendo toda el área de la tarima, y que se tuviera un acomodo lógico en la cama, y de esta forma se llego a estos arreglos. La primera cama tiene un acomodo y en la segunda cama se debe girar  $180^{\circ}$  el acomodo esto se hace con el fin de asegurar la estabilidad de el acomodo con todas las camas. En los arreglos de cajas grandes se procedió de la misma forma, se busco los arreglos de tal forma que quede cubierta toda el área de la tarima, aunque en estas camas el área es de 90 cm por 120 cm, es decir, en la tarima se dejaron 10 cm de longitud libres en un lado, pero no hay otra forma de acomodarlas donde no sobre espacio sin utilizar debido a las dimensiones de las cajas.

En cuanto a la frecuencia de salida de las cajas chicas, esta es de una caja cada 3 segundos según datos de proceso, es decir 20 cajas chicas por minuto, y las cajas grandes sale una caja cada 10 segundos, asea 6 cajas por minuto, se puede suponer que por cada 3 cajas chicas sale una caja grande, esta suposición nos ayuda ya que por cada arreglo de tres cajas chicas sale una caja grande, de esta forma se van haciendo la numeración por arreglo. Existe el caso en las cajas grandes donde es una arreglo de 2 cajas, para esto solo se paletizan dos paquetes de cajas chicas para dar el tiempo a que lleguen las dos cajas grandes. Como se muestra en la figura 3.8 se etiqueta a los arreglos en función del tiempo de llegada de las cajas y con esto se crea un orden con el cual cada paquete será paletizado. Ahora se comienza a interactuar con el software RS.

Para comprender esta parte del desarrollo de ingeniería, se debieron de haber leído previamente los conceptos mencionados en la sección de robótica del marco teórico, en especial el tema 1.5 en el cual se menciona la manera en que se debe de llevar a cabo un programa de



paletizado en RobotStudio® (RS), además, contiene una explicación sobre como adentrarse al entorno de RS y cómo utilizar las funciones básicas utilizadas en el desarrollo del programa de paletizado.

Para iniciar primeramente realiza la distribución de elementos de la celda de paletizado para lo cual se desarrollaron las bandas transportadoras con el apoyo del software SolidWorks®, normalmente este diseño, es realizado por un ingeniero especialista en diseño mecánico, con el fin de que se obtenga un diseño de las bandas transportadoras lo más apegado a la construcción física en cuestión de dimensiones, lo cual es un requerimiento para poder realizar programación *off-line*, como se mencionó en el marco referencial, para que al realizar la programación de las trayectorias del robot, y al programar el robot con el programa obtenido de la programación *off-line*, el robot, físicamente lo realice exactamente como se programó en el software.

La programación del paletizado se realizó a la par del diseño de los sólidos en SolidWorks®, lo primero que se importó a RS desde SolidWorks®, fue el pedestal del robot que ya se había considerado de ciertas dimensiones, el cual, si se llegara a la construcción e integración real de dispositivos, tendría que ser mandado a construir con un especialista o técnico metal-mecánico.

Después del pedestal se importa al área de trabajo en RS es el robot, al inicio se recomienda importarlo desde la librería de geometrías de RS, para hacer toda la distribución, y posteriormente convertirlo a sistema con controlador. Para esto se creó un nuevo proyecto en la pestaña de inicio y doble click en el link Empty Station mostrado en la figura 3.9.

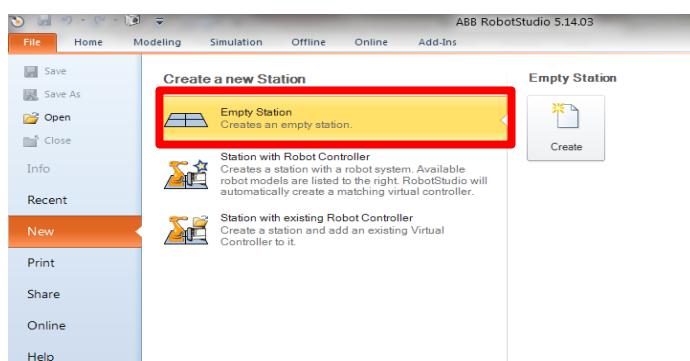


Figura 3. 9 Creando nueva estación.



En la nueva estación se importa el pedestal y posteriormente el robot IRB460® como geometría como muestra la figura 3.10.

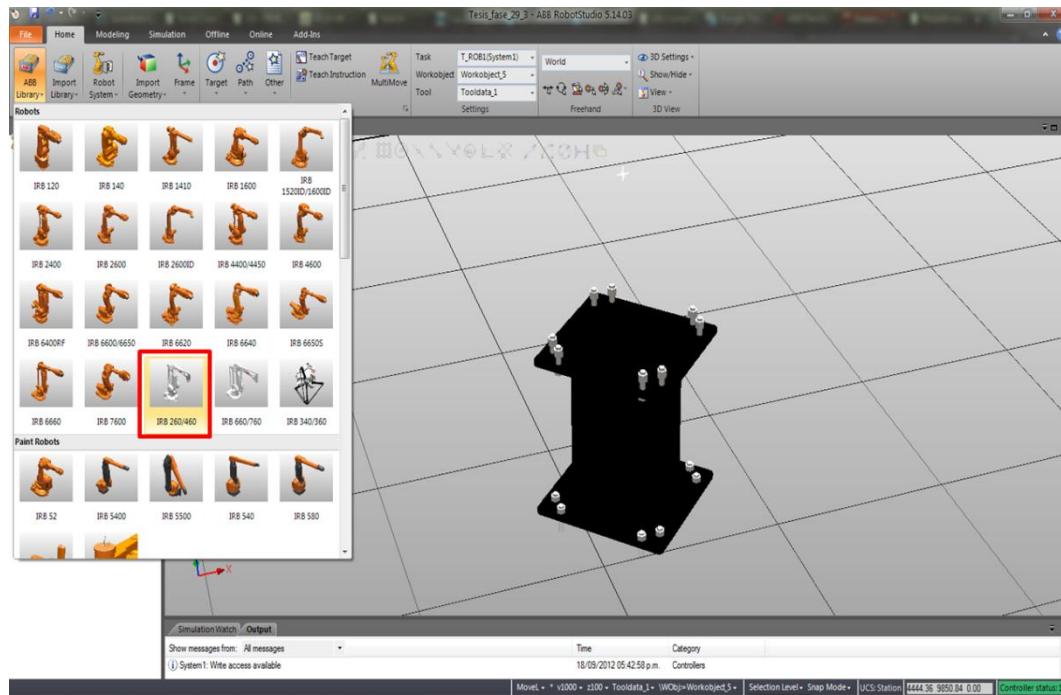


Figura 3. 10 Importando el robot como geometría en RobotStudio®.

En la ventana que aparece, se seleccionó en la pestaña desplegable Versión, el robot IRB460®, que fue el que se eligió en la selección de materiales en este capítulo.

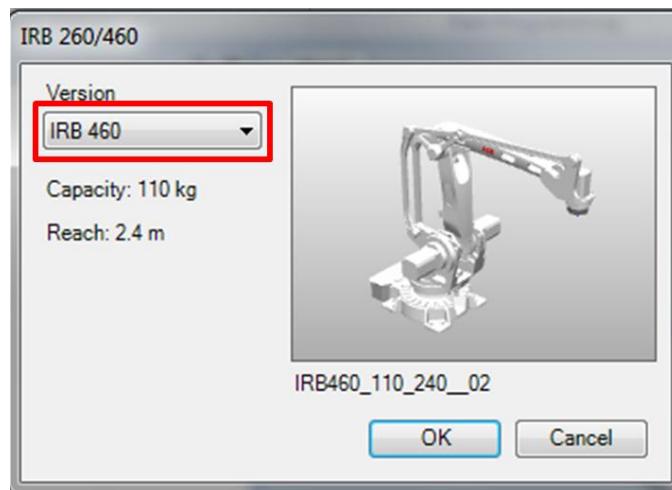


Figura 3. 11 Ventana de selección de modelo de robot.

### 3.5.1 Creando un Nuevo Mecanismo de Herramienta

Después de haber importado el robot, seguimos con el modelo 3D del gripper a utilizar durante todo el proyecto, éste se importó como geometría pero como se puede apreciar en la figura 3.12, el gripper se conformaba de muchas partes, y cada una de éstas, a la vez, estaba conformada de muchos cuerpos.

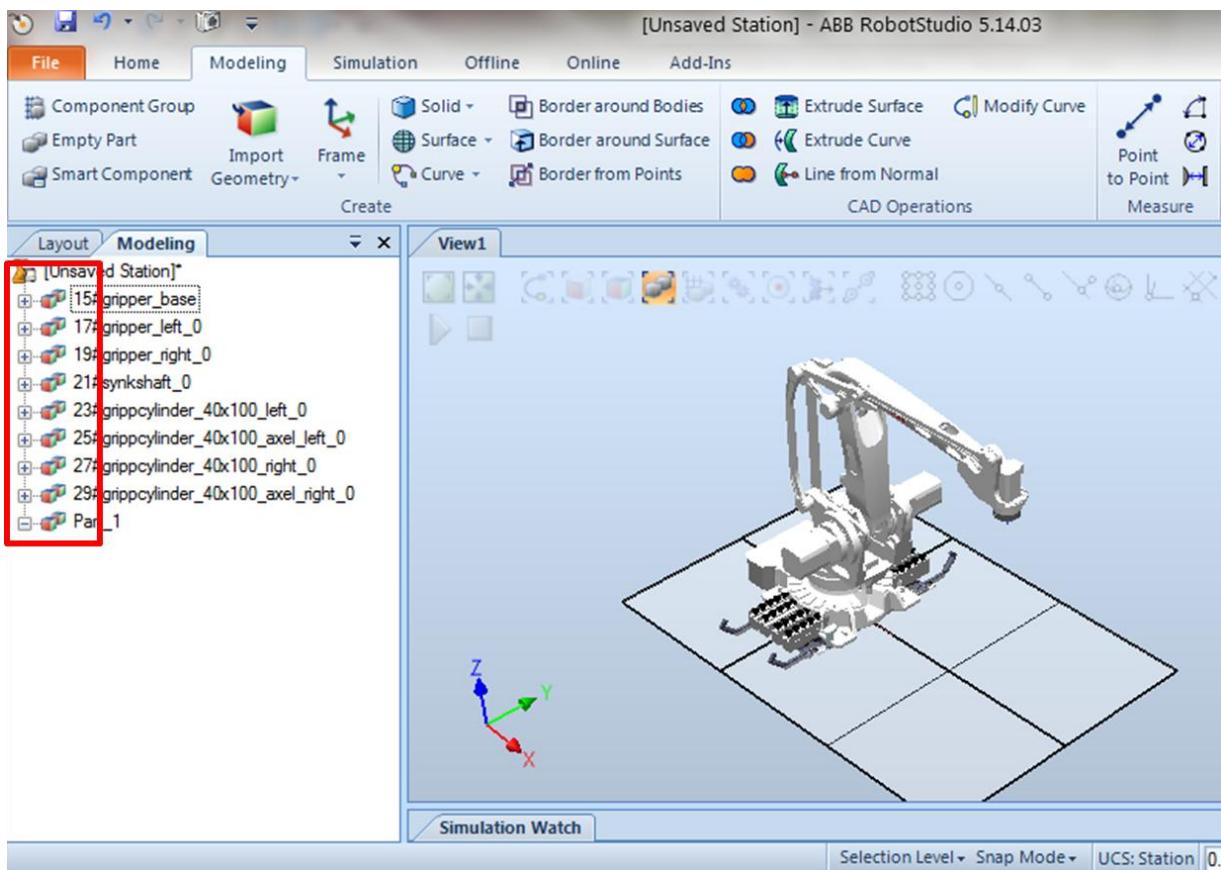


Figura 3. 12 Pestaña de Modeling, donde se observan las pestañas desplegables de las partes del gripper, indicando que éste se conformaba de muchos cuerpos.

La forma en la que se crea un mecanismo es teniendo su geometría claramente dividida en partes por lo que se procedió a crear tres grupos nuevos de partes. Las partes se crean desde el menú de *Modeling*, submenú *Create* (Crear) y click en *Empty Part*. Se crearon tres partes: Base, Pinza 1 y Pinza 2, y se fueron agregando los cuerpos a cada parte correspondiente.

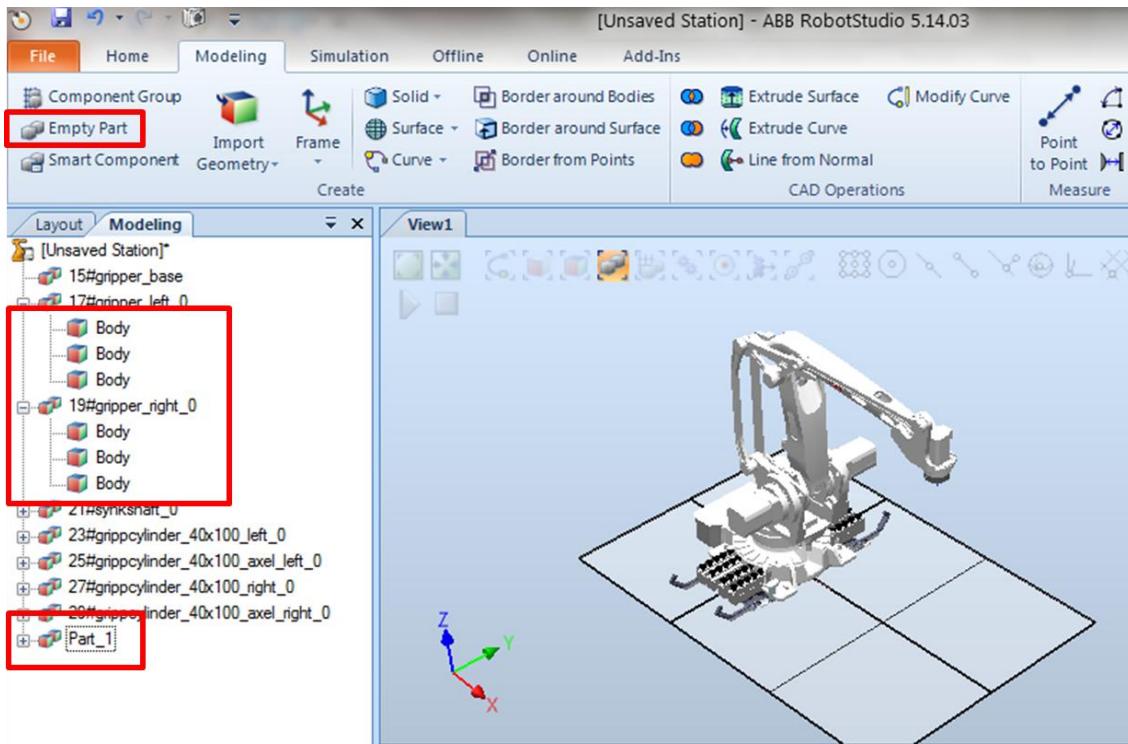


Figura 3. 13 Creación de una parte.

Para lograr esto con mayor facilidad, hacemos invisible el robot y el pedestal, como se muestra en la figura:

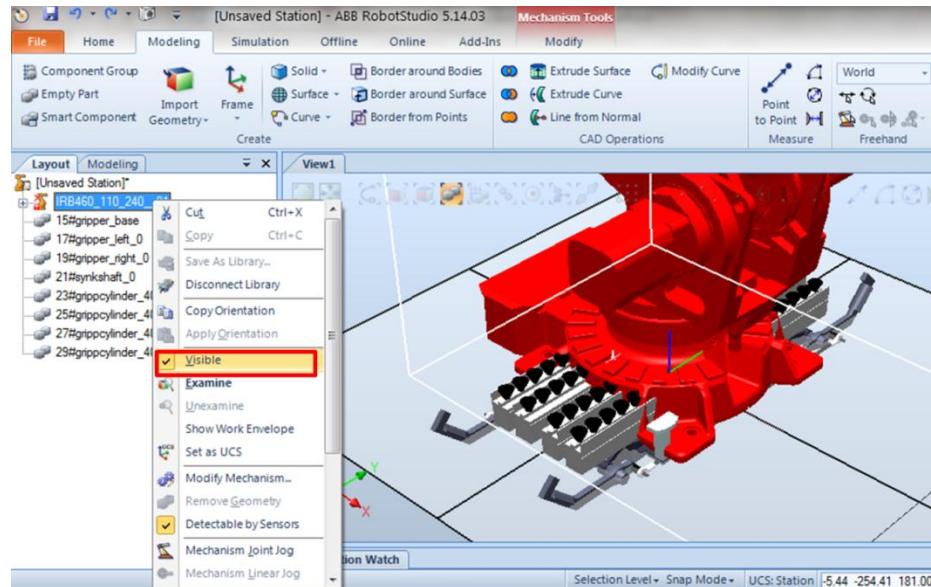


Figura 3. 14 Haciendo invisible el robot.



Se agregaron los cuerpos pertenecientes a la base a la parte llamada “Base” arrastrándolos de la parte anterior a la nueva parte como se muestra en la figura 3.15.

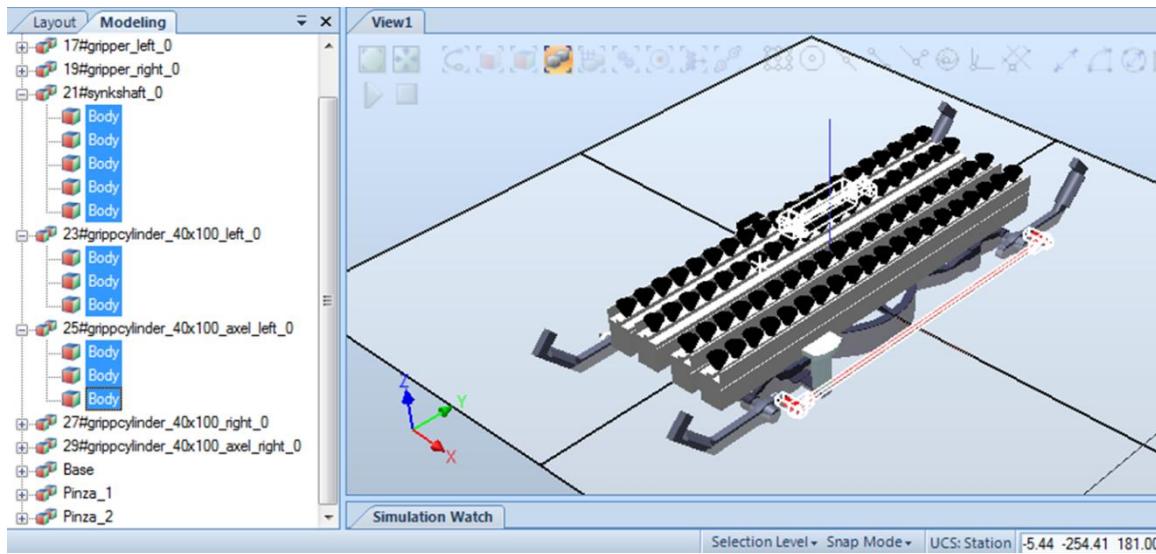


Figura 3. 15 Parte que será la base del gripper.

Se agregaron los cuerpos pertenecientes a la pinza 1 del gripper como se muestra en la figura 2.

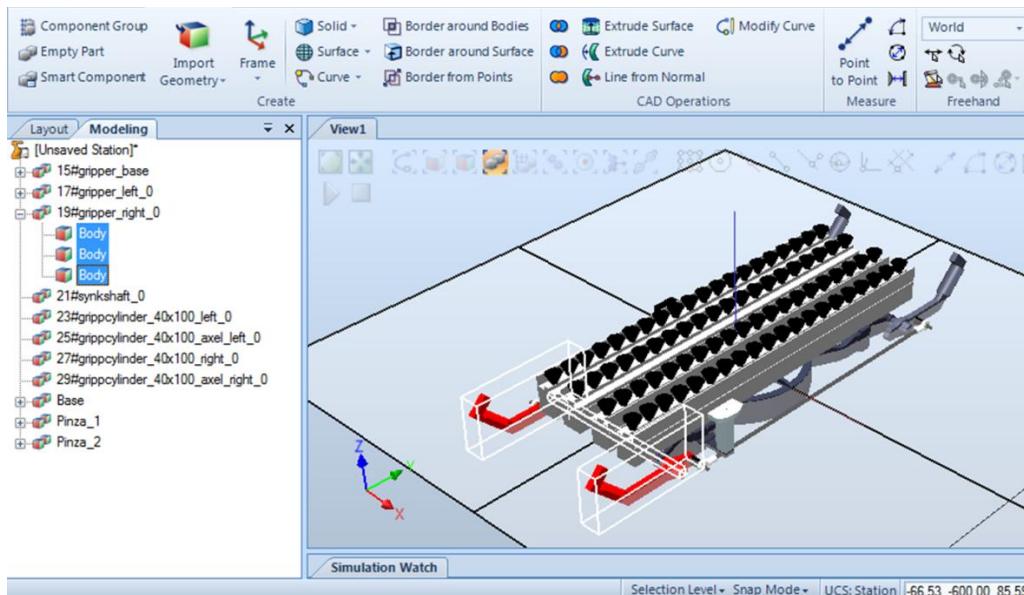


Figura 3. 16 Pinza 1.



Se agregaron los cuerpos pertenecientes a la pinza 2 del gripper como se muestra en la figura 3.17.

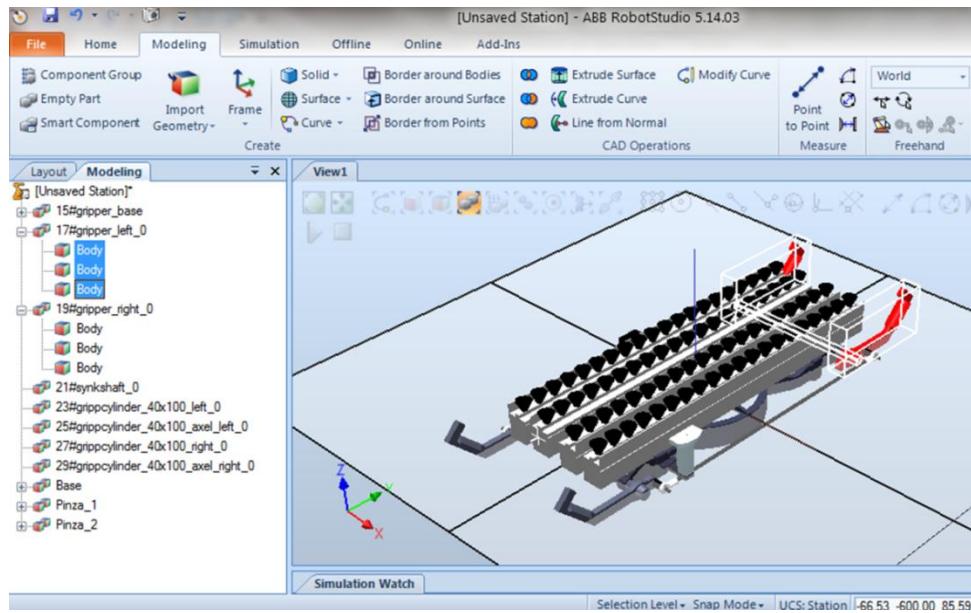


Figura 3. 17 Pinza 2.

Se eliminaron las partes que quedaron vacías en el árbol de proyecto como se muestra en la figura 3.18.

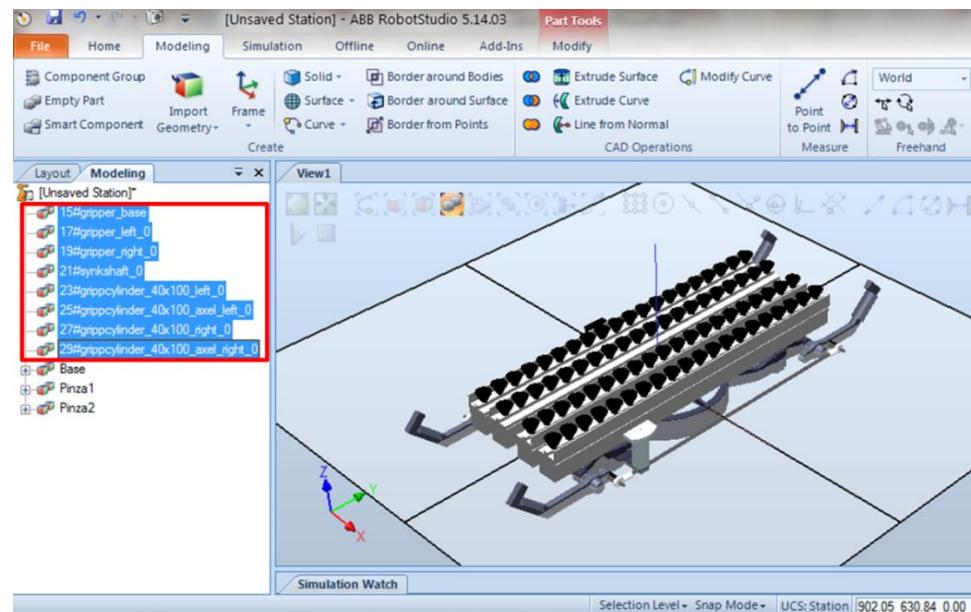


Figura 3. 18 Eliminar partes vacías.



Para crear un nuevo mecanismo nos vamos a la pestaña de Modeling, sub-menú Mechanism, y click en Create Mechanism (ver figura 3.19).

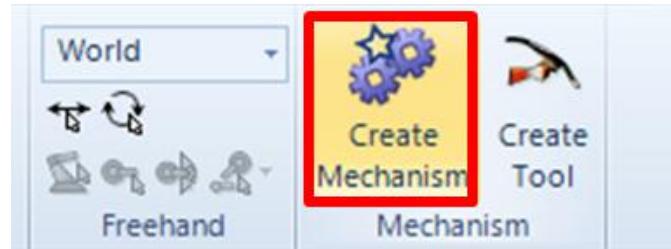


Figura 3. 19 Menú Create Mechanism.

En la ventana que se despliega se selecciona que el mecanismo sea una tool (ver figura 3.20).

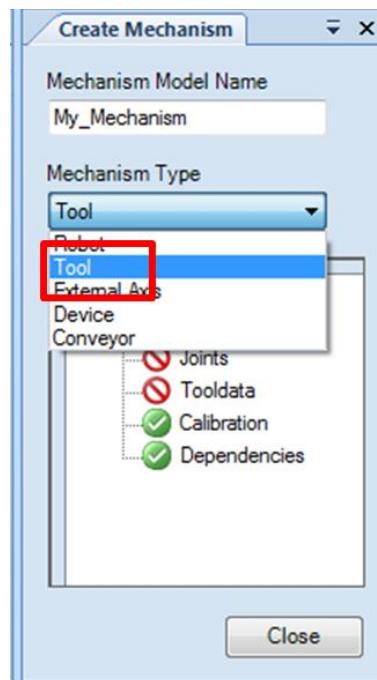


Figura 3. 20 Creando mecanismo.

En la siguiente ventana se despliega un árbol de proyecto, agregamos los eslabones o *links*, que tendría nuestro mecanismo, en la opción de link del árbol, click derecho y Add Link como se muestra en la figura 3.21.

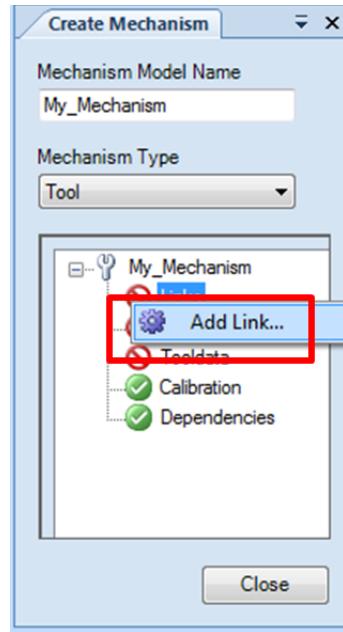


Figura 3. 21 Creando mecanismo 2.

En la ventana desplegada se colocó el nombre del eslabón, se seleccionó la parte que nombramos como “Base” y se habilita la opción de definir como eslabón base. Sólo agrega la parte seleccionada con la flecha de central de la ventana, y OK (ver figura 3.22).

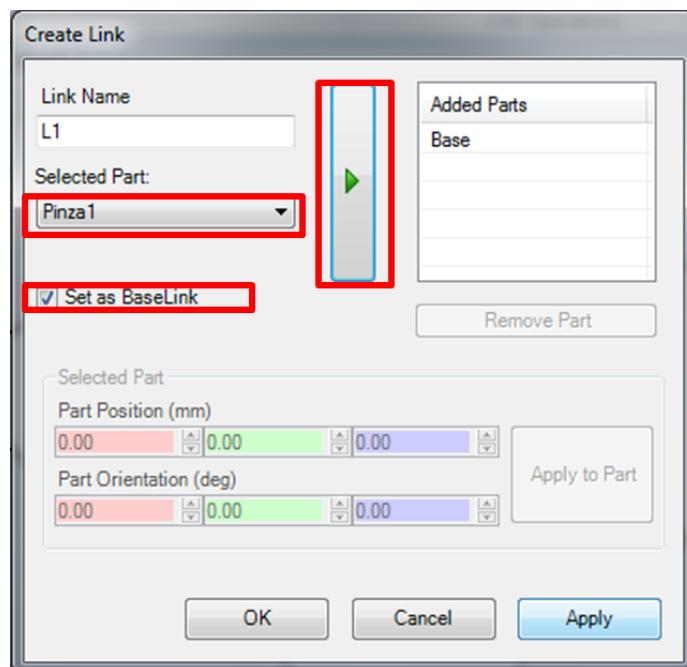


Figura 3. 22 Creando mecanismo 3.



Se agregó el siguiente eslabón seleccionando la parte Pinza 1, pero ya no se define como eslabón base (ver figura 3.23).

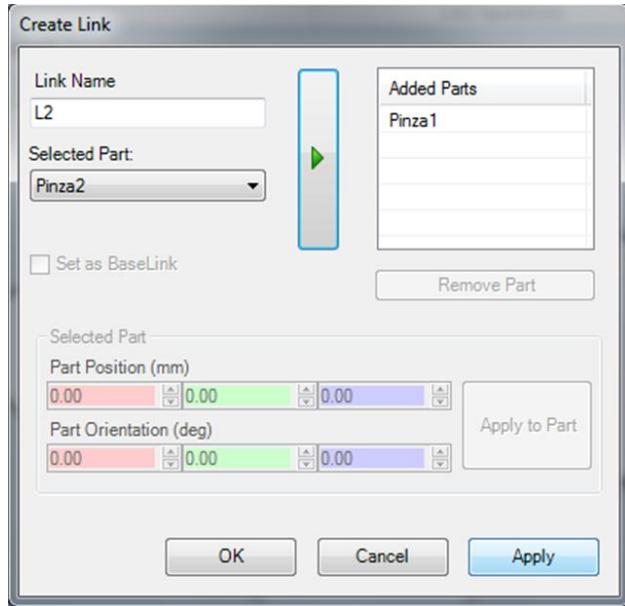


Figura 3. 23 Creando mecanismo 4.

Se agregó el último eslabón, seleccionando la parte Pinza 2 (ver figura 3.24).

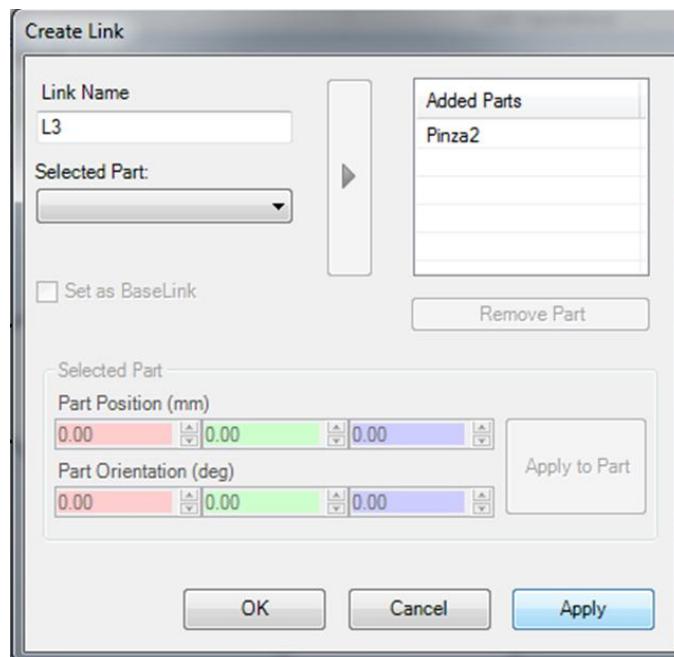


Figura 3. 24 Creando mecanismo 5.



Una vez creados los eslabones de la herramienta, se generaron las juntas para unirlos en el árbol del mecanismo click derecho en *Joints* (Juntas) y click en *AddJoint* como se muestra en la figura 3.25.

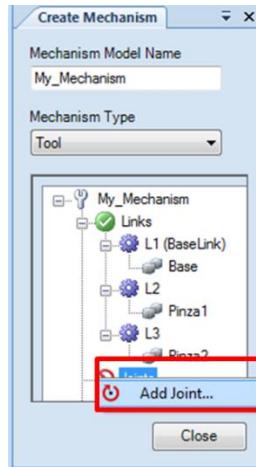


Figura 3. 25 Creando mecanismo 6.

En la ventana desplegada seleccionamos que la junta creada se realizara entre el eslabón L1 y el eslabón L2, y que la junta fuera del tipo rotacional, después nos colocamos en la opción *First Position* (Primera posición) y seleccionamos el eje central de la sección transversal de la Pinza 1 del gripper como se muestra en la figura 3.26.

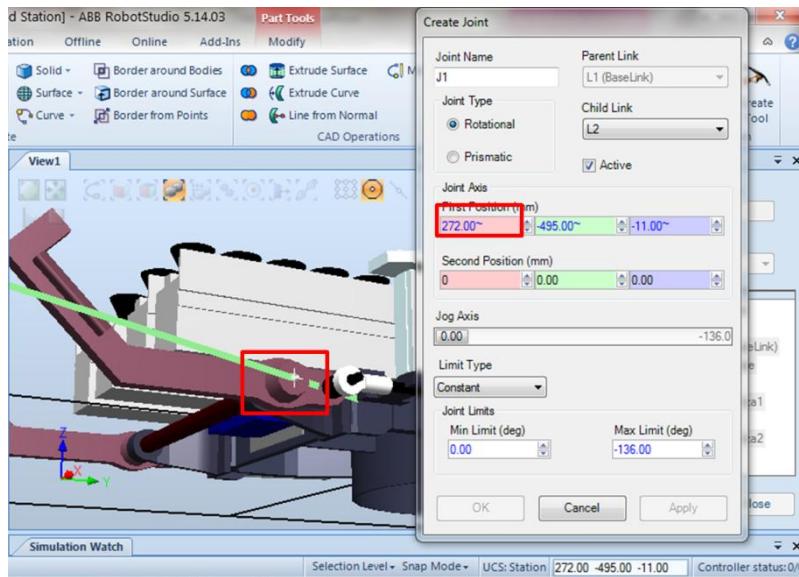


Figura 3. 26 Creando mecanismo 7.



Luego nos posicionamos en el cuadro *Second Position* (Segunda posición) y seleccionamos el punto opuesto al punto seleccionado anteriormente, como se muestra en la figura 3.27.:

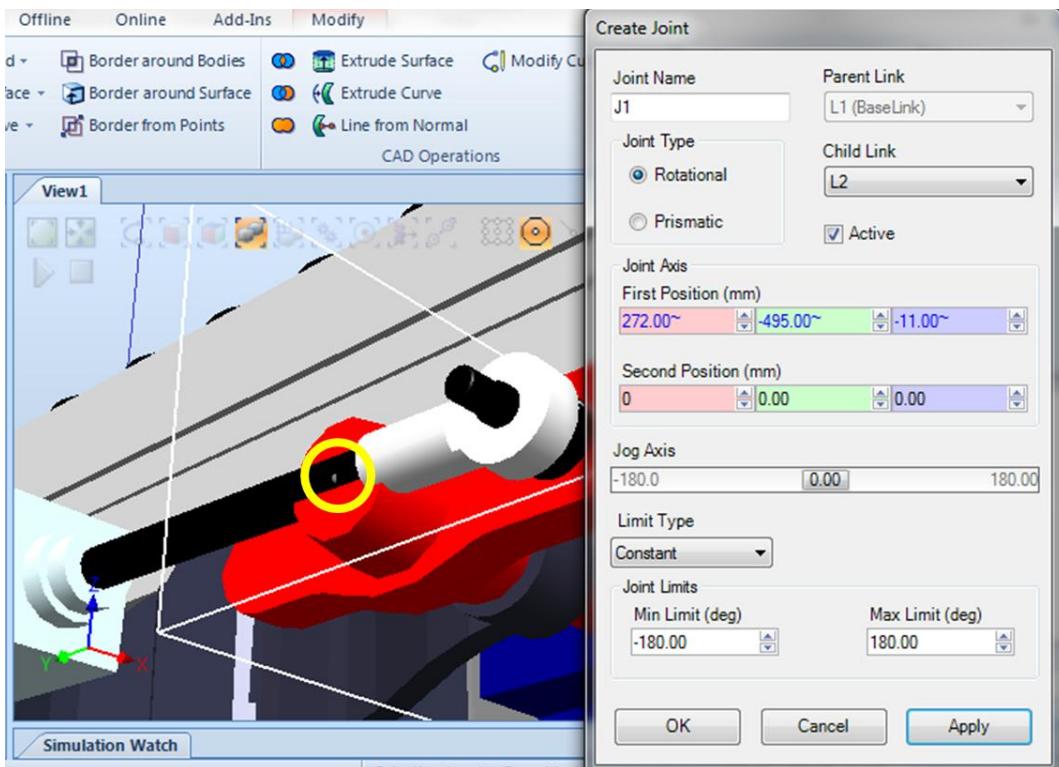


Figura 3. 27 Creando mecanismo 8.

Después de haber seleccionado los dos puntos indicados, una línea de color verde se dibujará sobre el eje X de la Pinza 1 (ver figura 3.28) y al deslizar la barra *Jog Axis* de la ventana, la parte Pinza 1 se moverá libremente, la posicionamos en una dirección mínima de  $0^\circ$  y en una dirección máxima de  $136^\circ$ , damos click *Apply* y luego en *Ok*.

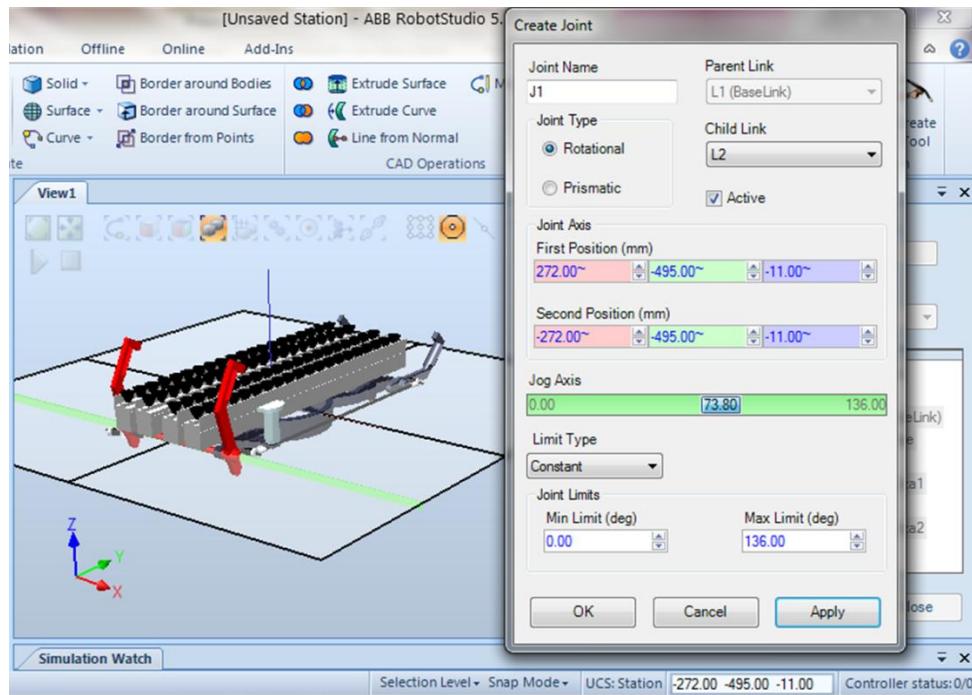


Figura 3. 28 Creando mecanismo 9.

Ahora realizamos los mismos pasos para crear la junta 2 entre los eslabones L1 y L3 como se observa en la figura 3.29).

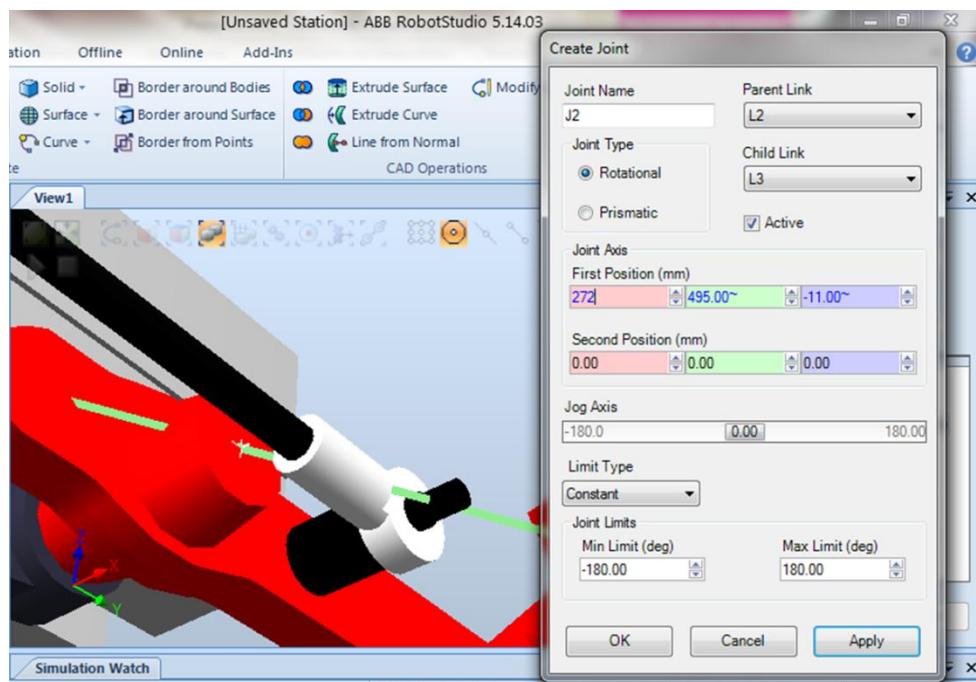


Figura 3. 29 Creando mecanismo 10.



Pero en este caso se creó la junta configurando la dirección máxima de  $0^\circ$  y una mínima de  $-136^\circ$  como se muestra en la figura 3.30.

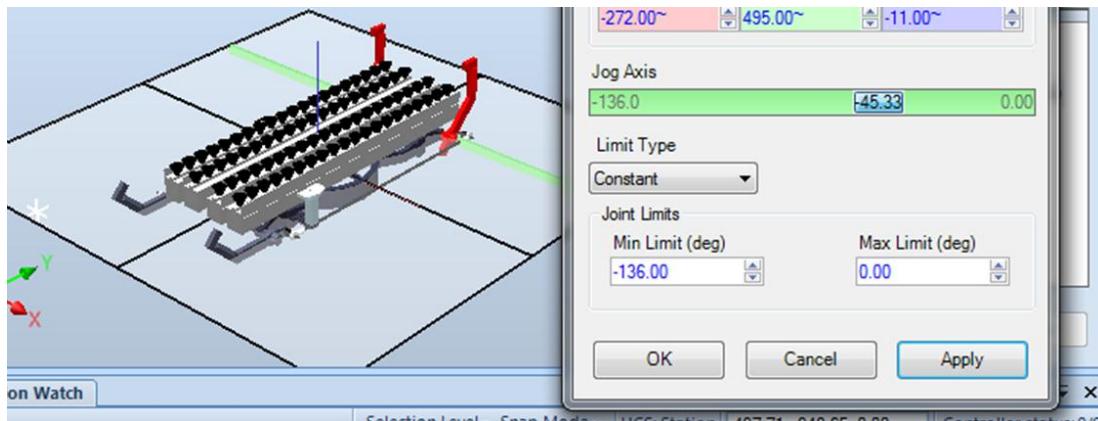


Figura 3. 30 Creando mecanismo 11.

Ahora en el árbol de proyecto aparecieron las juntas creadas y se procedió a añadir las configuraciones finales de la tool (ver figura 3.31).

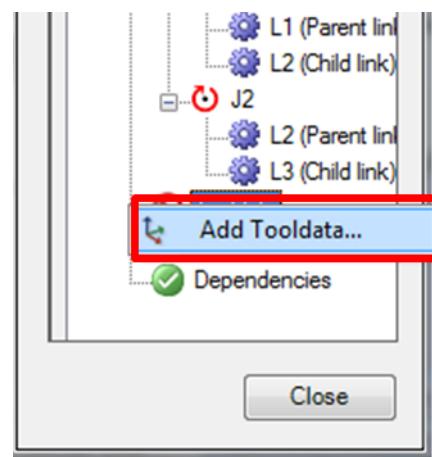


Figura 3. 31 Creando mecanismo 12.

En las configuraciones básicas del nuevo mecanismo se especifica su posición, que se colocó como el mismo que el TCP del robot. En la masa ingresamos el dato de hojas de especificación del gripper que proporciona el fabricante (Ver anexo B, hoja de especificación B2). Para determinar el centro de gravedad, el gripper tiene que ser valorado físicamente por un Ingeniero mecánico pero para el caso práctico se ingresó un valor de 100 en la dirección de Z. Click en OK (ver figura 3.32).

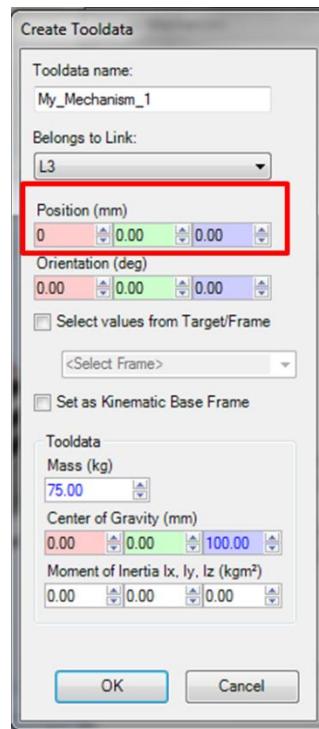


Figura 3. 32 Creando mecanismo 13.

Después de haber ingresado la configuración del mecanismo, procedimos a compilarlo para que RobotStudio® hiciera lo cálculos correspondientes para su creación.

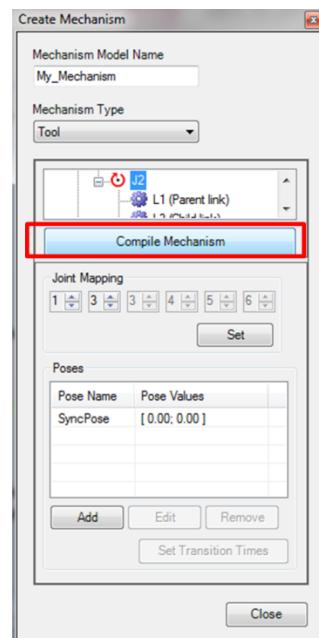


Figura 3. 33 Creando mecanismo 14.



En la nueva ventana mostrada aparece un editor de posiciones que se pueden grabar para el mecanismo. Se grabaron las posiciones adecuadas para tomar la tarima. Para agregar una nueva posición, click en la opción de Add como se ve en la figura 3.34.

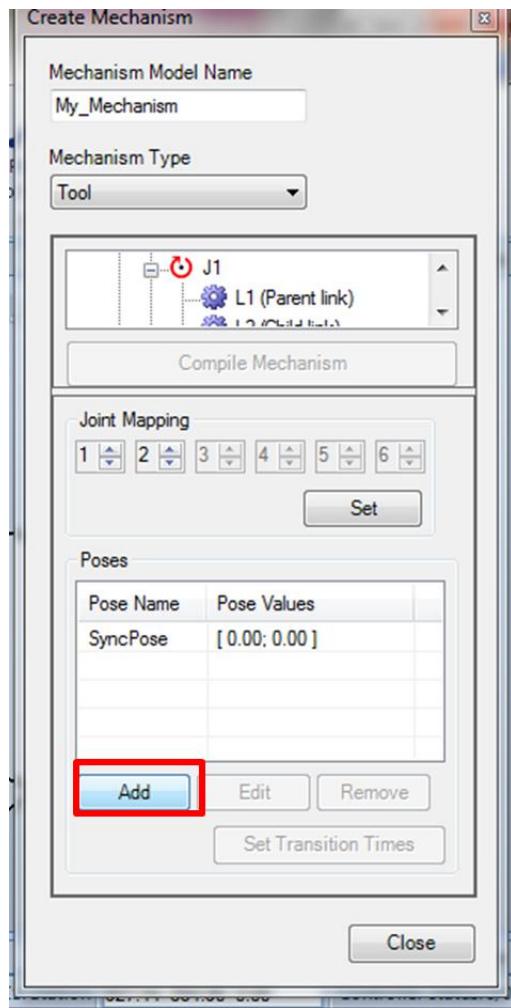


Figura 3. 34 Creando mecanismo 15.

La posición de SyncPose que RobotStudio<sup>®</sup> crea por default sirvió como la posición de pinzas abiertas, por lo que solo se configuraron las posiciones de Home, que es donde se propuso que el robot tendría que mantener las pinzas cada vez que se requiera moverse sin colapsar con algún objeto, se configuró esta posición como se muestra en la figura 3.35.

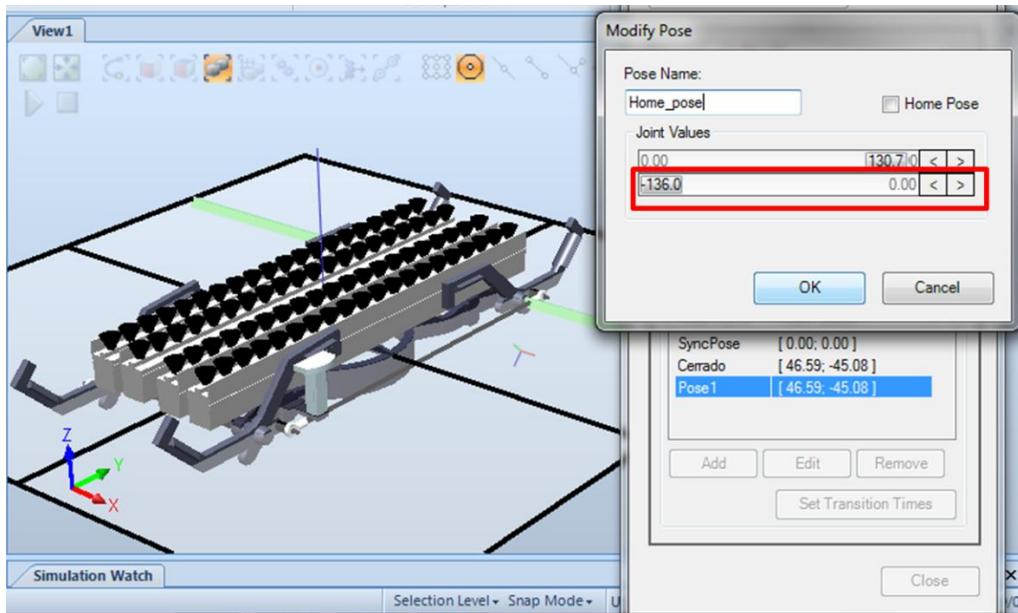


Figura 3. 35 Creando mecanismo 16.

Para lograr mover las pinzas del gripper y grabar la posición deseada, sólo se desliza la barra inferior de las dos mostradas en ventana y a continuación oprimir OK.

Después de haber grabado la posición de Home, grabamos la posición que denominamos como “Cerrado”, que es la que el gripper tiene cuando (ver figura 3.36).

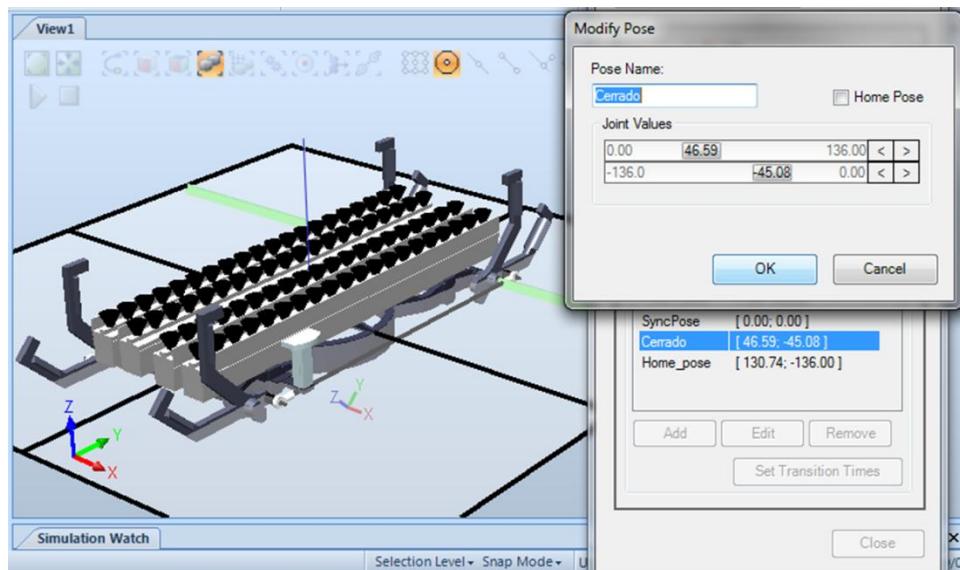


Figura 3. 36 Creando mecanismo 17.



Ahora se programaron a manera de matriz, los tiempos de transición de las posiciones del mecanismo, es decir, qué tiempo tardará en moverse de una posición a otra. Para esto dimos click en la opción Set Transition Times (ver figura 3.37).

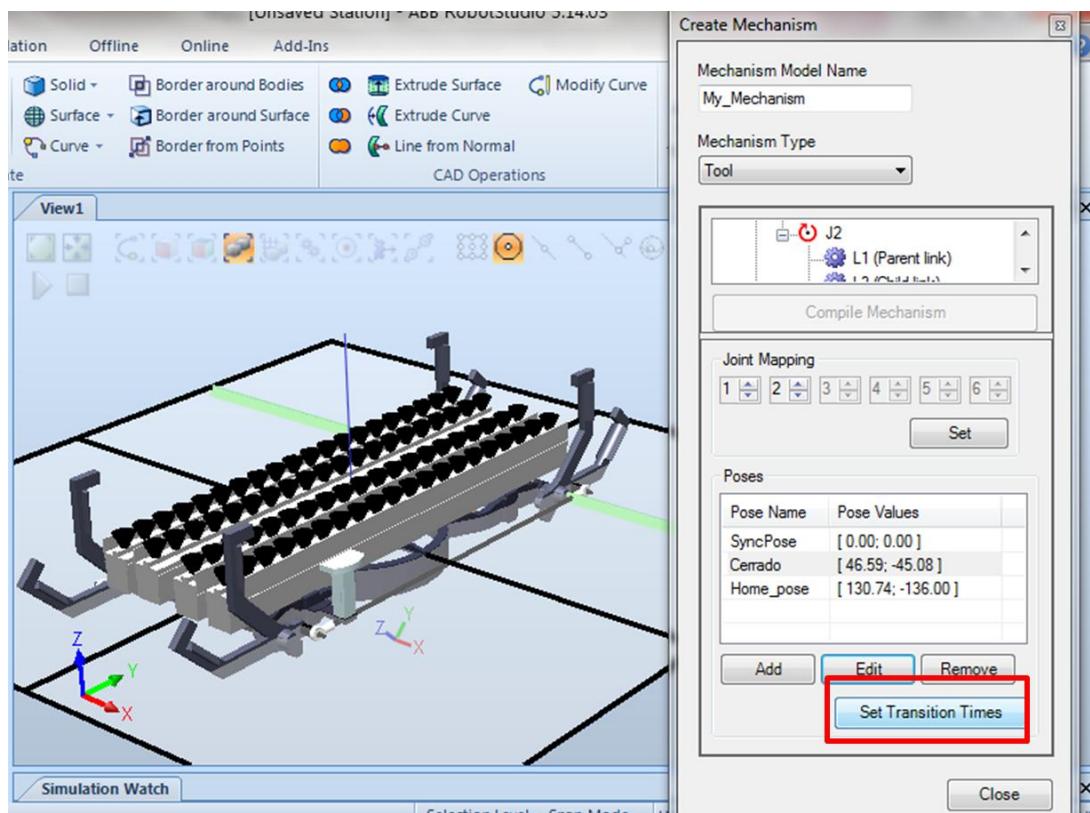


Figura 3. 37 Creando mecanismo 18.

Se despliega una matriz donde se comparan las posiciones creadas y se pueden ingresar los datos de tiempo necesarios para llevara cabo las transiciones (ver figura 3.38).

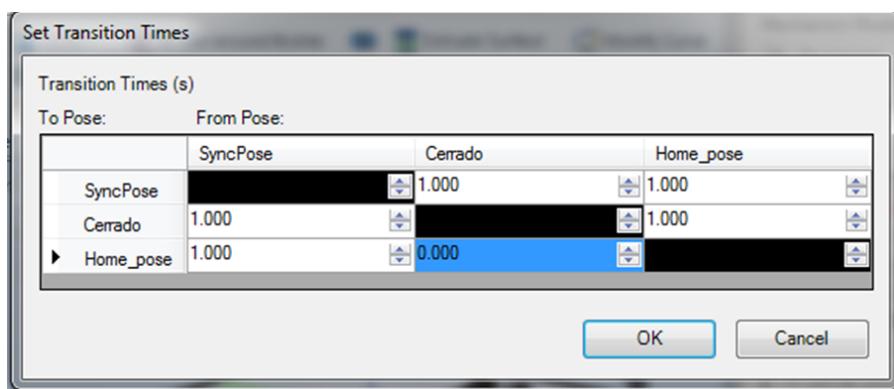


Figura 3. 38 Creando mecanismo 18.



Por ejemplo, para mover el gripper de la posición de Cerrado a la posición de Home, se tardará un minuto. Después de ingresar todos los tiempos de transición necesarios, se cierra la ventana de creación de mecanismo. Ahora se puede observar en el árbol de proyecto el mecanismo creado como se muestra en la figura 3.39.

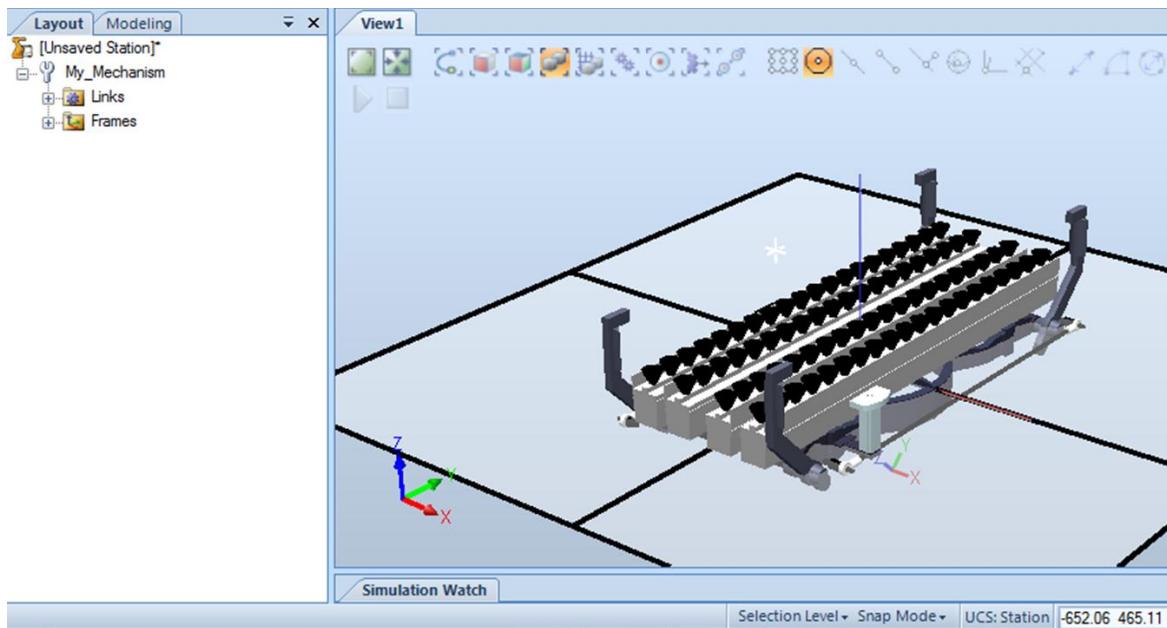


Figura 3. 39 Creando mecanismo 19.

El gripper del robot se tiene que seleccionar en el árbol de proyecto en la pestaña de Layout y se arrastra hacia el ícono del robot que se encuentra hasta la cima del árbol, el cual se muestra en la figura 3.40:

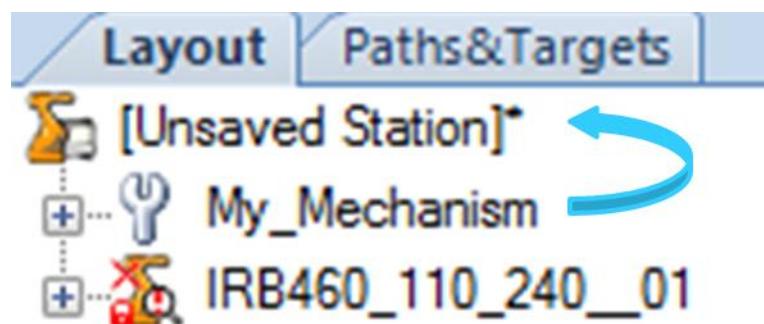


Figura 3. 40 Se arrastra el ícono del mecanismo hacia el ícono del robot en el árbol del proyecto de la pestaña Layout.



En el mensaje que se muestra (ver figura 3.41) acerca de si se quiere conservar la posición del sólido, se le dice que no, ya que de esta manera, el gripper se moverá automáticamente al eje 4 del robot haciendo coincidir los ejes locales del gripper con el del TCP del robot, por lo cual, si no se tiene el origen del sólido del gripper en el punto donde que se quiere que se conecte con el robot, se cambia su origen local como se explica en el marco referencial.

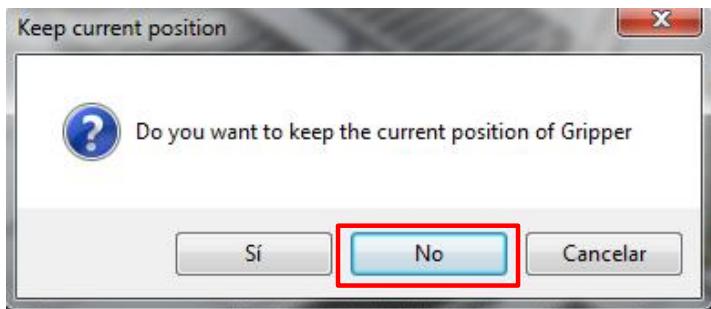


Figura 3. 41 Se debe seleccionar No al mensaje de conservar la posición.

Después se importaron únicamente los sólidos más importantes para la programación, es decir, las bandas transportadoras, las tarimas en la posición donde se colocarán las cajas etc. Y se posicionaron con las herramientas para posicionamiento de objetos en RS, explicadas en el marco referencial. El sistema se distribuye tal y como es en la realidad, apoyándose de la distribución del layout A3 (Ver anexo A).

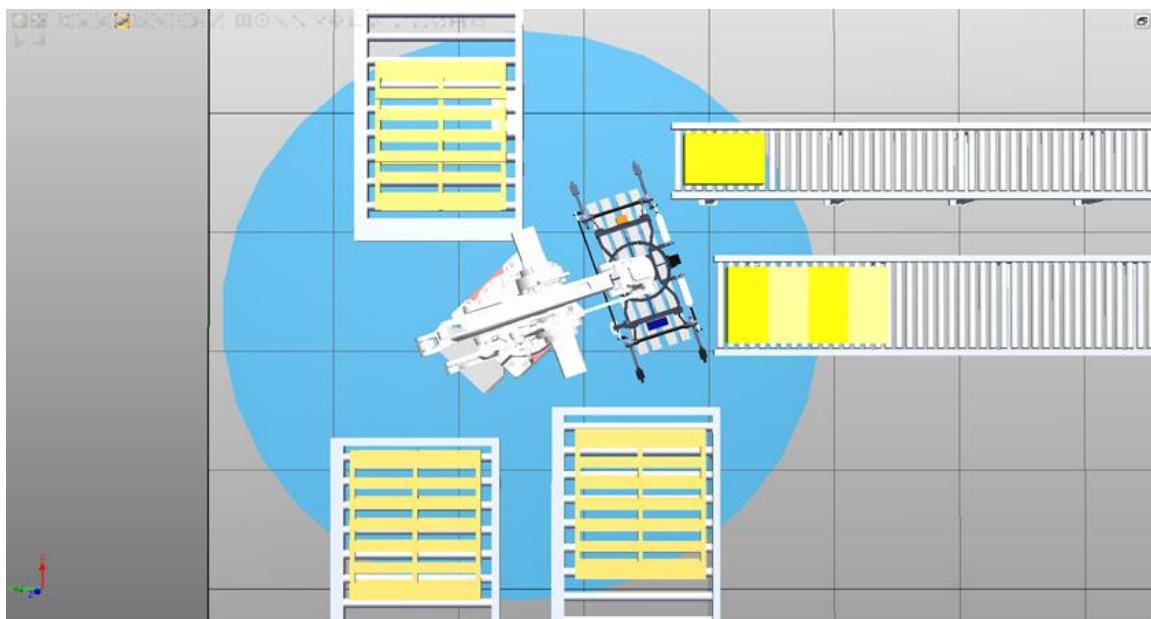


Figura 3. 42 Distribución de las bandas y los pallets.

En la figura 3.42 se muestra la distribución de las bandas, los pallets que se tiene en la empresa, además se muestra el brazo robótico, que se coloco en un lugar adecuado para que su alcance simbolizado con un circulo con un radio de 2.4 m llegue a todos los lugares donde tomara y dejara los arreglos de cajas.

Ahora debemos considerar la altura de los pallets ya con el acomodo completo de cajas, como se muestra en la figura 3.43. Para esto se utilizaron dos figuras formadas por prismas rectangulares modelados desde RS, para simular las medidas reales de los palets con las camas completas.

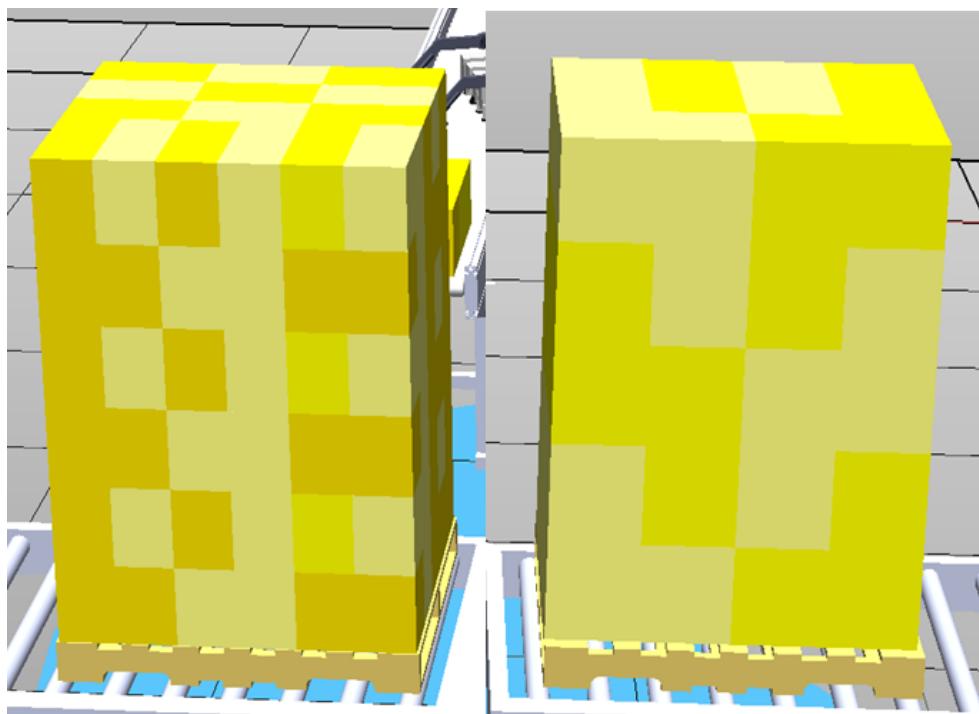


Figura 3. 43 Prototipos que se utilizaron para generar los Paths&Targets.

Por lo que se procedió a acomodar dichos palets sobre las tarimas de los outfeeders como se puede ver en la figura 3.44.

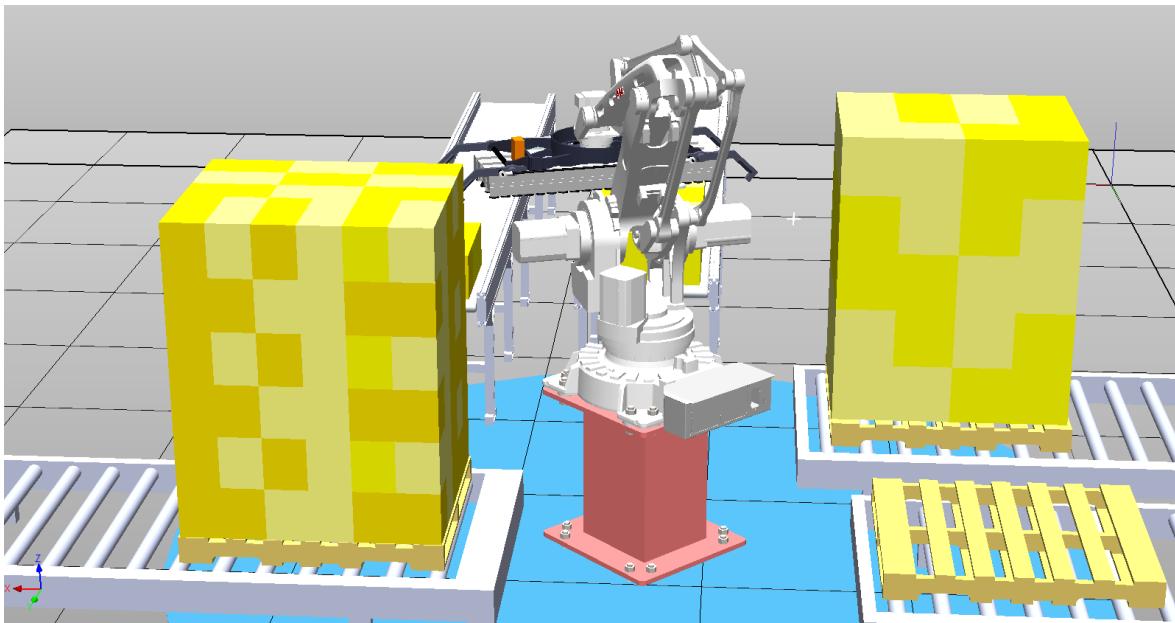


Figura 3. 44 Acomodo completo de cajas sobre de los pallets.

El pallet de cajas grandes tiene una altura de 1.5 m, contiene 5 camas de cajas de 60X30 cm con 30 cm de altura, la cama tiene una área de 120 cm por 90 cm, en el caso del pallet de cajas chicas tiene una altura de 1.5 m, contiene 6 camas de cajas de 40X20 con 25 cm de altura, la cama tiene una área de 1 m por 1.2 m. Según la norma ISO 3676 los acomodos de cajas no deben tener una altura mayor a 2.4 m incluyendo la altura del pallet, por lo cual se cumple con la normatividad acorde al paletizado.

Ahora se vera si el brazo robótico tiene el alcance suficiente para las alturas que se requerirán y para todos los puntos a los cuales tendrá que llegar, para esto se hará llegar el gripper a los lugares mas alejados del paletizado con su respectivo arreglo de cajas que paletizará en ese lugar.

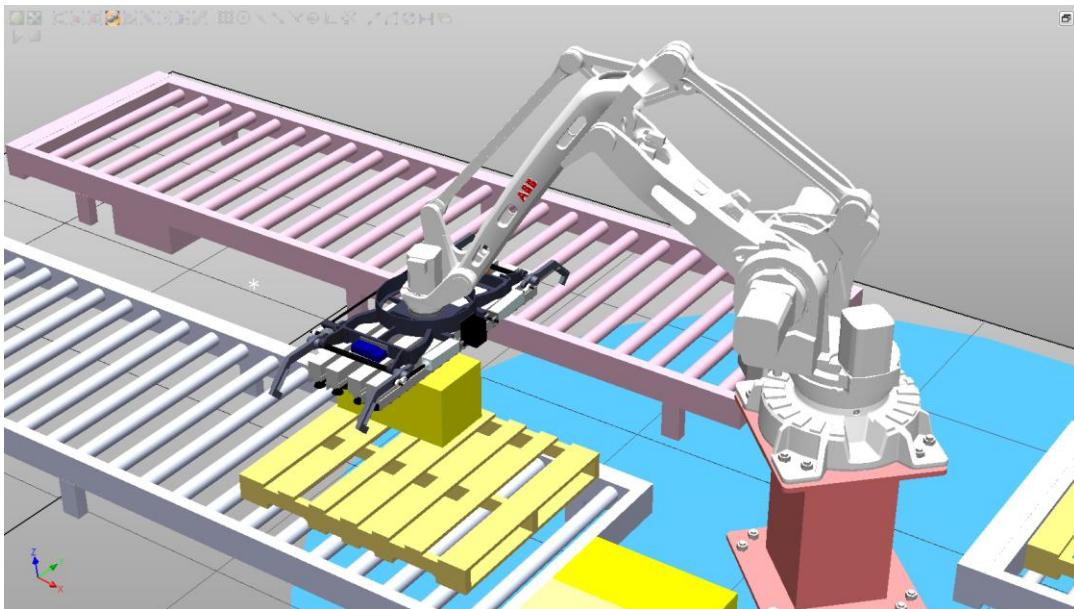


Figura 3. 45 Revisión de alcance del robot en la posición más baja del palet.

En la figura 3.45 se muestra como el robot si alcanza la caja, de 60 x 40 cm con 30 cm de altura cm, más alejada en la primera cama.

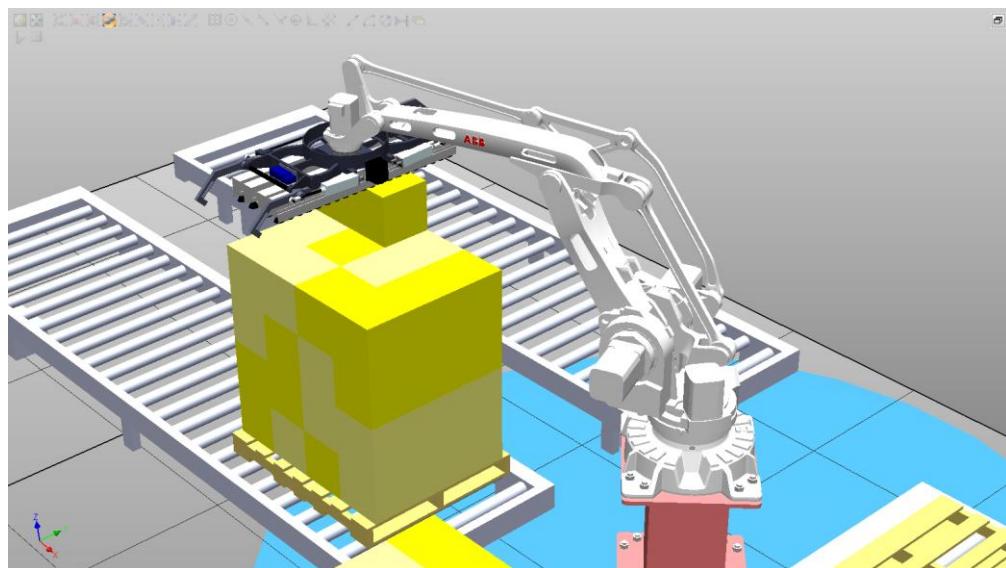


Figura 3. 46 Análisis de alcance para el robot en el punto más alto del palet en las cajas de 60 x 30 cm.

En esta figura 3.46 se muestra como el brazo robótico si alcanza la caja la caja de 60X30 cm con 30 cm de altura más alejada de la quinta cama del acomodo de cajas grandes.

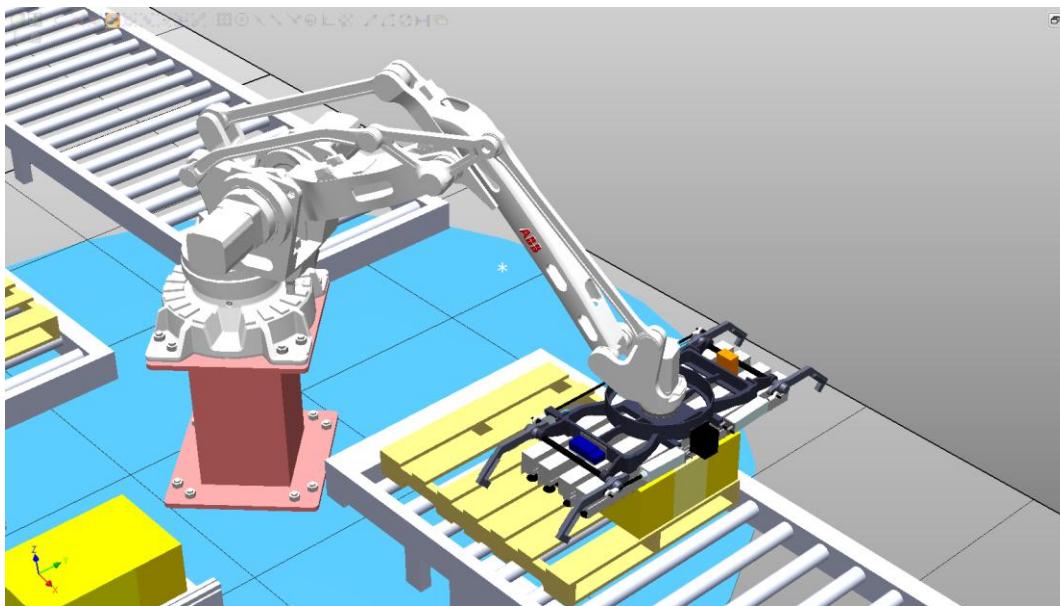


Figura 3. 47 Análisis de alcance para cajas de 40 x 20 cm en el punto más bajo del palet.

En la figura 3.47 se puede ver como el brazo tiene el alcance suficiente para llegar al arreglo mas alejado en la primera cama de cajas chicas.

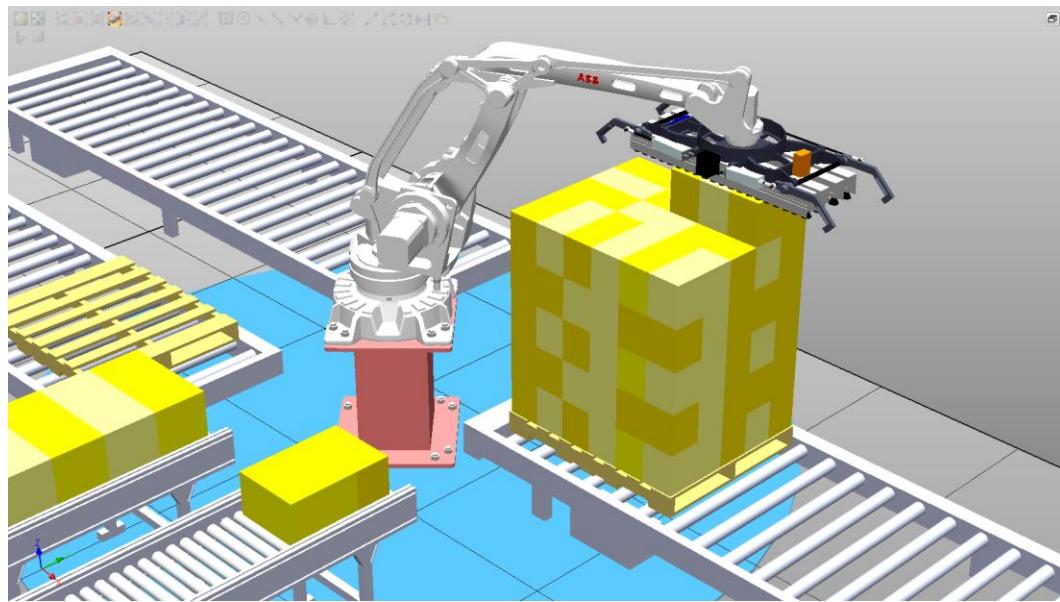


Figura 3. 48 Análisis de alcance en el palet de cajas de 40 x 20 cm en su punto de paletizado más alto.

En la figura 3.48 se ve claramente como el brazo si alcanza a paletizar el arreglo de cajas chicas con mas altura y mas alejado que esta en la cama 6.

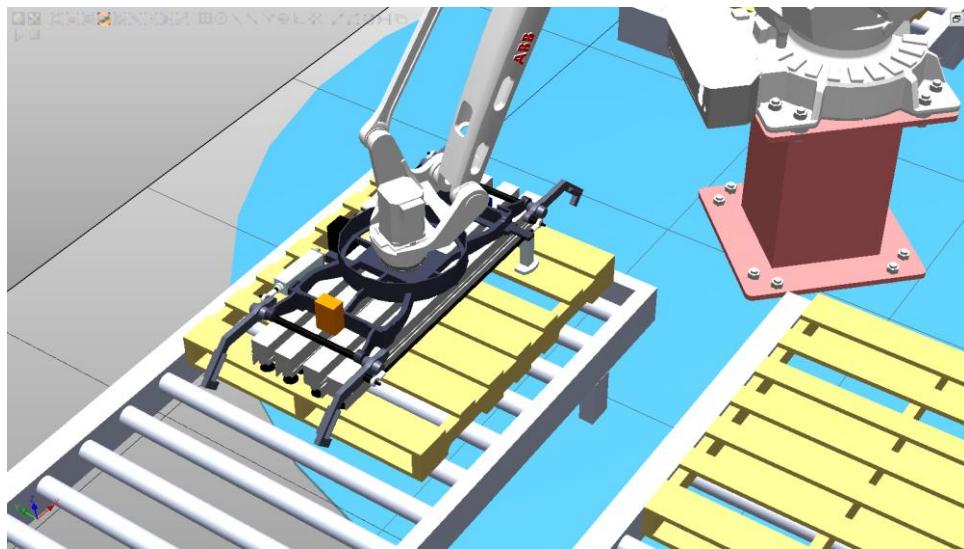


Figura 3. 49 Análisis de alcance para la tarima.

Como se ve en la figura 3.49, el robot si alcanza a llegar a la banda donde estará tomando las tarimas para posteriormente posicionarlas en las bandas para ser nuevamente alimentadas.

Ahora se muestra el la figura 3.50 el brazo robótico ABB® IRB460® con el gripper de vacío seleccionado.

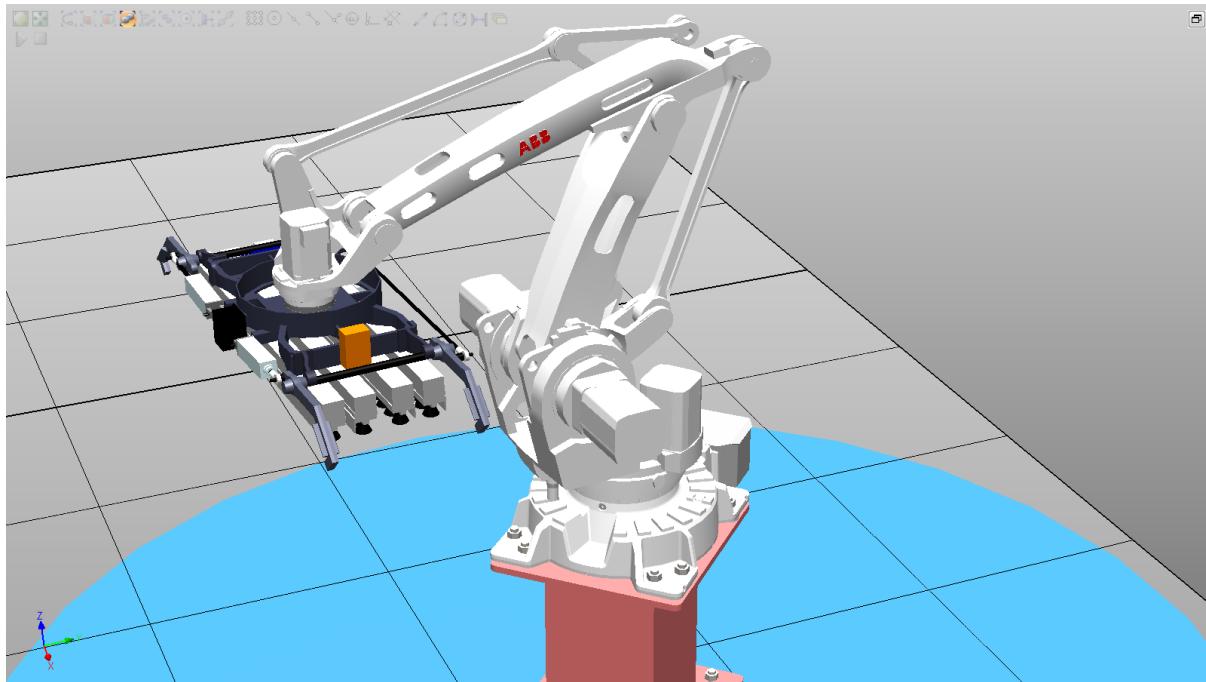


Figura 3. 50 Brazo robótico ABB® IRB460® con un gripper de vacío.

### 3.5.2 Definición de Zonas del Gripper de Vacío

El gripper de vacío que se usara contiene 4 zonas programables, estas se activaran dependiendo de los arreglos de cajas tanto grandes como chicas que se tienen, en la figura 3.51 se puede observar que existen 2 arreglos diferentes para las cajas grandes, dos y cuatro cajas. Otra situación donde se tienen que activar áreas específicas del gripper se da cuando de deben paletizar los arreglos de cajas pero activando las zonas de las orillas del gripper, ya que si se hace con las zonas centrales, pueden presentarse colisiones entre el gripper y el brazo robótico. En la figura 3.51 el brazo robotico esta aplicando vacío al arreglo de tres cajas chicas utilizando las dos zonas centrales.

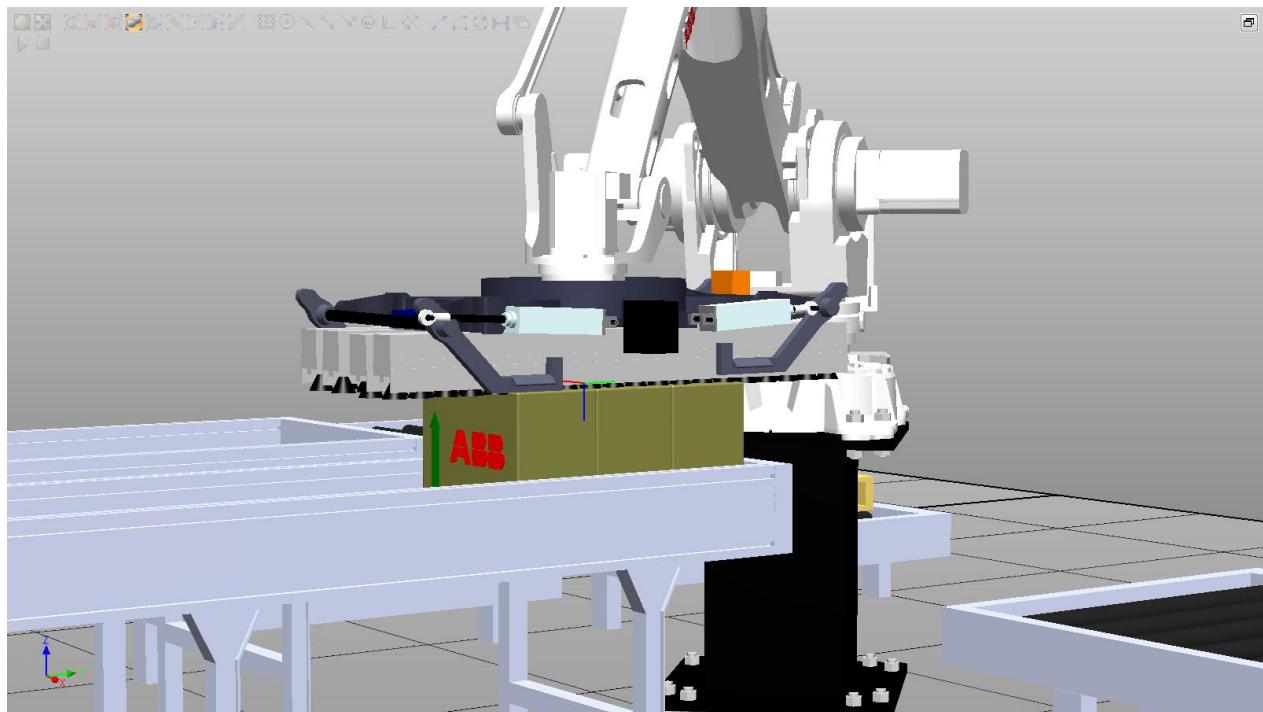


Figura 3. 51 En esta imagen se observa la necesidad de seccionar en zonas las ventosas del gripper, la cual se da al momento de tomar las cajas con el gripper concéntrico a las cajas ó recorrido a la izquierda.

En el caso del arreglo de cajas chicas, que serán de tres cajas, como se muestra en la figura 3.52, se están activando las dos zonas centrales del gripper de vacío.

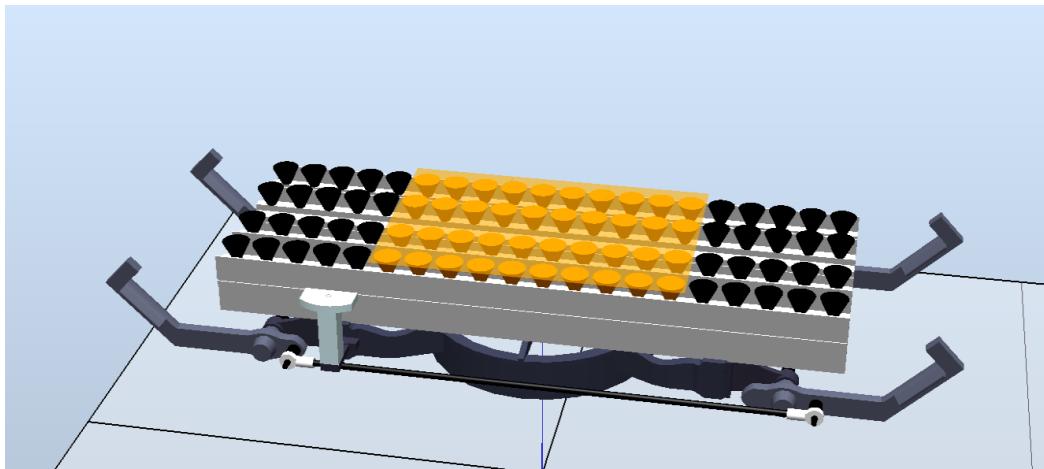


Figura 3. 52 Muestra la sección central del gripper que se activa al momento de tomar las cajas concéntricas al TCP “tool1”.

En la figura 3.53 se muestran las dos zonas activadas en el gripper para el paletizado del arreglo de tres cajas chicas, recorridas a la izquierda del TCP “tool1”. El robot toma las cajas de esta manera cuando tiene que paletizar las cajas de las esquinas del palet en las posiciones 4, 9, 17, 22, 30 y 36 de las cajas de 40 x 20 cm con respecto a la figura 3.17.

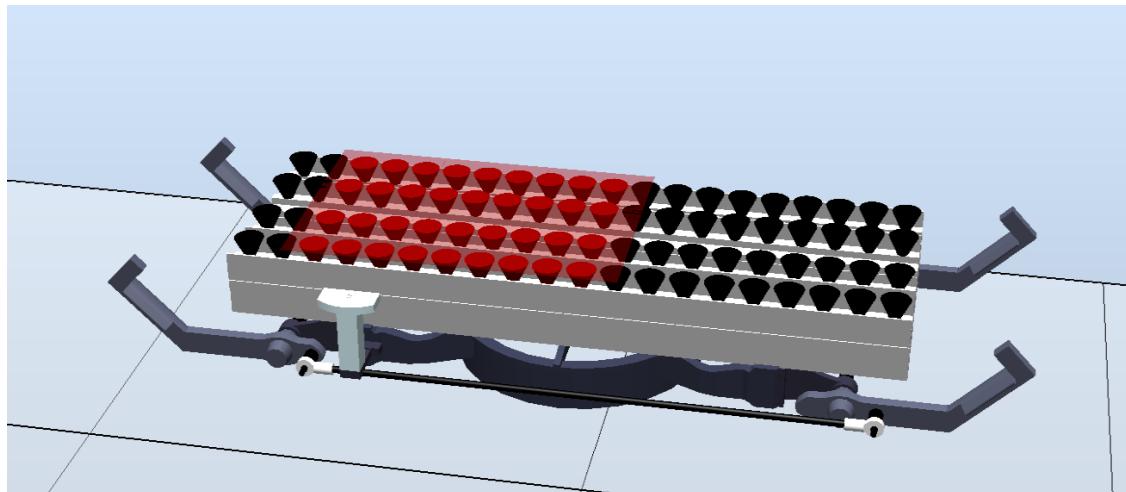


Figura 3. 53 Muestra la sección recorrida del gripper que se activa cuando se toman el arreglo de cajas de 40 x 20 cm recorridas a la izquierda del TCP “tool1”.

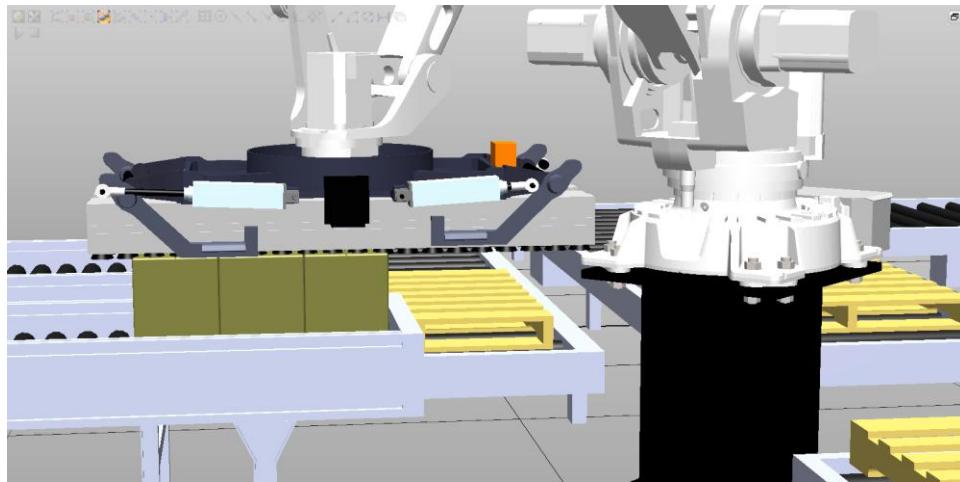


Figura 3. 54 En la imagen se aprecia el momento en el que el robot toma las cajas recorridas a la izquierda del TCP “tool1”.

Para el peletizado del arreglo de tres cajas chicas existe una variación cuando el gripper choca con el brazo al paletizar los arreglos mas próximos al robot, por lo cual se debe de ocupar la parte de la orilla del gripper, como se muestra en la figura 3.22, se usan las dos zonas de vacío de lado izquierdo, y en la figura 3.54 se muestra como el gripper toma el arreglo de tres cajas activando la zona central del gripper.

Ahora se explicaran las zonas que serán usadas para el caso de los dos arreglos de las cajas grandes, es decir, el de dos cajas y el de 4 cajas. Para comenzar al momento de paletizar el arreglo de cuatro cajas se van a activar las 4 zonas de vacío del gripper (ver figura 3.55), ya que este arreglo ocupa toda el area de la herramienta.

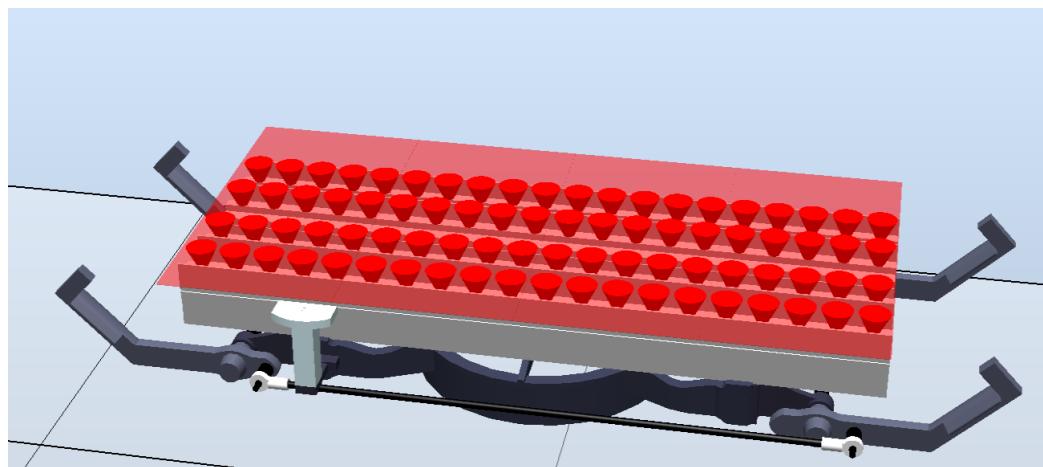


Figura 3. 55 Para poder tomar cuatro cajas, todas las ventosas del gripper son activadas.

En la figura 3.56 se muestra como el gripper esta tomando el arreglo de cuatro cajas grandes y se observa que las cuatro zonas están siendo ocupadas, es lógico ya que lo largo del arreglo de 4 cajas de 60 x 30 cm suman 1200 mm, que es la máxima longitud que puede paletizar el gripper usado en este proceso.

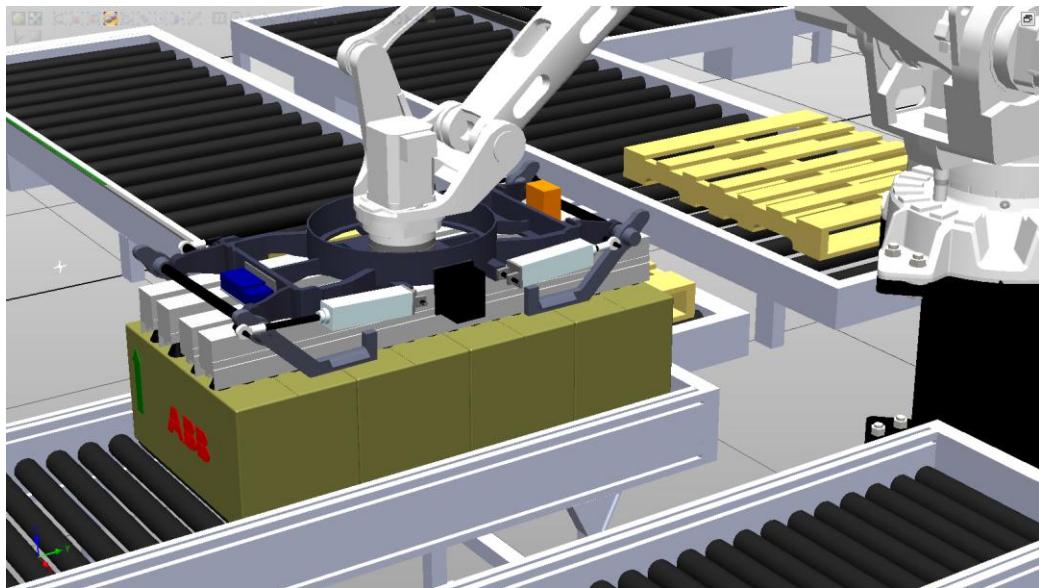


Figura 3. 56 Se observa el gripper tomando 4 cajas.

En el caso del arreglo de dos cajas grandes, en la primera configuración se usan las dos zonas centrales como se muestra en la figura 3.57.

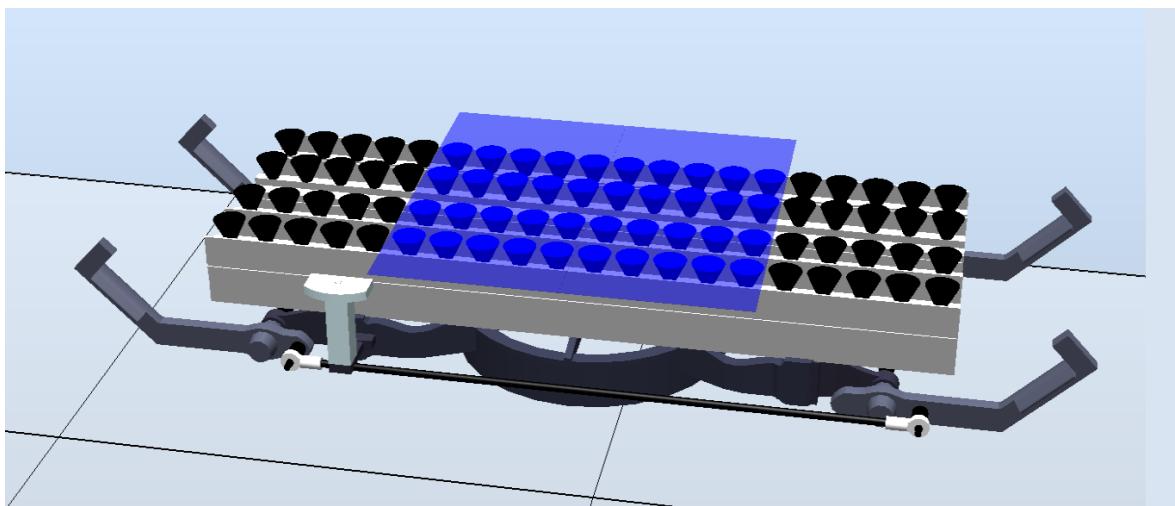


Figura 3. 57 Sección central del gripper para tomar dos cajas de 60 x 30 cm, concéntricas al TCP “tool1”.

En la figura 3.58 se muestra como el gripper de vacío toma el arreglo de dos cajas grandes usando las dos zonas centrales de vacío.

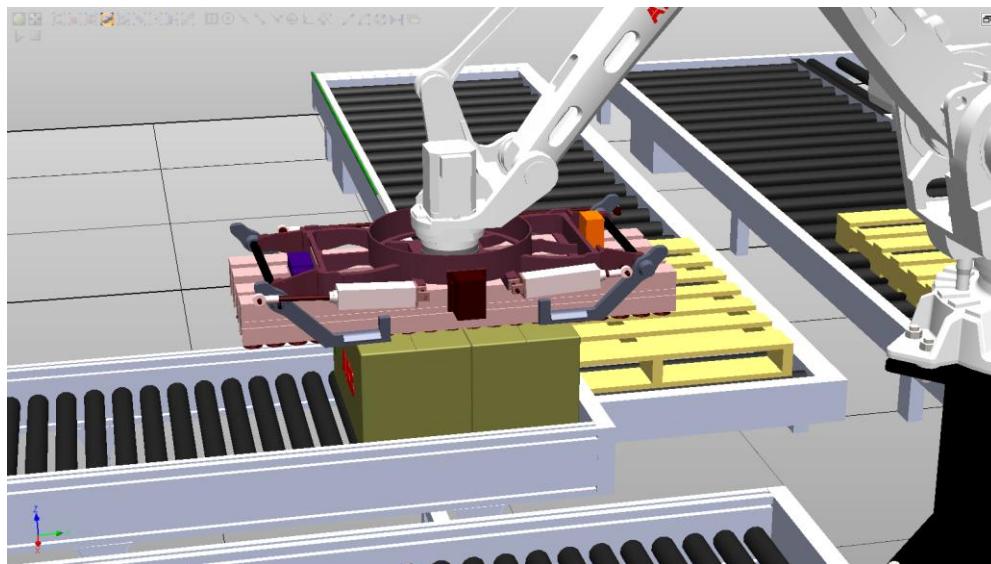


Figura 3. 58 Gripper tomando dos cajas de 60 x 30.

Existe otra forma de tomar el arreglo de dos cajas grandes, esto se hace debido a que en la ultima cama el brazo robotico ya no tiene el alcance suficiente para paletizar el arreglo usando las dos zonas centrales, por lo tanto se usan las dos zonas de un lado de la herramienta, como se muestra en la figura 3.59, con esto se alcanzan los lugares donde se quiere que se paletiza el arreglo, es decir, al poner las cajas mas pegadas a un lado de la herramienta se aumenta el alcance el brazo robotico.

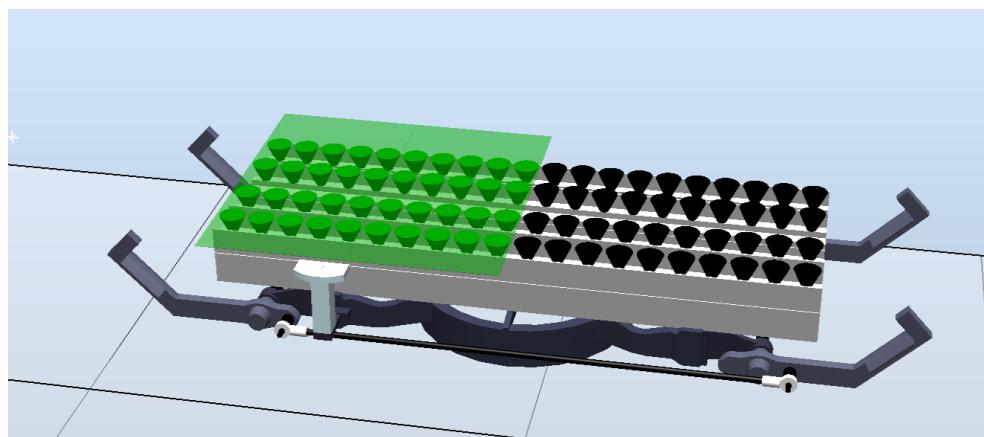


Figura 3. 59 Sección activa al momento de tomar dos cajas de 60 x 30 cm recorridas a la izquierda del TCP “tool1”.

En la figura 3.60 se muestra como el gripper toma el arreglo de dos cajas grandes usando las dos zonas de vacío de una orilla, con esto se logra que la herramienta paletice las cajas en la ultima cama sin problemas de alcance del brazo robótico.

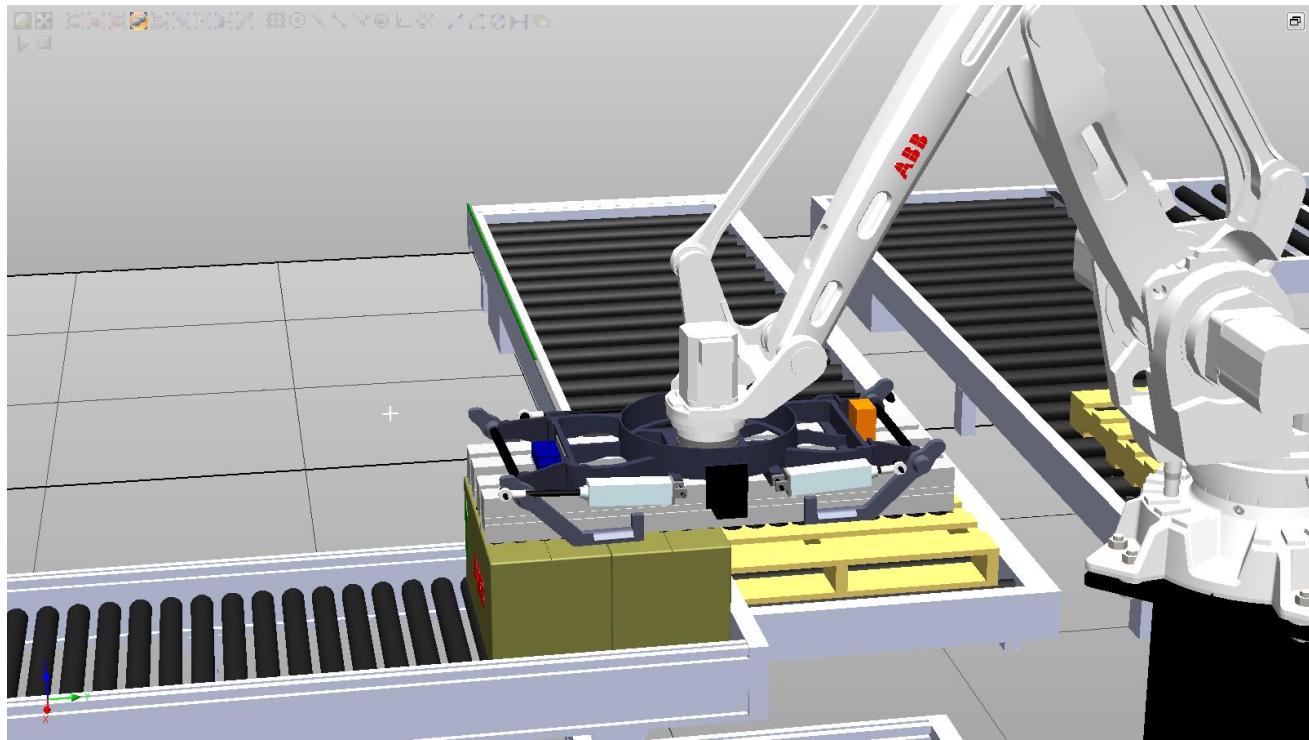


Figura 3. 60 Muestra al robot tomando dos cajas de 60 x 30 cm por el extremo del gripper.

### 3.5.3 Creación de una Nueva Tool en el Paletizado Automático

Para comenzar a generar las trayectorias del robot, lo primero que se debe hacer es crear nuestra nueva *tool* (herramienta), diferente a la *tool0* que el robot ya tiene por definición, que es básicamente el punto que el robot toma como referencia para moverse a un punto. La nueva *tool* se crea para poder grabar los puntos de acuerdo a nuestro gripper de vacío, para esto se siguen los pasos del punto 1.5.2 del capítulo 1, las coordenadas del nuevo *tool*, se obtienen de medir la distancia sobre el eje z, partiendo del punto donde se conecta el gripper del robot, como se muestra en la figura 3.61.



Figura 3. 61 Medir la distancia para el nuevo TCP, sobre el eje Z, desde la tool0 hasta las ventosas del gripper.

Esta se podría hacer teniendo el gripper y el robot físicamente, pero en nuestro caso, las coordenadas TCP de la tool se consideran a una distancia aproximada, utilizando el modelo del gripper en RS.

Esta distancia Z se tiene que considerar en un punto donde la copa de vacío no haga contacto únicamente superficial con una caja, al momento de tomarla, sino que se tiene que considerar que para que la copa de vacío pueda sostener la caja, la copa se debe de aplastar un poco, para que el vacío haga que la caja se adhiera al gripper, por lo que se deja un espacio antes de llegar al final de la copa como se muestra en la figura 3.62.



Figura 3. 62 La distancia Z debe de llegar hasta las ventosas, en un punto dentro de ellas, para que se considere su compresión, al momento de tomar una caja.

La coordenada sobre el eje X, que tendrá la nueva tool se consideró a la mitad del ancho del gripper como se muestra en la figura 3.63.

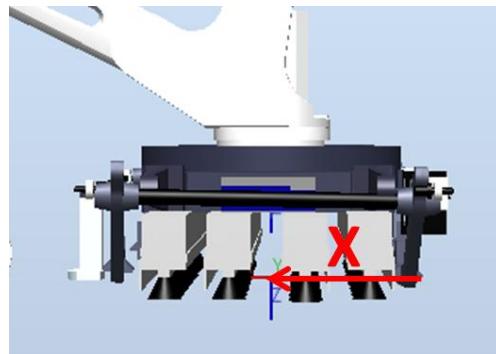


Figura 3. 63 Midiendo la distancia en el eje X.

Y por último la distancia sobre el eje Y, se consideró a la mitad del largo del gripper (ver figura 3.64).

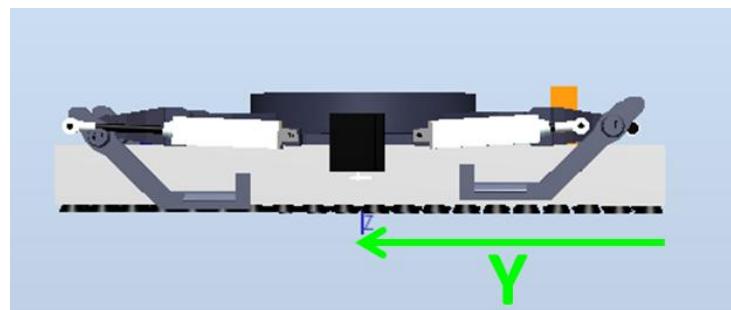


Figura 3. 64 Midiendo la distancia en el eje Y.

En la imagen 3.65 se muestra la nueva tool, que es la adecuada para nuestro gripper, para calcular la distancia en z a donde se tenía que ir el nuevo tool, se midió para obtener la distancia

más exacta. Este punto que se creo es el que el robot moverá al lugar que se le indique, es una referencia para que la herramienta del brazo, en este caso el gripper de vacío, se mueva como se desea de acuerdo al proceso.

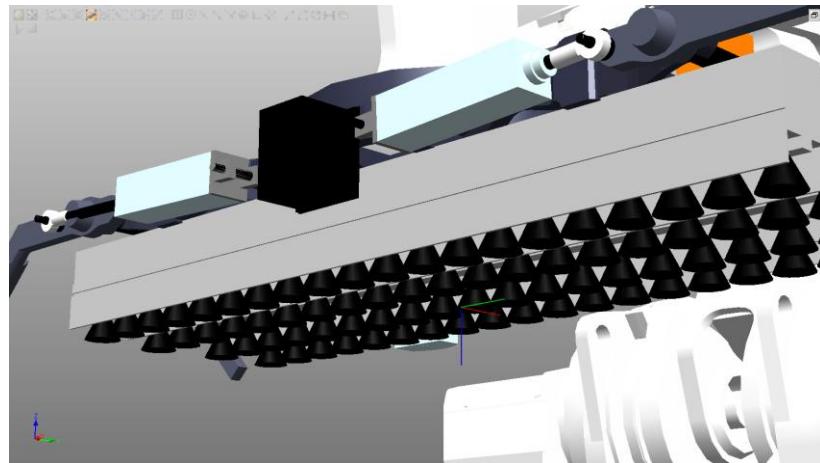


Figura 3. 65 Nuevo tool data posicionado en el centro de las ventosas del gripper.

En la figura 5.65 se nota como el nuevo *tooldata* esta un poco por arriba del final de las tomas de vacío, recordando que, en el proceso real, las copas de vacío bajaran un poco debido a la presión negativa que se ejercerá en las cajas de cartón.

Ahora que ya se creo la nueva Tool con la cual se trabajara, se deben crear los *Targets*, para grabar los todos los Targets ya se deben de tener los arreglos de cajas bien ubicadas en el lugar donde se van a tomar, como en el lugar donde se van a dejar, y para esto se colocaron todos los arreglos de los palets previamente diseñados en SolidWorks®.

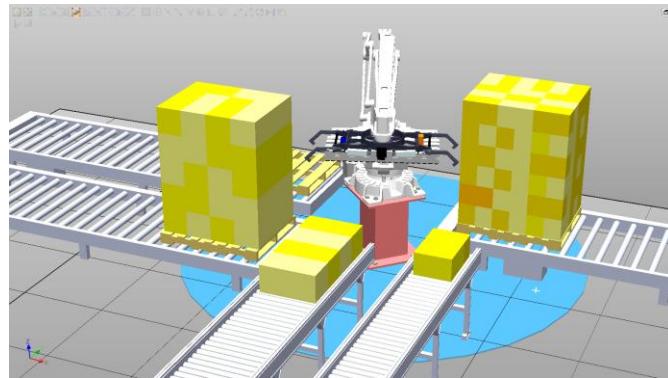


Figura 3. 66 Figuras geométricas de los palets que servirán para realizar la programación.

En la figura 5.66 se muestra como ya están todos los arreglos tanto de cajas chicas como de cajas grandes en forma grafica.

### **3.5.4 Creación de Workobjects dentro de la Celda de Paletizado**

Antes de comenzar a grabar los Targets del paletizado se deben hacer los Workobjets, estos sirven para facilitar la calibración y la modificación de una celda, por ejemplo, si se cambia de lugar una banda de salida, todas las trayectorias del paletizado se deberán mover, con esta herramienta es muy fácil, basta con cambiar la ubicación del Workobject y todas las trayectorias de los Targets se moverán, siempre y cuando estén dentro del rango del robot. En la celda de paletizado se crearan 5 Workobjets, el primero es la entrada de las cajas chicas, el segundo es el pallet donde se acomodaran las cajas chicas, el tercero corresponde a donde llegan las cajas grandes, el cuarto esta en el pallet donde se acomodaran las cajas grandes y el ultimo es donde llegan los pallets de la apiladora.

### 3.5.5 Generación de Paths&Targets para la Celda de Paletizado Automático

Teniendo los workobjects creados, ahora se procede a generar todas las trayectorias y objetivos necesarios para que el robot se mueva por los puntos deseados. Estos targets se fueron creando como se fueron requiriendo en la programación de las trayectorias como se muestran en la figura 3.67.

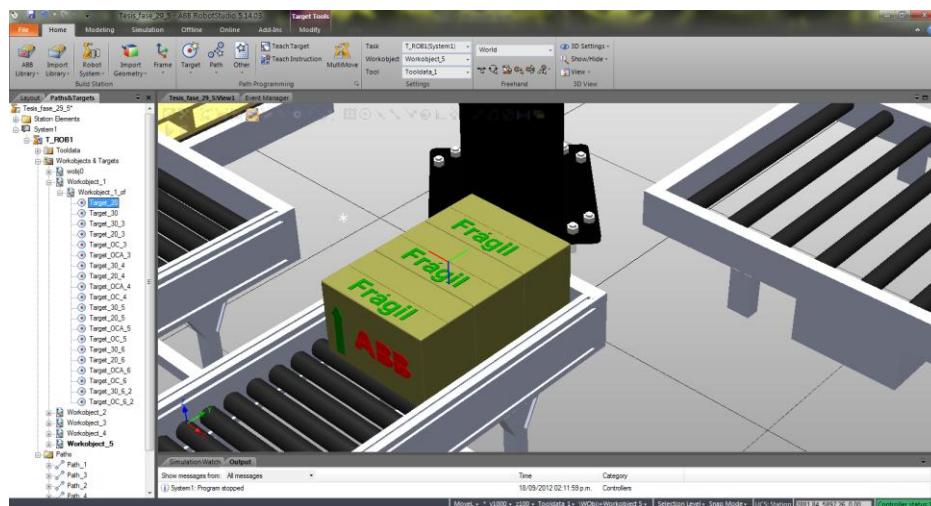


Figura 3. 67 Muestra como un target programado se indica con un eje de coordenadas y en la derecha se encuentra el árbol de proyecto que se va generando al ir creando los targets.



El primer target que se creo fue la posición de home, que es la posición donde el robot inicia la secuencia de paletizado esperando a que reciba alguna señal de cualquier sensor para comenzar a paletizar, es decir es una posición de *standby* (espera) donde el robot se posicionara cada vez que no tenga alguna tarea asignada.

Cuando ya se han grabado todos los targets, lo siguiente es proceder a crear el programa que simulará como correrá en programa ya con toda la celda y el brazo robótico instalado, pero debe hacerse la aclaración que esta simulación correrá como se va a diseñar, pero solo en las condiciones que no falte alimentación par parte de alguna banda, o que una banda se averíe, o cualquier caso en que se modifique la frecuencia de salida de cualquiera de los dos tipos de cajas. En dado caso se explicara mas adelante la lógica de programación que se usara para que el programa este preparado para paletizar cualquier arreglo de cajas que llegue primero. Los paths que se fueron obteniendo en el transcurso de la programación se pueden apreciar en la imagen 3.68:

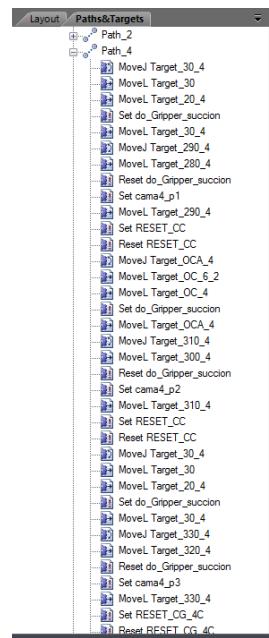


Figura 3. 68 Estructura del programa dentro del árbol de proyecto de la pestaña de Paths&Targets.

En la figura 3.69 se muestra un Path con las instrucciones adecuadas para la simulacion, tales instrucciones de movimiento se crean como se indica en la creación de instrucciones de

movimiento en el marco referencial. Cada vez que agregamos targets a un path, se le modificaron aspectos como:

- Tipo de movimiento: se programaron los movimientos de tipo lineal, cuando se requirió que el robot se moviera linealmente al target indicado lo que en paletizado se requiere cuando el robot paletiza una caja. El movimiento tipo Joint, se utilizó cuando el robot lleva una caja de un lugar a otro o cuando se dirige a tomar una caja, como se muestra en la figura siguiente:

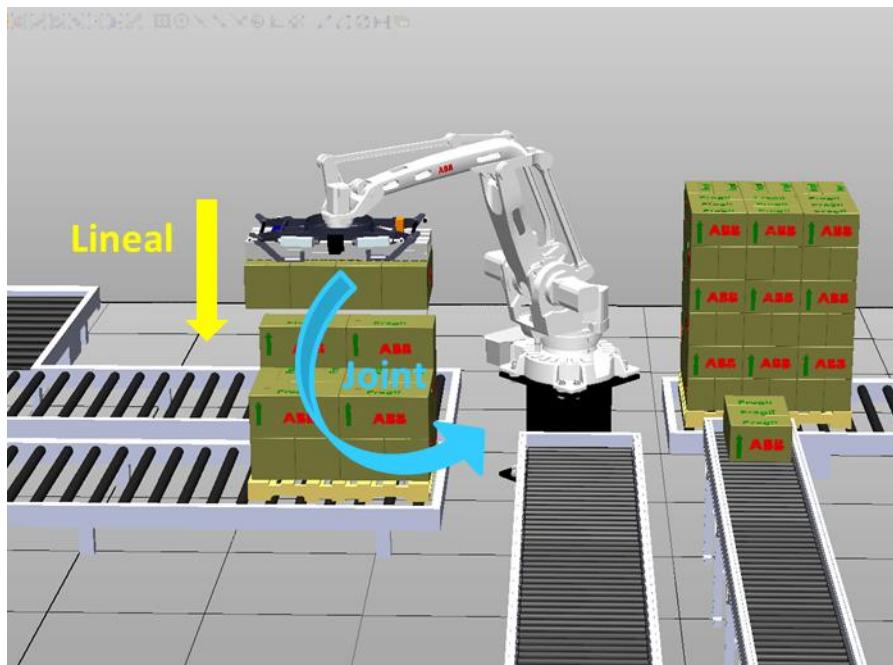


Figura 3. 69 Tipos de movimientos programados para el paletizado, la flecha amarilla indica que cuando el brazo baja a paletizar una caja se programa un movimiento de tipo lineal, mientras que para desplazarse de un punto a otro, el movimiento es Joint, como lo indica la flecha azul.

- Velocidad: cada movimiento debe tener la velocidad requerida para la aplicación. En el paletizado cuando un brazo robótico va a tomar la caja, la velocidad debe ser de 300 mm/s, esto solo es el 10 cm de trayectoria antes de tocar la caja, lo mismo se aplica al momento de dejar la caja en la cama correspondiente. En cuanto a la velocidad cuando el brazo traslada el producto esta será de 4000 mm/s para que se tenga una buena eficiencia del brazo lo que se puede observar en la figura 3.70. Cuando ya se está corriendo el

programa on-line, se tendrán que hacer las modificaciones pertinentes de las velocidades para que se cumplan con los requerimientos del proceso.

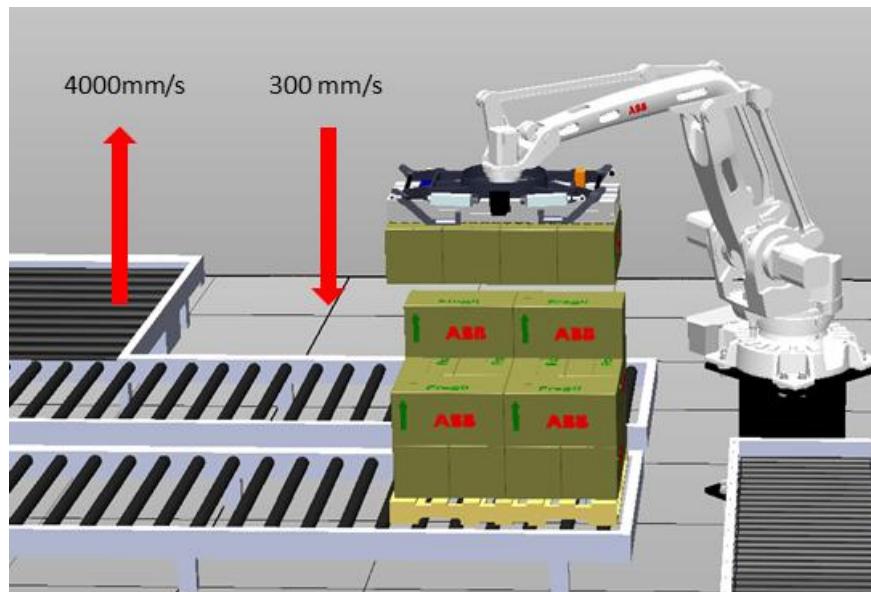


Figura 3. 70 Indica las velocidades programadas en los diferentes movimientos de paletizado, al dejar una caja se programó una velocidad de 300 mm/s mientras que para aquellos movimientos que no requerían de cuidadoso programaron con una velocidad de 4000 mm/s.

- Zona: esta es una característica muy importante debido a que de acuerdo a la zona que va desde fine a z200, el brazo robótico hace un radio al llegar al objetivo, se podría decir que es la precisión para llegar a un target grabado, sin embargo, a mayor precisión, mayor es el tiempo que el robot tardara en llegar al punto debido a que el controlador debe realizar mas cálculos para alcanzar el target. Las instrucciones que se programaron en zona fina, fueron cuando el robot deja una caja en el palet, y en zona z100, en las instrucciones donde no se necesita tanta precisión como cuando el robot se mueve de un lugar a otro, para tomar una caja o para trasladarla, como se muestra en la figura 3.71:

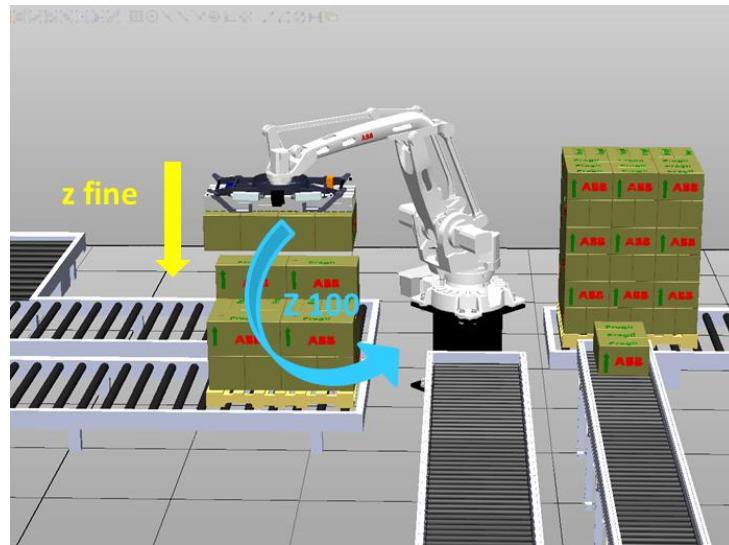


Figura 3. 71 Muestra las zonas con las que fueron configuradas las instrucciones de movimiento, se puede ver que para los movimientos precisos como lo es el caso de dejar una caja en la tarima, indicado con la flecha amarilla, se programa una zona fina, mientras que para movimientos imprecisos como mover el brazo de un lado a otro, se programó una zona de 100.

En la figura 3.72 se muestra como se van generando las trayectorias en el proyecto, RS va generando líneas de color amarillo para indicar los movimientos que se han ido generando, como se muestra en la figura siguiente:

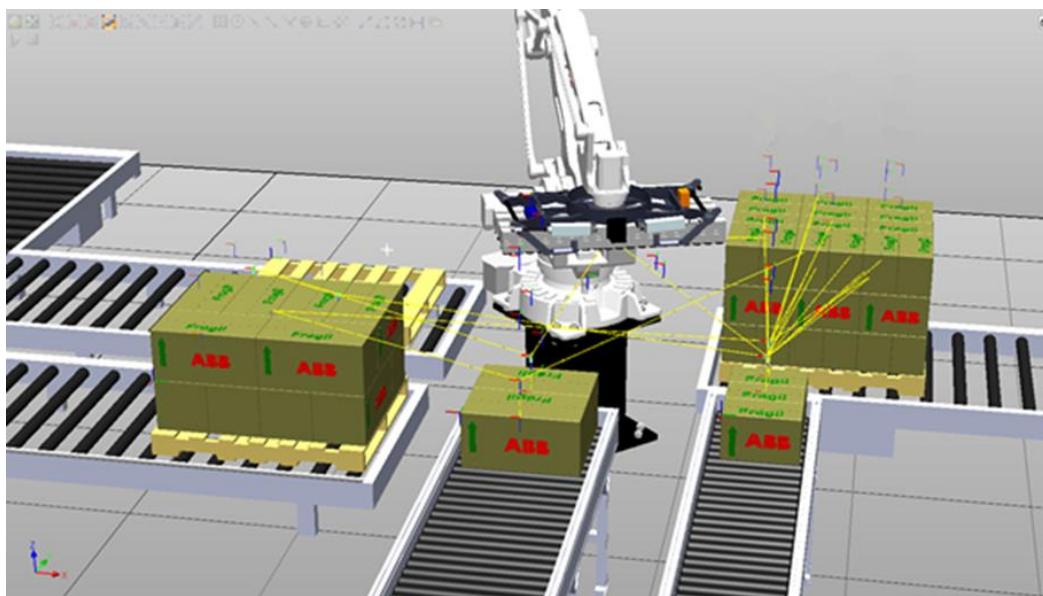


Figura 3. 72 Líneas amarillas que se van generando al crear los diferentes paths de la programación del paletizado.

Después de haber creado todas las trayectorias de las camas de los palets, se simulo el programa, y se determino en base a observar distintos videos de celdas robotizadas reales, que las velocidades se deberían de modificar para eficientar el proceso, por lo que se configuraron las velocidades de todas las instrucciones de movimiento creadas además de su zona y el tipo de movimiento

En la figura 3.43 se pueden observar todos los Paths&Targets (trayectorias y objetivos) generados al finalizar todos los paths del proyecto.

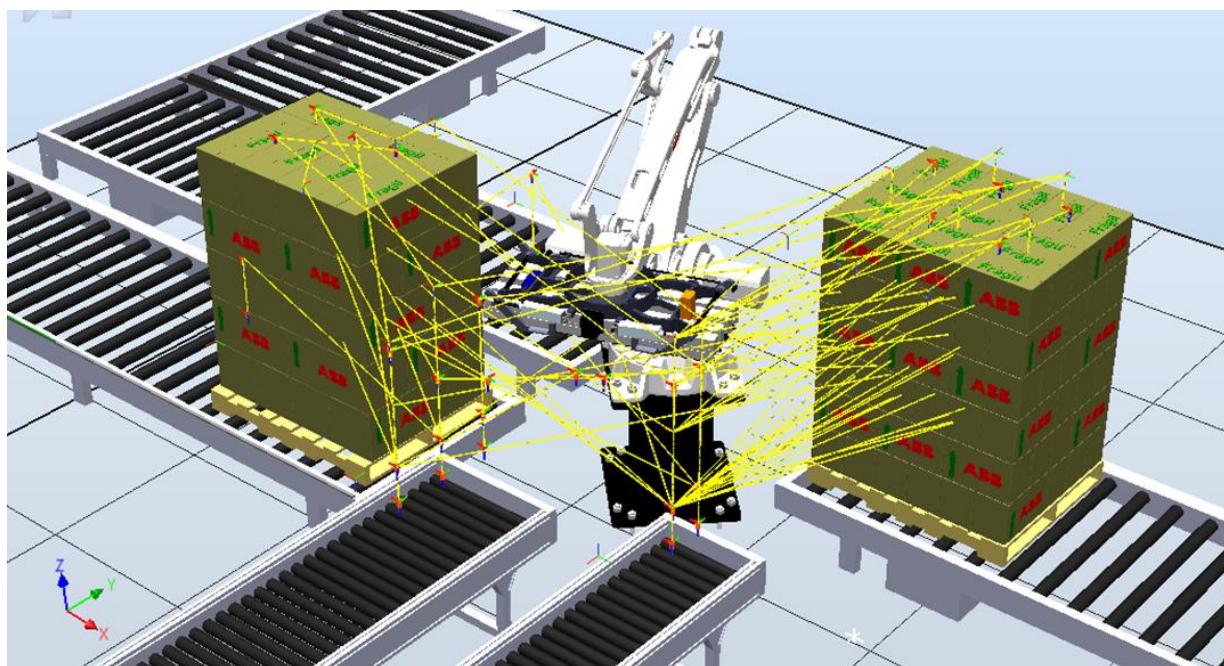


Figura 3. 73 Vista de todos los paths creados para el proyecto.

Para mayor facilidad se realizó un path, por cada cama de cajas de 40 x 20, dando un total de 6 paths. Al término de cada path generado, se tiene que ir auto-configurando para que se actualicen todos los nuevos targets creados, o si se crea un target nuevo, y se añade a un path existente, también se tuvo que volver a auto-configurar, como se explica en la Auto Configuración en el marco referencial.

Aun cuando se tiene toda la simulación lo último que se hace es un ajuste de movimientos ya que habrá ocasiones en que un arreglo de cajas tenga impactos con las cajas que ya están paletizadas, o en que el gripper impacte con el brazo robótico. RS cuenta con la herramienta ´para



detectar impactos entre dos sistemas diferentes, pero se debe prestar mas atención a los impactos del gripper con el brazo robótico ya que no debe haber ningún problema de estos cuando la celda ya este en operación automática.

### 3.5.6 Generación de Eventos, Señales Digitales y Tarjetas Virtuales en la Celda de Paletizado Automático.

Después de que el robot ya generaba los movimientos adecuados para paletizar las cajas, ahora se procedió a crear los eventos necesarios para que en la simulación se pudiera mostrar como el robot tomaba las cajas de los infeeders y como fuera paletizando cada caja, por lo que se tuvieron que dar de alta a su vez tarjetas y señales en el controlador. Todas las tarjetas dadas de alta se muestran a en la figura 3.74.

Type name	Name	Type of Unit	Connected to Bus	Unit Identification Label	Unit Trustlevel	Unit Startup State	Store Unit State at Power Fail	
Access Level								
Bus	DRV_1	LOCAL_GENERIC	Local	D611 Cont. board	Loss accepted (2)	Deactivated	No	
Cross Connection	DRV_2	LOCAL_GENERIC	Local	D611 Cont. board	Loss accepted (2)	Deactivated	No	
Fieldbus Command	DRV_3	LOCAL_GENERIC	Local	D611 Cont. board	Loss accepted (2)	Deactivated	No	
Fieldbus Command Type	DRV_4	LOCAL_GENERIC	Local	D611 Cont. board	Loss accepted (2)	Deactivated	No	
Route	PANEL	LOCAL_GENERIC	Local	D630 Panel board	Loss accepted (2)	Activated	No	
Signal	Sensores	Virtual	Virtual1		Error when lost (1)	Activated	No	
System Input	sensores2	Virtual	Virtual1		Error when lost (1)	Activated	No	
System Output	Sensores3	Virtual	Virtual1		Error when lost (1)	Activated	No	
Unit	Sensores4	Virtual	Virtual1		Error when lost (1)	Activated	No	
Unit Type	Sensores5	Virtual	Virtual1		Error when lost (1)	Activated	No	

Figura 3. 74 Tarjetas virtuales dadas de alta para el paletizado automático.

Primero se dio de alta una tarjeta y se configuraron las salidas digitales respectivas para simular que el gripper tomara las cajas generando vacío en las ventosas con una señal, para esto se crearon de una sola vez todas las señales que se sabia que se iban a utilizar porque cada caja de los palets iba a tener que tener asignado un evento de attach y detach, las cuales se pueden apreciar en la figura 3.75:



Type name	Name	Type of Signal	Assigned to Unit	Signal Identification Label	Unit Mapping	Category	Access Level	Default Value	Store Signal Value at Power Fail	Filter Time Passive (ms)	Filter Time Active (ms)	Invert Physical Value	Anal.
Access Level	ap_palet_CCH	Digital Output	Sensores5		3	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
Bus	ap_palet_cg	Digital Output	Sensores5		2	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
Cross Connection	PinzeC	Digital Output	Sensores5		1	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
Feldbus Command	Tornarpallete	Digital Output	Sensores5		0	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
Feldbus Command Type	Aparecer_2cg	Digital Output	Sensores4		9	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
Route	Aparecer_4cg	Digital Output	Sensores4		10	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
Signal	camera_p1	Digital Output	Sensores4		0	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
System Input	camera_p2	Digital Output	Sensores4		1	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
System Output	camera_p5	Digital Output	Sensores4		2	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
Unit	Des_p1	Digital Output	Sensores4		13	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
Unit Type	Des_p2	Digital Output	Sensores4		14	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	des_2t_3	Digital Output	Sensores4		3	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	des_2t_5	Digital Output	Sensores4		5	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	g_aux_Ac	Digital Output	Sensores4		4	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	HomePose	Digital Output	Sensores4		15	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	RESET_CG2_a	Digital Output	Sensores4		6	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	RESET_CG2_b	Digital Output	Sensores4		7	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Trajet_1	Digital Output	Sensores4		11	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Trajet_2	Digital Output	Sensores4		12	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Caja_60x30_a	Digital Output	Sensores3		2	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Caja_60x30_bb	Digital Output	Sensores3		4	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Caja_60x30_aaa	Digital Output	Sensores3		8	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Caja_60x30_aaaa	Digital Output	Sensores3		10	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Caja_60x30_aaaaa	Digital Output	Sensores3		13	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Caja_60x30_b	Digital Output	Sensores3		1	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Caja_60x30_bb	Digital Output	Sensores3		5	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Caja_60x30_bb5	Digital Output	Sensores3		7	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Caja_60x30_bb5bb	Digital Output	Sensores3		11	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	Caja_60x30_bb5bb5	Digital Output	Sensores3		14	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam1_4C_p2	Digital Output	Sensores3		3	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam2_4C_p1	Digital Output	Sensores3		6	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam3_4C_p2	Digital Output	Sensores3		9	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam4_4C_p1	Digital Output	Sensores3		12	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam5_4C_p2	Digital Output	Sensores3		15	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam3_p5	Digital Output	sensores2		0	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam4_p1	Digital Output	sensores2		1	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam4_p2	Digital Output	sensores2		2	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam4_p3	Digital Output	sensores2		3	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam4_p4	Digital Output	sensores2		4	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam5_p1	Digital Output	sensores2		6	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam5_p2	Digital Output	sensores2		7	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam5_p3	Digital Output	sensores2		8	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam5_p4	Digital Output	sensores2		9	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam5_p5	Digital Output	sensores2		10	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam6_p1	Digital Output	sensores2		11	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam6_p2	Digital Output	sensores2		12	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam6_p3	Digital Output	sensores2		13	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam6_p4	Digital Output	sensores2		14	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam6_p5	Digital Output	sensores2		15	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A
	cam1_p3	Digital Output	Sensores		3	All	0	No	N/A	N/A	N/A	No	N/A

Figura 3. 75 Señales creadas para el paletizado manual.

Las señales se crearon con el mismo nombre que las cajas para que al momento de crear los eventos, se seleccionara la señal a la que se iba a asignar el evento y coincidiera con el nombre del sólido, esto para facilitar la búsqueda de todas las señales dentro de la ventana de selección de señal al momento de generar un evento mostrada en la figura 3.76:

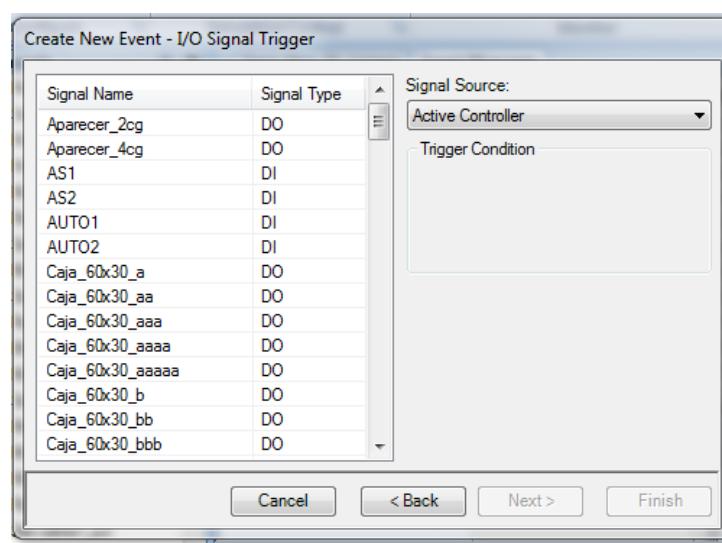


Figura 3. 76 Ventana donde se selecciona la señal que será asignada al evento a crear.



Después de haber creado las señales de cada caja, se crearon para cada una, los eventos de attach y detach cada evento con su estado de 1 y 0 respectivo.

Los eventos creados para este programa se pueden apreciar en la figura 3.77.

Events		Activation	Trigger Type	Trigger System	Trigger Name	Trigger Parameter	Action Type	Action System	Action Name	Action Parameter	Time (s)
	Add...	On	I/O	System1	do_Gripper_accion	1	Attach Object		IR840_110_240_01->Aim...		
	Delete	On	I/O	System1	do_Gripper_accion	0	Detach Obj		IR840_110_240_01->Aim...	01:06:36 a...	
	Copy	On	I/O	System1	cam1_p1	1	Show/Hide		Show cam1c_p1		
	Refresh	On	I/O	System1	RESET_CC	1	Move Object		Alimentacion_cc		
	Export	On	I/O	System1	RESET_CG_AC	1	Move Object		Alimentacion_cg_ac		
	Import...	On	I/O	System1	cam1_p3	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam4_p5	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam2_p2	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam1_p1	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam1_p4	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam1_p2	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam3_p1	1	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam2_p5	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam2_p4	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam2_p3	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam2_p2	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam1_p3	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam1_p4	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam1_p1	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam1_p2	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam1c_p3	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam1c_p2	1	Show/Hide		Show/Hide Object		
		On	I/O	System1	cam2c_p5	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam2c_p4	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam2c_p3	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam3c_p1	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam3c_p2	1	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam3c_p3	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam3c_p4	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam3c_p5	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam4c_p1	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam4c_p2	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam4c_p3	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam4c_p4	0	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam5c_p1	1	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...
		On	I/O	System1	cam5c_p2	1	Show/Hide		Show/Hide Object		01:06:36 a...

Figura 3. 77 Eventos creados para el paletizado automático.

Por ultimo se fueron creando las instrucciones de Set y Reset cada vez que se necesitaron en el programa, es decir, cuando el robot se posicionaba para tomar una caja se creo una instrucción de Set que hiciera que la caja se le adjuntara al robot; y cuando el robot se posicionaba en el lugar donde iba a paletizar una caja, se creo la instrucción de Reset para que el robot soltará la caja.

Para entender mas fácilmente como se realizó este proceso a continuación se explica paso por paso las instrucciones necesarias para tomar una caja partiendo de la posición de home, y paletizándola, especificando las velocidades que hay que programar en cada movimiento así como el tipo de zona que se utilizó.

1. Move J P\_Home //Mueve el robot a la posición de Home (Velocidad 1000 mm/s, zona 100).



2. Move J Target\_10 //Mueve el robot a un punto sobre la banda transportadora para tomar una caja (Velocidad 4000 mm/s, zona fina).
3. Move L Target \_20//El robot baja a tomar la caja desde el punto anterior (Velocidad 300 mm/s, zona 100).
4. Set do\_Gripper\_succion //Instrucción para adjuntar la caja al gripper
5. Move L Target\_20//El robot levanta la caja de la banda transportadora (Velocidad 300 mm/s, zona 100).
6. Move J Target\_30//El robot lleva la caja en un punto arriba de la tarima donde la paletizará (Velocidad 4000 mm/s, zona fina).
7. Move L Target\_40//El robot baja la caja hacia la tarima (Velocidad 300, zona fina)
8. Reset do\_Gripper\_succion//La caja se despega del gripper.

Con todo lo anterior ya se puede hacer la simulación del paletizado automático. Para poder visualizar los estados de las señales creadas al momento de ejecutar la simulación, se activó el I/O Simulator como se muestra a continuación en la figura 3.78:

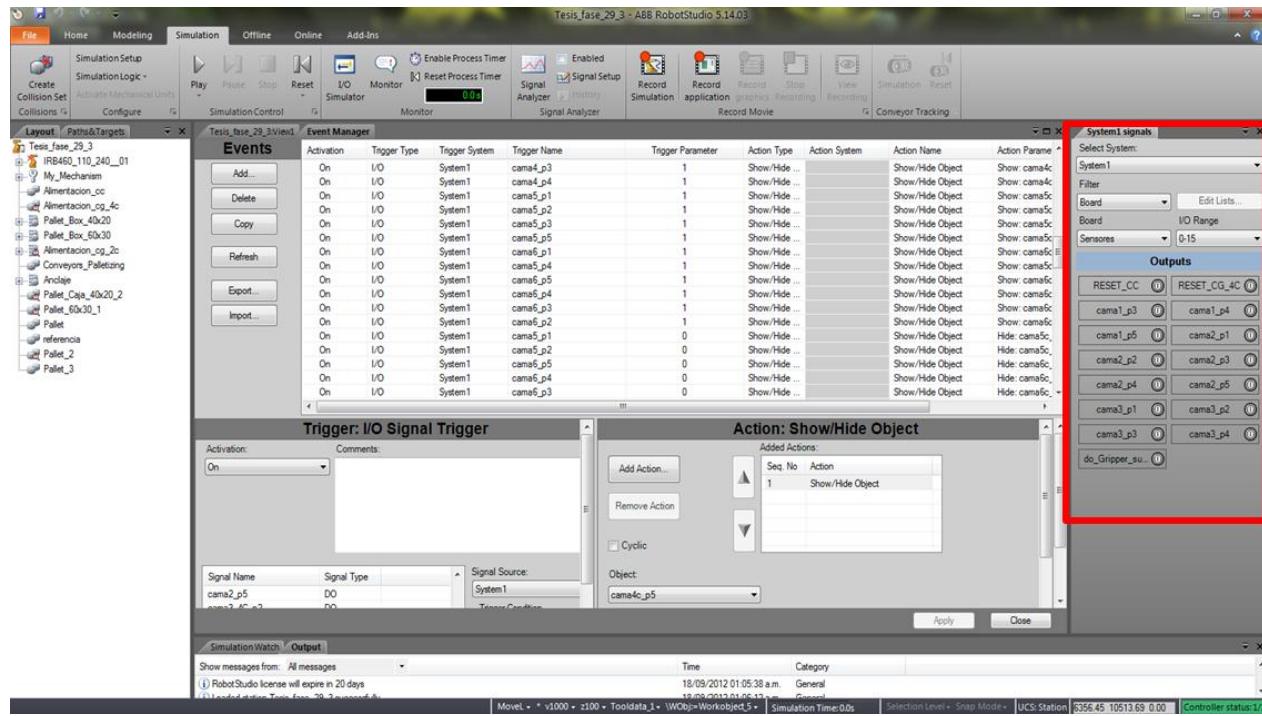


Figura 3. 78 I/O Simulator activo al momento de ejecutar la simulación.



Para poder programar los movimientos del gripper, para abrir y cerrar las pinzas, únicamente se agregaron las instrucciones de Set y Reset en los momentos indicados, es decir, en el path donde el gripper se posiciona justo arriba de la tarima para tomarla, abre sus pinzas para tomar palet, después baja para tomarlo y cierra las pinzas. La posición de Home se encuentra activa en todo momento que el robot no está realizando un movimiento de tomar palet. En la figura 3.79 se observan las instrucciones utilizadas dentro e los paths para que el mecanismo ejecute estos movimientos.

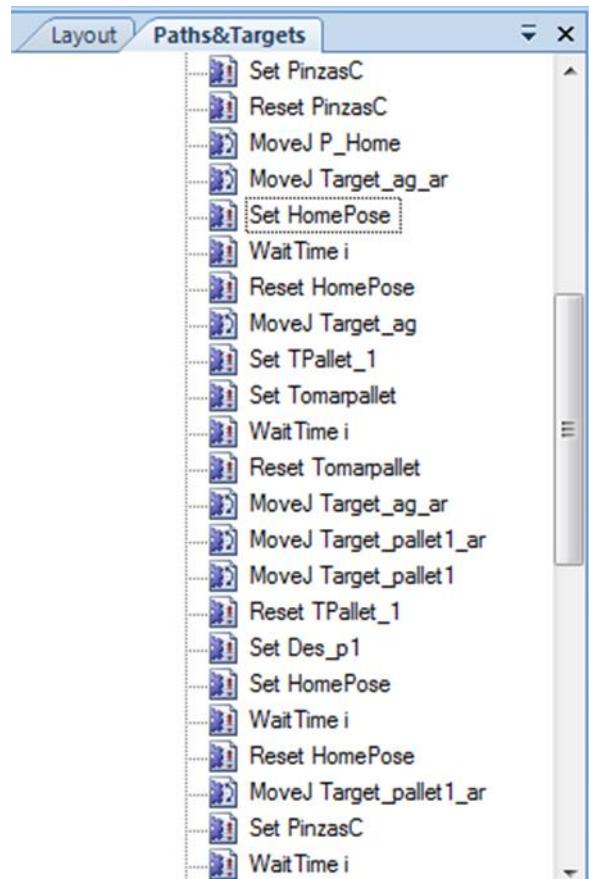


Figura 3. 79 Instrucciones para tomar palet con el mecanismo.

Para agregar una instrucción de movimiento del mecanismo únicamente se añadió al path la instrucción de Set como normalmente se hace y se selecciona el nombre de la posición creada en el recuadro de Signal como se muestra en la figura 3.80:

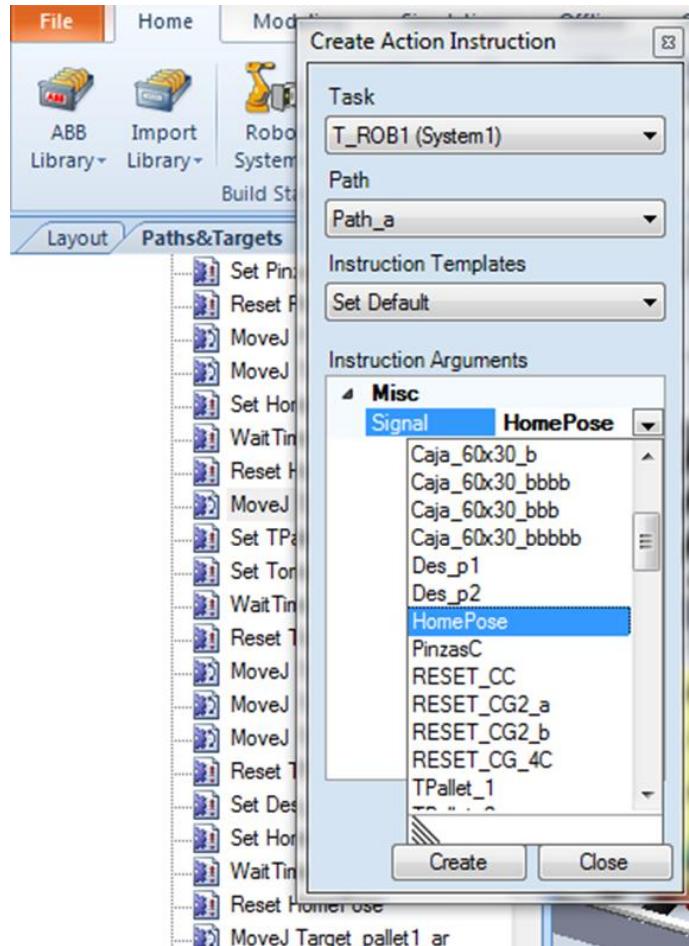


Figura 3. 80 Añadir instrucción para mover mecanismo.

Después de haber agregado la instrucción de Set, al momento de que la simulación sea ejecutada, al llegar a esta línea de comando, el gripper se moverá a la posición programada, para regresar a la posición de Home, se programó una instrucción de Reset a la última posición en que se haya quedado el gripper, y después se colocó en Set la posición de Home.

Los resultados que se arrojaron de la simulación, obtenidos de tomar nota del tiempo que le tomaba al robot paletizar 17 cajas a diferentes velocidades se pueden apreciar en la tabla 3.8, misma que se analizó en los resultados de este trabajo.



Tabla 3. 8 Resultados obtenidos de la simulación del proyecto de paletizado automático.

CASO	Velocidad del robot en mm/seg	Tiempo de ciclo en segundos
1	200	180.8
2	500	82
3	1000	47.8
4	2000	35.5
5	3000	30.8
6	4000	29.5
7	5000	28.7
8	6000	28.7
9	7000	28.7

### 3.5.7 Lógica del Programa del Paletizado Automático

Lo que se realizo anteriormente fue la creación de *targets*, la creación de la *Tool*, la creación de los *Workobjets*, y el diseño de la simulación del paletizado automático, pero como se menciono, así será el paletizado bajo condiciones ideales, es decir, que todos los elementos de la celda y la alimentación de las cajas sea la correcta. Pero en la industria cualquier imprevisto puede suceder por lo cual el programa debe “pensar por si mismo”, es decir, en el caso de que se averíe el motor de la banda de cajas grandes, el programa debe paletizar solo los arreglos de las cajas chicas, y cuando comiencen a llegar las cajas grandes, el programa debe comenzar a paletizar las cajas grandes también, otro de los posibles problemas es que la frecuencia de salida se pierda totalmente y en este caso el brazo debe de paletizar el arreglo que este listo primero. A continuación se propone un algoritmo capaz de paletizar el arreglo que este listo primero, ya sea un arreglo de 3 cajas chicas, o el arreglo de dos cajas grandes al inicio del pallet, y de cuatro cajas después, debido a que estos arreglos se van intercalando.

El algoritmo que se planteo se basa en que cada posición del paletizado ya esta etiquetada con un numero, es decir, las posiciones de las cajas chicas ya están numeradas del 1 al 30 ya que son 30 arreglos de 3 cajas cada uno, para que el pallet este completo. De acuerdo a este numero ya se tiene la tiene guardado el target con su configuración adecuada. En el caso de las cajas grandes debido a que se tienen arreglos de 2 cajas y de 4 cajas se decidió numerarlas de acuerdo

al orden en el que se van a paletizar, el arreglo 1, 4, 5, 8 y 9 corresponden a los arreglos de dos cajas grandes, mientras que los números 2, 3, 6, 7 y 10 corresponden a los arreglos de 4 cajas grandes, y de la misma manera de acuerdo a cada numero, ya esta determinada la trayectoria y la configuración adecuada del Target.

Se tendrá un sensor retroreflectivo detectando cada caja, tres sensores para las tres cajas chicas y cuatro sensores para las cuatro cajas grandes. Estos sensores se pueden observar en la figura 3.81 donde se muestran las etiquetas. Para las cajas chicas serán los tres primeros sensores etiquetados  $di1$ ,  $di2$  y  $di3$  y para las cajas de 5 kg, es decir, las cajas grandes, se usaran 4 sensores etiquetados  $di4$ ,  $di5$ ,  $di6$  y  $di7$ .

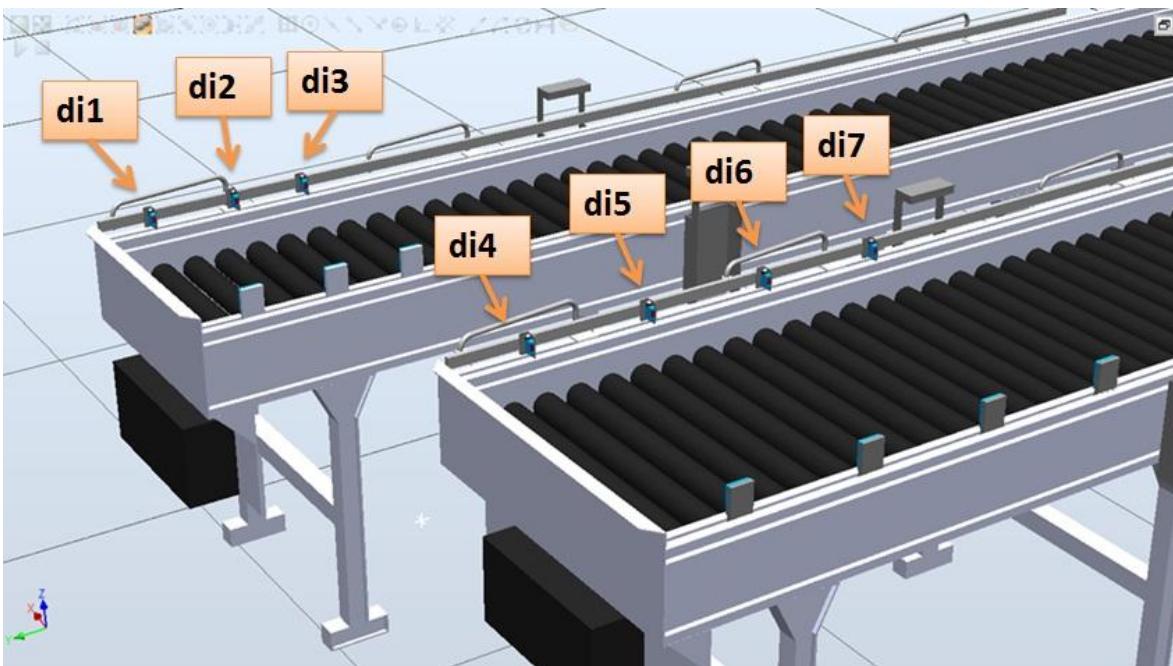


Figura 3. 81Etiquetado de los sensores de la caja chica ( $di1$ ,  $di2$  y  $di3$ ) y de las cajas grandes ( $di4$ ,  $di5$ ,  $di6$  y  $di7$ ).

Para crear el algoritmo se tendrá prioridad a la detección de los tres sensores de las cajas chicas, el lógico que las tres señales deben de estar activadas en el mismo instante de tiempo, por esta razón en el *if* de cajas chicas se usa el operador AND (&).

Si los tres sensores retroreflectivos de las cajas chicas están activados el mismo tiempo, quiere decir que el arreglo ya esta listo para ser paletizado, y por lo tanto se entra a la rutina

*RTomar\_cajachica;* esta rutina dentro contiene una instrucción *Test*, que dependiendo del valor de una variable, en este caso *npos\_ch*, el *Test* entrará a su *Case* correspondiente, cada *Case* ya tiene guardada la posición del correspondiente Target, esto dependerá del etiquetado que se hizo.

Dentro de esta función ya esta la activación de las zonas de vacío del gripper, las cuales se enumeraran para hacer mas fácil su identificación como lo muestran las figuras 3.52 y la 3.53.

Para la gran mayoría de los arreglos de cajas chicas se activaran las zonas 2 y 3 como se muestra en la figura 3.82.

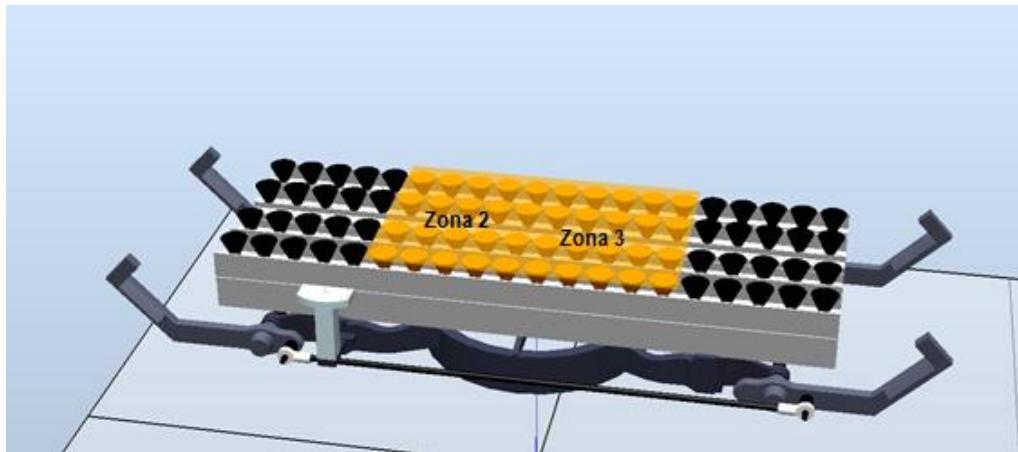


Figura 3. 82 Primera configuración de toma de cajas chicas, activando las zonas dos y tres.

Sin embargo para algunos casos especiales que son los arreglos 5, 7, 15, 17, 25 y 27 se deben de activar lasa zonas 1 y 2 como ya se explico con anterioridad para que no exista una colisión del gripper con el brazo robótico, esto se observa en la figura 3.83.

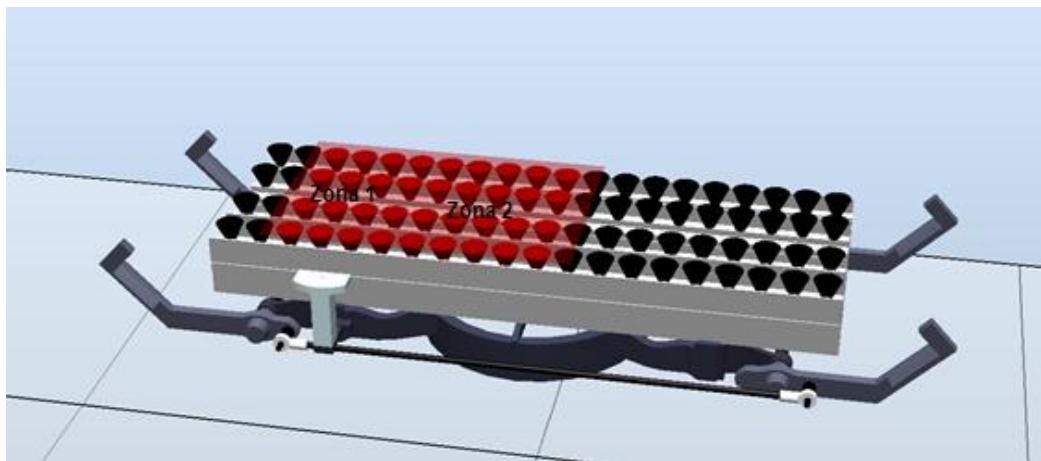


Figura 3. 83 Segunda configuración de toma de cajas chicas, activando las zonas uno y dos.



La variable que nos dirá el orden de los arreglos es un contador, en el algoritmo se llama: *npos\_ch*; este contador se incrementara en uno cada vez que un arreglo de tres cajas sea paletizado en una posición ya determinada con anterioridad. El contador se inicializa con 1 por simple comodidad, cada vez que se sale del *Test*, el contador se incrementa, sin embargo cuando ya se paletizarón los 30 arreglos de cajas chicas, el contador debe inicializarse, en este caso, en cero, ya que poco después de esta instrucción en el algoritmo esta la instrucción *Incr npos\_ch* que incrementa la variable a 1 para volver a repetir el ciclo.

Cuando esto sucede quiere decir que el pallet de cajas chicas ya esta completamente paletizado, después de esto la banda sacara automáticamente al pallet de la celda, en este instante el sensor retroreflectivo ubicado para la detección de la tarima se desactivara debido a que el pallet ya se movió de su lugar donde se paletizará, entonces el brazo robótico tendrá que tomar un nuevo pallet que ya estará allí debido a que la maquina distribuidora de tarimas mandara de manera automática un pallet cada vez que sea requerido, y lo colocara nuevamente en el lugar donde se requiere, también se instalara un sensor en la banda donde llegan las tarimas del distribuidor, cuando falte un pallet automáticamente llegara otro.

Cuando el pallet de cajas chicas este completo, existe un tiempo en el cual el pallet sale y además otro tiempo en el que el brazo pone otra tarima para un nuevo paletizado. Durante este periodo de tiempo aunque el arreglo de cajas chicas ya este listo para ser paletizado, no se ejecutará la acción ya que el sensor ubicado en el pallet donde se paletizan cajas chicas aun no esta en su posición requerida por el robot, sin embargo el brazo solo deja de atender las cajas chicas cuando el pallet terminado sale de la celda, lo cual es n tiempo muy corto, ya que después el brazo tendrá que acomodar la tarima y posteriormente ya podrá paletizar cajas chicas, en este periodo en el que el robot no tiene trabajo que ejecutar, seguirá paletizado los arreglos de cajas grandes.

Un proceso análogo sucede el caso de las cajas grandes, para estas cajas se tendrán 4 sensores, uno para detectar cada caja, y según el etiquetado, el orden de paletizado será primero un arreglo de dos cajas grandes, ya que es el target número 1, en el caso de que por alguna razón

al inicio estén los cuatro sensores activados, es decir, que haya 4 cajas grandes, el gripper de vacío solo tomara las dos primeras cajas debido a que el orden así fue determinado.

Las zonas del gripper siguen siendo las mismas y con la misma numeración, debido a la numeración que se hizo, al principio necesariamente se paletizará un arreglo de dos cajas activando las zonas 2 y tres como se muestra en la figura 3.84.

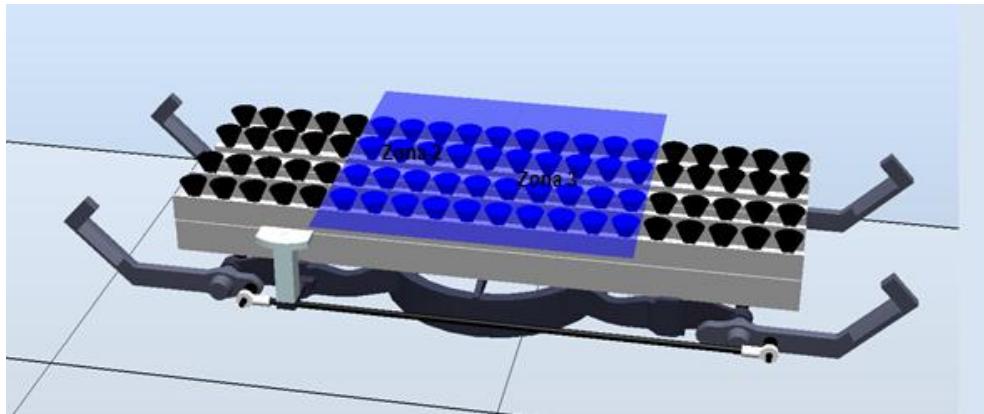


Figura 3. 84 Segunda configuración de para tomar dos cajas grandes, activando las zonas dos y tres.

Posteriormente uno de 4 cajas activando las zonas 1, 2, 3 y 4 observado en las figura 3.85. En este sentido el programa da prioridad a tomar dos cajas debido a que el primer arreglo a paletizar es de dos cajas, pero después de esto deberá de ser una posición correcta que esta de acuerdo al contador para que entre a la función *rtomar2\_cajas\_Gdes*, y en esta función estarán guardadas todas las trayectorias en un *Test*, dependiendo del valor de la variable *npos\_gd*, será el Tarjet al que el brazo robótico paletizará el arreglo.

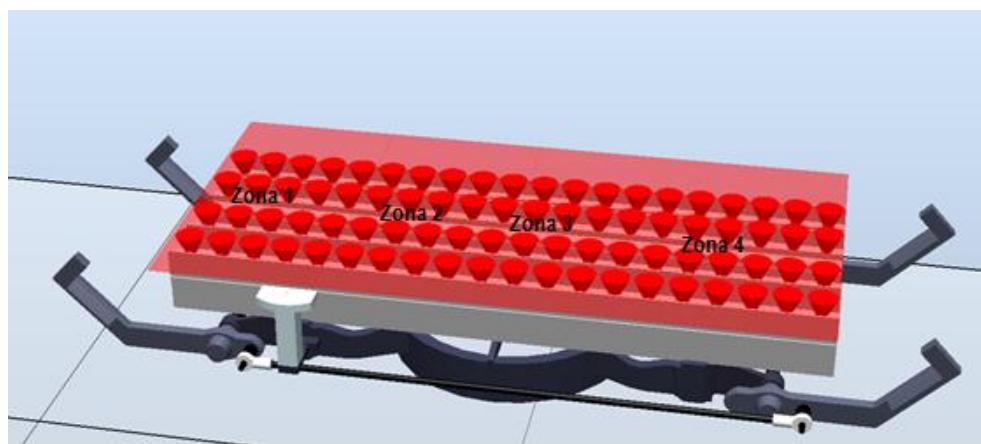


Figura 3. 85 Primera configuración para tomar cuatro cajas grandes, activando las cuatro zonas del gripper.



Para paletizar la mayoría de arreglos de dos cajas grandes se activan las zonas de vacío 2 y 3 ya que son las que se encuentran en el centro, sin embargo existe un caso especial en el cual se deben activar las zonas 1 y 2 del gripper para que el brazo robótico tenga el alcance suficiente para llegar al target indicado, este es el arreglo 8 del etiquetado de arreglos de cajas grandes.

Si el contador *npos\_gd* ya esta en 2 o en otro numero el cual corresponda a un arreglo de 4 cajas grandes, es decir, ningún numero que sea de un arreglo de dos cajas, entonces se revisara si los cuatro sensores están activados indicando que las cuatro cajas están listas, y si es así el programa se ira a la rutina *rtomar4\_cajas\_Gdes*, donde se activaran las cuatro zonas de vacío del gripper debido a que este arreglo ocupa toda el area de vacío, y de la misma forma que para el arreglo de dos cajas, se entrara a un Test y según el valor del contador *npos\_gd*, va a ser la trayectoria que siga el brazo para llevar el arreglo al lugar deseado.

### Lógica del programa principal de paletizado

```
PROCEDURE MAIN ( )
npos_ch=1;
npos_gd=1;
bciclo=true;
while bciclo=true do
    if (di1=1 and di2=1 and di3=1) then
        rTomar_caja_chica;
    endif
    if (di4=1 and di5=1) then
        if (npos_gd=1 OR npos_gd=3 OR npos_gd=5 OR npos_gd=7) OR
            npos_gd=9 then
            rtomar2_cajas_Gdes;
        elseif (di4=1 and di5=1 and di6=1 and di7=1) then
            rtomar4_cajas_Gdes;
        endif
    endif
endwhile
ENDPROC
```

### Lógica de la sub-rutina para tomar dos cajas de 60 x 30 cm



```
PROCEDURE rtomar2_cajas_Gdes ( )
Set do_vacio_seccion_1;
Set do_vacio_seccion_2;
    Test npos_gd
    Case 1:
        rPos1_gd;
    Case 3:
        rPos3_gd;
    Case 5:
        rPos5_gd;
    Case 7:
        rPos7_gd;
    Case 9:
        rPos9_gd;
    endtest
    Incr npos_gd;
ENDPROC
```

### Lógica de la sub-rutina para tomar cuatro cajas de 60 x 30 cm

```
PROCEDURE rtomar4_cajas_Gdes ( )
Set do_vacio_seccion_1;
Set do_vacio_seccion_2;
Set do_vacio_seccion_3;
Set do_vacio_seccion_4;
    Test npos_gd
    Case 2:
        rPos2_gd;
    Case 4:
        rPos4_gd;
    Case 6:
        rPos6_gd;
    Case 8:
        rPos8_gd;
    Case 10:
        rPos10_gd;
    endtest
    If (npos_gd=10) then
        npos_gd=0;
    endif
```



```
Incr npos_gd;  
ENDPROC
```

### Lógica de la sub-rutina para tomar las cajas de 40 x 20 cm

```
PROCEDURE rTomar_caja_chica ()  
Set do_Vacio_seccion_2;  
Set do_Vacio_seccion_3;  
    Test npos_ch  
    Case 1:  
        rPos1_ch;  
    Case 2:  
        rPos1_ch;  
    Case 3:  
        rPos1_ch;  
    Case 4:  
        rPos1_ch;  
    Case 5:  
        rPos1_ch;  
    Case 6:  
        rPos1_ch;  
    Case 7:  
        rPos1_ch;  
    Case 8:  
        rPos1_ch;  
    Case 9:  
        rPos1_ch;  
    Case 10:  
        rPos1_ch;  
    Case 11:  
        rPos1_ch;  
    Case 12:  
        rPos1_ch;  
    Case 13:  
        rPos1_ch;  
    Case 14:  
        rPos1_ch;  
    Case 15:  
        rPos1_ch;
```



```
Case 16:  
    rPos1_ch;  
Case 17:  
    rPos1_ch;  
Case 18:  
    rPos1_ch;  
Case 19:  
    rPos1_ch;  
Case 20:  
    rPos1_ch;  
Case 21:  
    rPos1_ch;  
Case 22:  
    rPos1_ch;  
Case 23:  
    rPos1_ch;  
Case 24:  
    rPos1_ch;  
Case 25:  
    rPos1_ch;  
Case 26:  
    rPos1_ch;  
Case 27:  
    rPos1_ch;  
Case 28:  
    rPos1_ch;  
Case 29:  
    rPos1_ch;  
Case 30:  
    rPos30_ch;  
endtest  
If (npos_ch=30) then  
    npos_ch=0;  
endif  
Incr npos_ch;  
ENDPROC
```

La lógica del programa propuesta, se puede entender mejor con la visualización de un diagrama de flujo observado en las figuras 3.86, 3.87, 3.88 y 3.89.

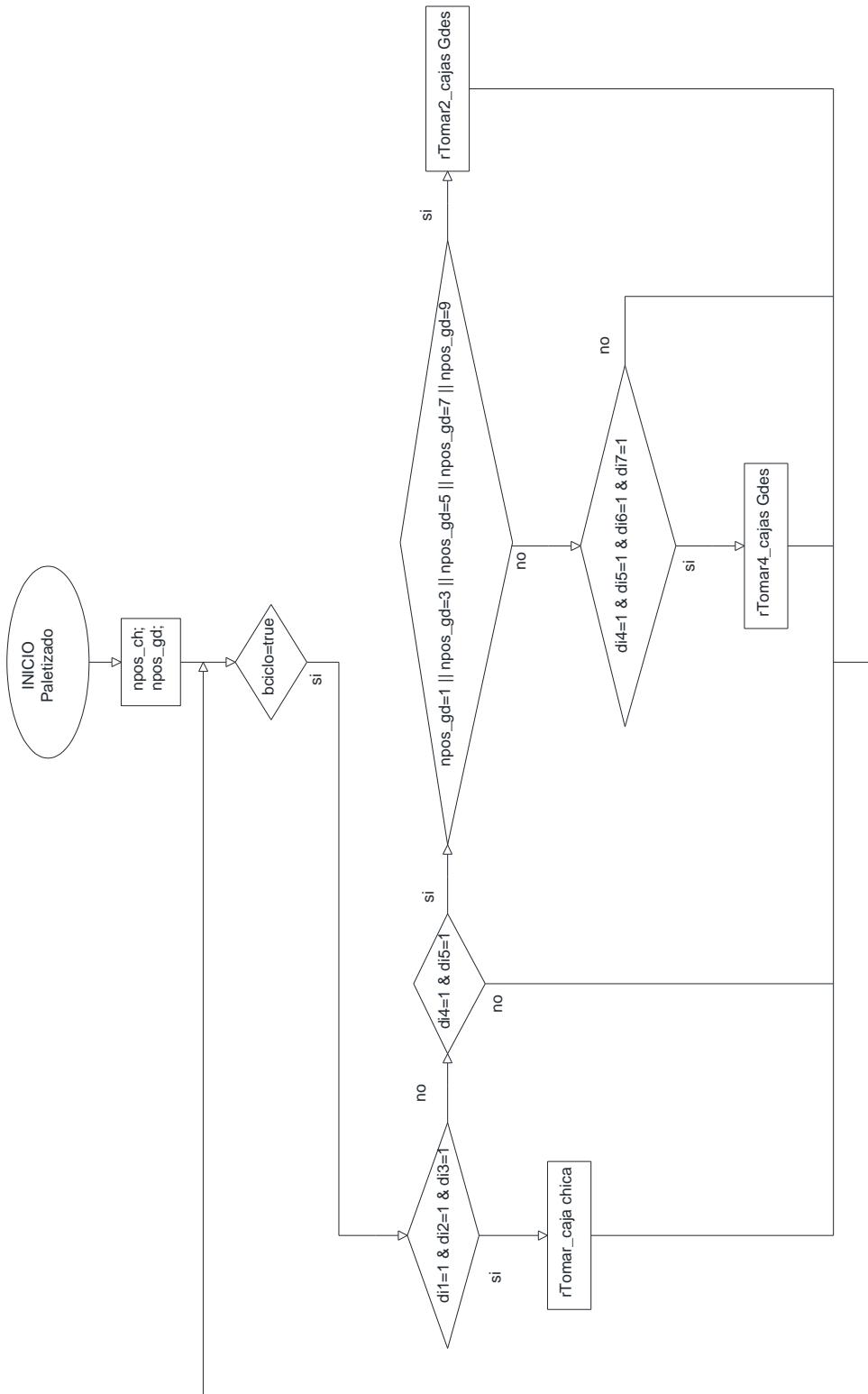


Figura 3. 86 Diagrama de Flujo del programa principal de paletizado.

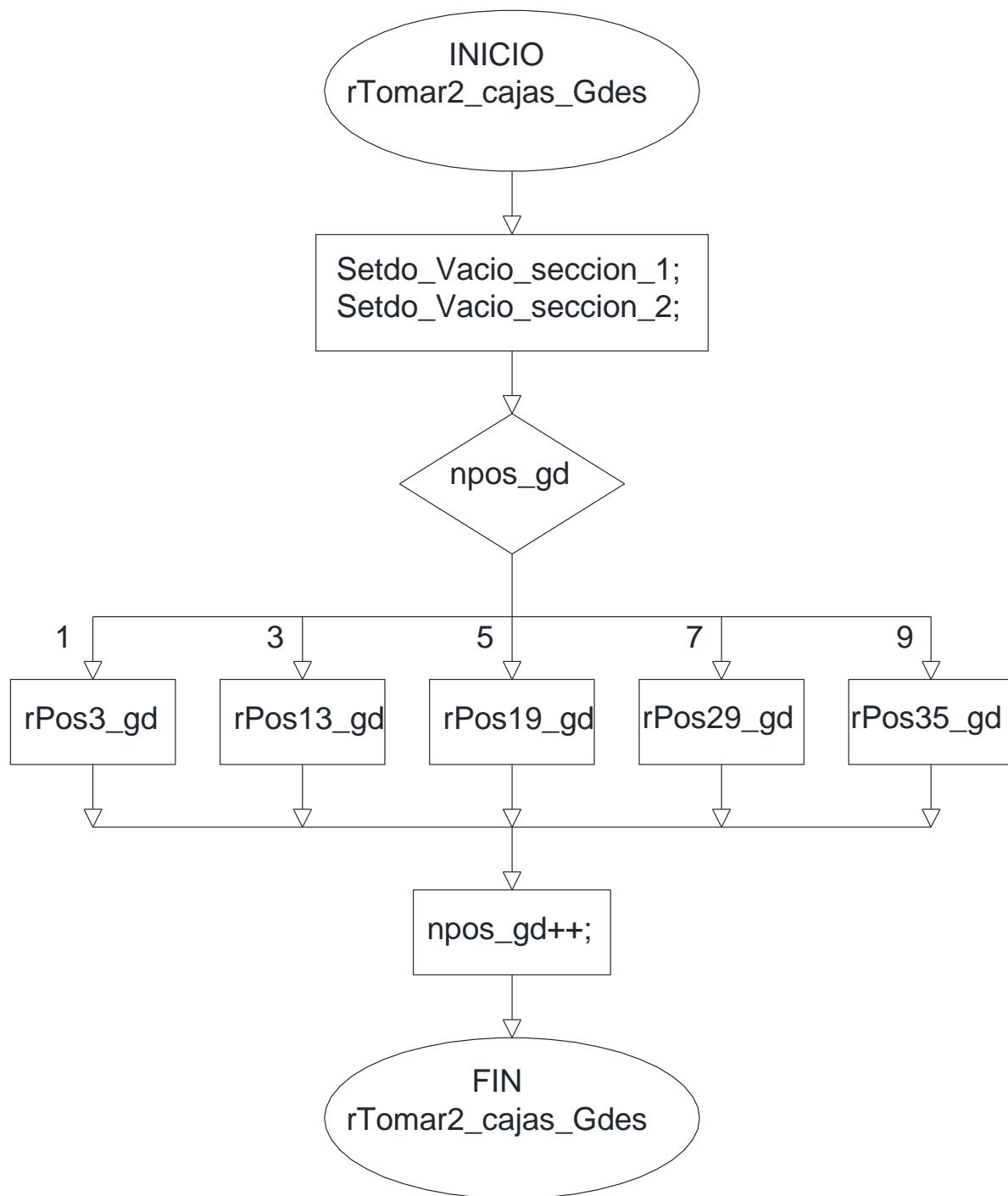


Figura 3. 87 Diagrama de flujo de la sub-rutina para tomar dos cajas de 60 x 30 cm.

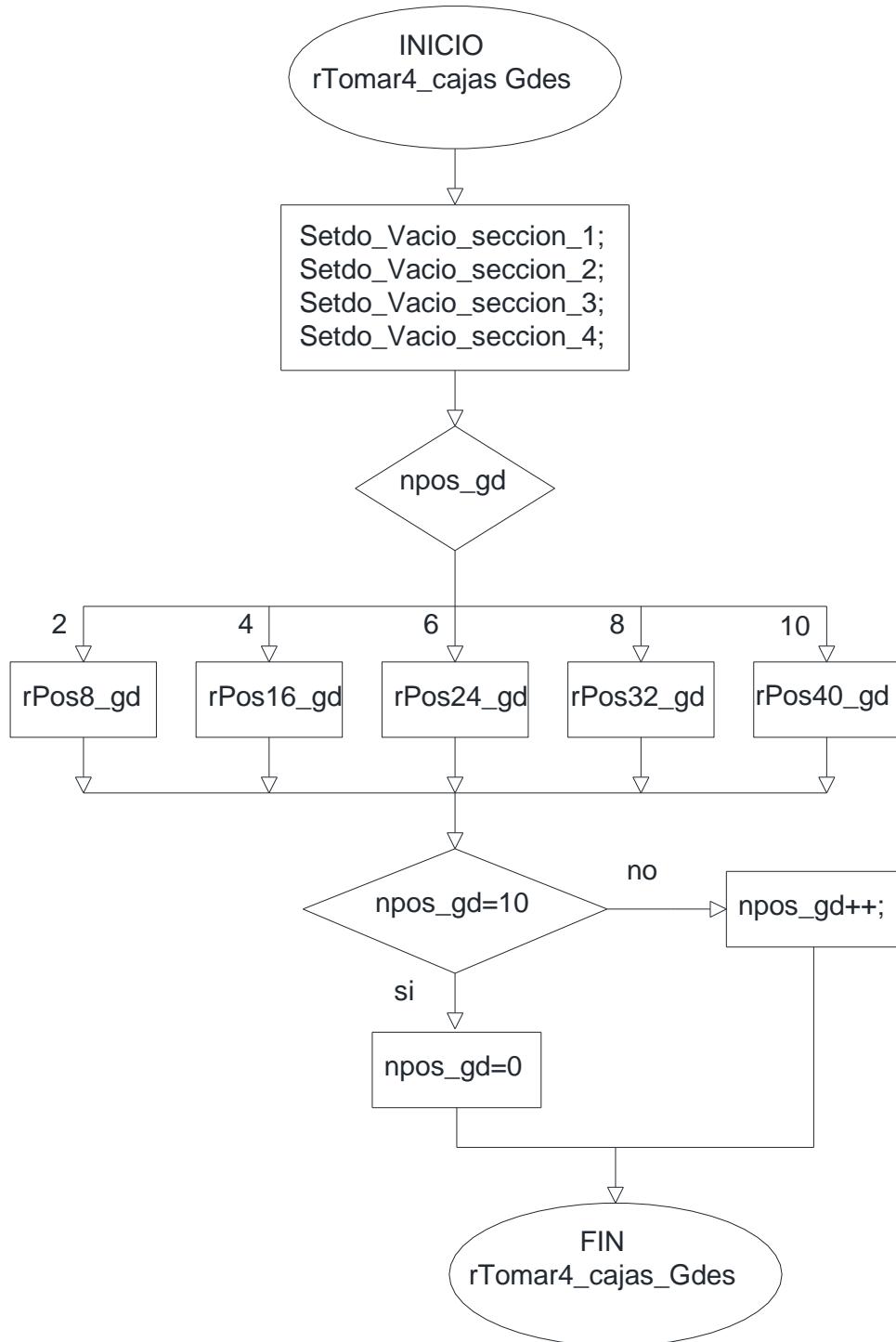


Figura 3. 88 Diagrama de flujo de la sub-rutina para tomar cuatro cajas de 60 x 30 cm.

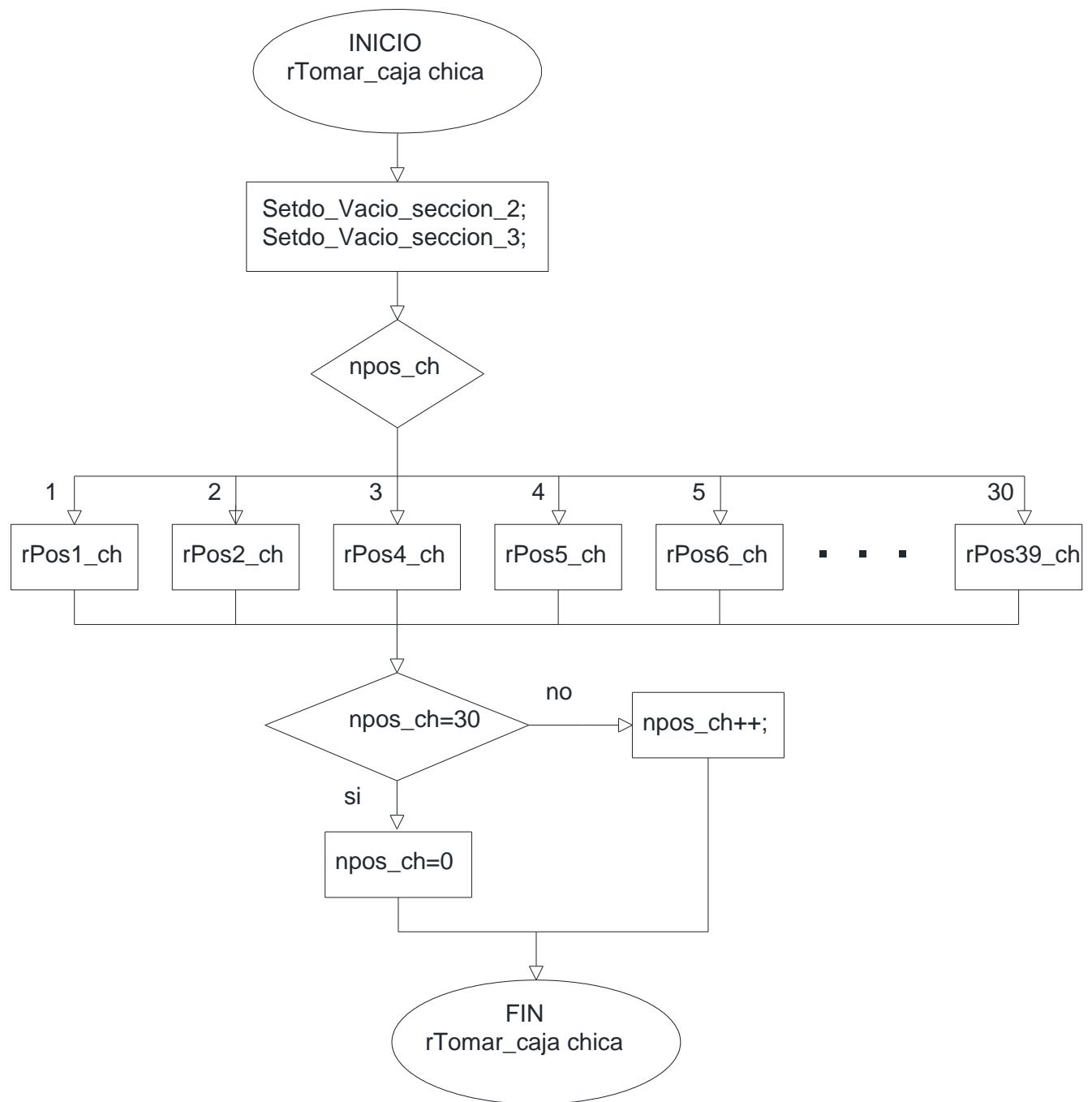


Figura 3. 89 Diagrama de flujo de la sub-rutina para tomar cuatro cajas de 60 x 30 cm.



### 3.6 La Seguridad en el Sistema de Paletizado Automático

La norma ANSI/RIA R15.06-1999 que aplica a la seguridad de robots industriales, además de otros ámbitos descritos en la cláusula 1.1, además aplica a nuestro sistema según la cláusula 1.4 (Ver anexo C), se es considerada como de alta importancia para su implementación en proyectos como el desarrollado en este trabajo, donde se automatiza un proceso mediante un brazo robótico, por lo que tratamos de cumplir en su totalidad con todos sus requerimientos.

Primeramente se tendrán que tomar medidas importantes de seguridad para disminuir el riesgo de lesión al operario. El riesgo que el operario tiene es estar cerca del robot ya que tiene una velocidad de 250 mm/seg en operación manual, pero cuando el robot entra en operación automática, alcanza una velocidad de hasta 2000 mm/seg, estas velocidades están dadas por default en el robot, pero el robot puede estar programado para trabajar a velocidades mayores a la mencionada.

El mencionar estos datos puede hacer el entendimiento del riesgo al operador algo relativo, pero al mencionar que un robot operando a 500 mm/seg que golpee a una persona puede causar su muerte repentina, la relatividad deja de ser un factor de persuasión.

En nuestro sistema se utiliza un robot IRB460<sup>®</sup> el cual alcanza velocidades de hasta 7000 mm/seg por lo que el sistema de seguridad será basta aunque la mayoría de las aplicaciones de robots paletizadores no llegan a programarse a velocidades tan altas al menos que el proceso lo requiera.

Como nuestro sistema robótico será un robot totalmente nuevo en cuanto a que se comprará de fábrica la norma ANSI/RIA de seguridad aplicará según lo mencionado en la cláusula 1.3.3 (Ver anexo C).

El sistema de des-energizado de una planta de proceso define el grado o nivel de la operación en términos del nivel de integridad de la seguridad (SIL o Safety Integrity Level).

Al igual que en el capítulo anterior, Solución de Ingeniería, donde se habló sobre cómo integrar los elementos de la celda de paletizado, aquí, igualmente se realizará una selección de



dispositivos importantes para automatizar la seguridad en la celda y posteriormente se mencionará la integración de los mismos.

### **3.7 Método de Evaluación de Riesgos para Protección del Personal.**

Cando se realiza el dimensionamiento para instalación de un robot industrial, antes que nada se debe de llevar a cabo un procedimiento de evaluación de riesgos de acuerdo a la norma ANSI/RIA cláusulas 9, 9.1, 9.2, 9.3 (Véase anexo C). Inclusive se realiza antes de la selección de dispositivos para la automatización de la seguridad.

Dicha evaluación comienza por identificar la estimación del riesgo como se muestra en la tabla 3.9, determinada por la cláusula 9.3 de la norma ANSI/RIA (Ver anexo C):

Tabla 3. 9 Estimación de riesgo del sistema de paletizado automático.

Factor	Categoría		Criterio
Severidad	S2	Lesiones graves	Normalmente irreversible, o fatal, o requiere más que primeros auxilios tal como se define en OSHA § 1904.12
	S1	Lesiones leves	Normalmente reversible, o sólo requiere de primeros auxilios tal como se define en OSHA § 1904.12
Exposición	E2	Exposición frecuente	Normalmente, la exposición al peligro se da más de una vez por hora
	E1	Exposición no frecuente	Normalmente, la exposición al peligro al menos de una vez por día o turno
Prevención	A2	No es probable	No se puede mover fuera del camino, o un tiempo de reacción inadecuado, o una velocidad del robot superior a 250 mm / seg
	A1	Probable	Se puede mover fuera del camino, o el tiempo de advertencia / reacción es suficiente, o la velocidad del robot de menos de 250 mm / seg



Por lo que la evaluación del riesgo en la celda de paletizado queda como sigue: La severidad de las lesiones es grave, normalmente irreversible, fatal, o requiere más que primeros auxilios, la exposición es frecuente y se da más de una vez por hora. La prevención no es probable ya que el robot alcanza velocidades de más de 250 mm/seg.

Obtenida la clasificación de prevención, exposición y severidad del sistema de paletizado, se determina de la tabla 3.10 de la cláusula 9.4 (Ver anexo C), la reducción de riesgo.

Tabla 3. 10 Estimación de riesgo del sistema de paletizado automático

Severidad de lesiones	Exposición		Prevención	Categoría de reducción de riesgos
<b>S2</b> Lesiones serias Más que primeros auxilios	<b>E2</b>	Exposición frecuente	<b>A2</b> probable	<b>R1</b>
			<b>A1</b> no probable	<b>R2A</b>
	<b>E1</b>	Exposición no frecuente	<b>A2</b> probable	<b>R2B</b>
			<b>A1</b> no probable	<b>R2B</b>
<b>S1</b> Lesiones ligeras Primeros auxilios	<b>E2</b>	Exposición frecuente	<b>A2</b> probable	<b>R2C</b>
			<b>A1</b> no probable	<b>R3A</b>
	<b>E1</b>	Exposición no frecuente	<b>A2</b> probable	<b>R3B</b>
			<b>A1</b> no probable	<b>R4</b>

Posteriormente en el punto 9.5 de la norma ANSI/RIA se especifican las selecciones de protecciones de acuerdo con la categoría de reducción de riesgos obtenida en el paso anterior, la cual resultó ser R1 (Ver anexo C), lo cual nos indica que el rendimiento de seguridad y rendimiento del circuito obedezcan a lo que dicta la norma en la tabla 3.11:



Tabla 3. 11 Selección de protecciones.

CATEGORÍA	RENDIMIENTO DE SEGURIDAD	RENDIMIENTO DEL CIRCUITO
R1	Eliminación de riesgos o sustitución de riesgos (9.5.1)	Control fiable (4.5.4)
R2A	Controles de ingeniería previene el acceso a los riesgos o detiene a los riesgos (9.5.2), por ejemplo barrera de seguridad, cortinas de luz, alfombras de seguridad, u otros dispositivos de detección de presencia (10.4)	Control fiable (4.5.4)
R2B		De un solo canal con un seguimiento (4.5.3)
R2C		De solo un canal (4.5.2)
R3A	Barreras no bloqueadas, espacio, procedimientos y equipo (9.5.3)	Canal simple (4.5.2)
R3B		Simple (4.5.1)
R4	Medio de conciencia (9.5.4)	Simple (4.5.1)

Por lo que para la categoría de reducción de riesgos R1, se recomienda la eliminación de peligro o la sustitución (Ver anexo C, Norma ANSI/RIA, cláusula 9.5.1), pero como eso no se puede hacer, ya que la idea aquí no es sustituir al robot, sino suplir la mano de obra, por lo que lo único que queda es seguir, como lo especifica la norma, con las debidas protecciones que dicta la categoría R2 de reducción de riesgos (Ver anexo ANSI/RIA, cláusula 9.5.2) donde se aclara que se debe de restringir el paso al área de peligro, y si aun así el riesgo perdura, se deben de seguir los pasos de la selección de seguridad con respecto a la categoría R3 y R4 (Ver anexo ANSI/RIA, cláusulas 9.5.3 y 9.5.4), como en nuestro caso donde se prevendrá el acceso al área de peligro mediante guardas de seguridad además de la colocación de cortinas de luz y avisos visuales como los semáforos y audibles como lo son las alarmas.



## 3.8 Selección de Dispositivos de Seguridad

Estos son dispositivos diseñados para mantener la seguridad necesaria en la celda robotizada de acuerdo a los requerimientos de la norma ANSI/RIA R15.06-1999.

### 3.8.1 Selección de Guardas de Seguridad

Para la seguridad de la celda de paletizado son esenciales las guardas, en este caso se selecciono la marca ESPINDOOR® para que nos hiciera la cotización del sistema de guarda completo con todos los accesorios necesarios. A esta marca se le envió el dibujo en 2D del diseño que se requería de la guarda de seguridad.

### 3.8.2 Selección de las Cortinas de Luz

Las cortinas de luz son dispositivos de protección opto-electrónicos, estos son usados para áreas de acceso a guardas, puntos de peligro o zonas de peligro, estas son diseñadas como sistemas de seguridad tipo 2 o tipo 4, para prevención de accidentes de acuerdo con las normas internacionales aplicables. Una cortina de luz de seguridad consiste en un transmisor y un receptor, los cuales están sincronizados ópticamente. Los rayos infrarrojos son controlados y monitoreados a través de un microprocesador. Tan pronto como el último de los rayos del transmisor es interrumpido, la salida del OSSD cambia a bajo y el movimiento peligroso es interrumpido. Los criterios de selección de una cortina de humo son:

Área de uso. Son las dimensiones donde se necesita la cortina, es decir, donde se va a estar sensado.

Resolución. Esta depende de que parte del cuerpo se quiera detectar para activar la cortina.

- Protección de dedo. Se requiere una resolución de 14 mm.
- Protección de mano. Se requiere una resolución de 30 mm.
- Protección de cuerpo. Se requiere una resolución de mayor a 40 mm.

Máximo rango de escaneo. Es la longitud máxima de separación entre en transmisor y el receptor.

Longitud del área de sensado. Es la longitud máxima donde se encuentran los rayos infrarrojos de la cortina de luz como se observa en la figura 3.90.

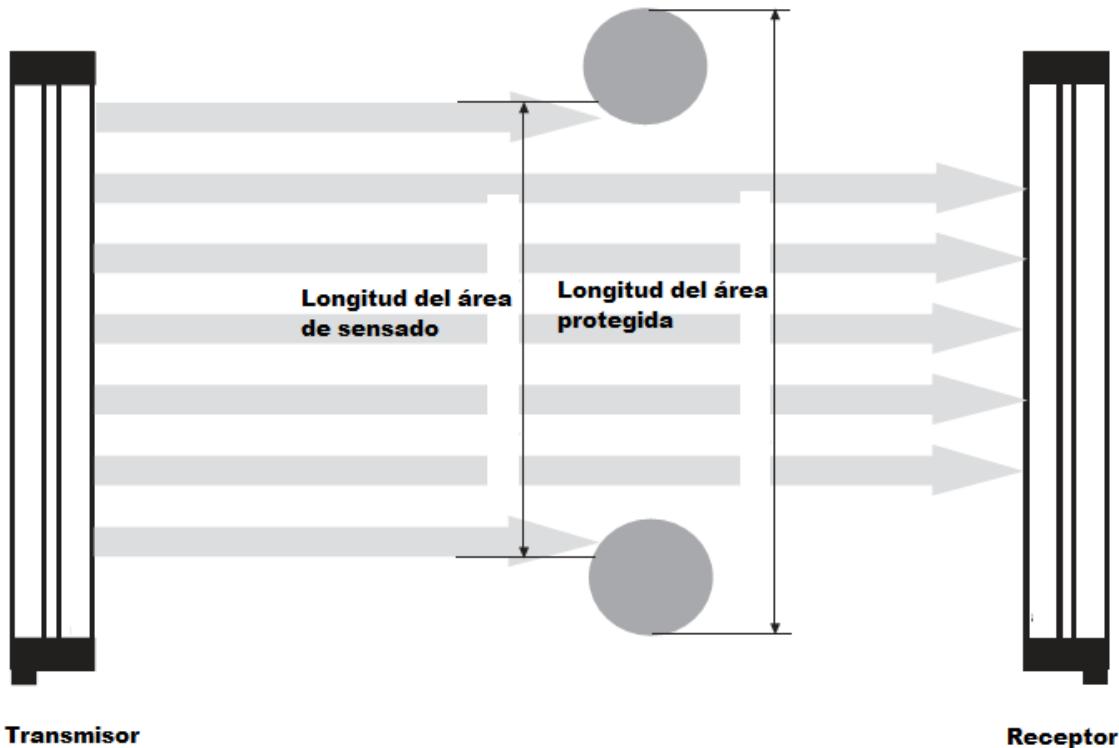


Figura 3. 90 Longitud del área protegida y longitud del área de sensado.

Tareas de seguridad. Cuales son las funciones integradas de las cortinas de luz para la seguridad.

La celda de paletizado requiere tener cortinas de luz por donde entran las cajas, las grandes y las pequeñas, y también donde salen los pallets ya cargados de cajas, serán 2 para las cajas chicas y las grandes y también una cortina de luz para la el área por donde se alimentan los pallets.

Se requieren resoluciones mayores de 40 mm en todas las cortinas de luz ya que no importa si un trabajador mete un dedo o una mano el las cortinas, sin embargo, si este se quiere meter a la celda de paletizado, entonces si se deberá detectar y mandar una señal para tomar las acciones necesarias.

Para la selección se necesitan dos alturas de cortinas de luz, la primera altura requerida es de 600 mm, esta será para las entradas de cajas chicas y cajas grandes, la otra altura es de 1500



mm, esta será para la entrada de pallets y para la salida de pallets con las cajas para su posterior traslado con los montacargas. Ahora se hará una tabla comparativa (ver tabla 3.12) para la selección de las cortinas de luz con las marcas Pilz®, Allen-Bradley® y SICK®. Se seleccionan dos modelos ya que se requieren dos tipos de cortinas.

Tabla 3. 12 Características de barreras fotoeléctricas de distintas marcas.

Marca	SICK®	Pilz®	Allen-Bradley®
<b>Modelo del transmisor 1</b>	C45S-0603AA220	PSEN op4H-30-060	440L-P4K0640YD
<b>Modelo del receptor 1</b>	C45E-0603AG220	PSEN op4H-30-060	440L-P4K0640YD
<b>Modelo del transmisor 2</b>	C45S-1503AA220	PSEN op4H-30-150	445L-P4S1440YD
<b>Modelo del receptor 2</b>	C45E-1503AG220	PSEN op4H-30-150	445L-P4S1440YD
<b>Resolución</b>	30 mm	30 mm	30 mm
<b>Máximo rango de escaneo 1</b>	0-4.5 m	0.2- 6 m	0-16 m
<b>Máximo rango de escaneo 2</b>	0-4.5 m	0.2- 6 m	0-16 m
<b>Altura del campo protegido 1</b>	600 mm	588 mm	640 mm
<b>Altura del campo protegido 2</b>	1500 mm	1470 mm	1440 mm
<b>Tensión de alimentación</b>	24 V DC, 19.2 V DC, 28.8 V DC	24 V DC	24 V DC
<b>Grado de protección</b>	IP65	IP64	IP65



Precio por juego	42,28.40 USD	3,675.98 USD	3,395.70 USD
Proveedor	SEPIA S.A. de C.V.	OHM GRUPO	RISOUL Y CIA S.A. de C.V.

De la misma tabla 3.12 se observa que todas las marcas cumplen con los requisitos solicitados, sin embargo, el precio por cortinas de luz si varia de manera importante, por lo que se tomará la decisión de la marca Allen-Bradley® debido a que tiene el menor precio en el mercado.

### **3.8.3 Selección de los Botones de Paro de Emergencia**

Para la celda de paletizado será necesario poner botones de paro de emergencia, estos con el fin de tener una mayor seguridad en la celda y reducir al mínimo los accidentes, estos botones se usan con el fin de detener uno o varios procesos en una situación, tanto en instalaciones como en maquinaria deben estar equipados con equipo de parada de emergencia para que cualquier peligro pueda ser evitado o reducido en el caso de una emergencia.

En el caso de la celda se pondrá un botón en la entrada de las dos bandas, para la caja chica y para la caja grande. Se pondrá otro paro de emergencia donde salen los pallets con sus respectivas cajas. Se necesitan botones de paro de emergencia pero no son para atmosferas explosivas.

A continuación se hará la comparación entre distintas marcas de botones de paro de emergencia de las marcas Pilz®, Allen-Bradley®, SICK® y EAO® presentada en la tabla 3.13.



Tabla 3. 13 Características de botones de paro de distintas marcas.

Marca	Pilz®	Allen-Bradley®	EAO®	SICK®
Modelo	PIT es1.11 operator, red	Lifeline 4 Cable Pull Switches	Foolproof EN IEC 60947-5-5	ES21-SB10G1
Tipo	Hongo	Hongo	Hongo	Hongo
Tipo de montaje	Instalación en panel frontal	Instalación en panel frontal	Instalación en panel frontal	Instalación en panel frontal
Tipo de activación	Por rotación	Por rotación	Por rotación	Por rotación
Grado de protección	IP65	IP65	IP 65	IP 65
Precio	110.00 USD	160.00 USD	60.00 USD	130.00 USD

Según lo requerido en la norma ANSI/RIA en la cláusula 6.12.3 (Ver anexo C), los diferentes paros de emergencia mostrados en la tabla cumplen con lo especificado, por lo que en la selección se prefiere la marca EAO® ya que su precio es el mas bajo.



## **3.9 Integración y Distribución de Dispositivos y Elementos de Seguridad en la Celda de Paletizado.**

Como lo indica la norma ANSI/RIA en la cláusula 11 (Ver anexo C), los dispositivos de seguridad deben estar diseñados, construidos, unidos y mantenidos para asegurar que el personal no llegue al dispositivo de alguna forma sin que este no lo detecte y alcanzar el peligro.

### **3.9.1 Guardas de Seguridad**

Como lo indica la ANSI/RIA en la cláusula 5.1 (Ver anexo A), las guardas de seguridad deben estar cerradas y bien unidas. Las barreras deberán ser construidas para soportar fuerzas y condiciones ambientales, además de estar libres de bordes afilados o salientes y que no creen por sí mismas un peligro, también deben proporcionar mecanismos para una fijación segura.

Como lo indica la norma ANSI/RIA en la cláusula 11.1 (Ver anexo A), las guardas deberán prevenir el acceso al peligro, ser construidas para resistir las fuerzas operativas y del ambiente industrial, deberán estar libres de bordes afilados o salientes y no deberán ser por sí mismas un peligro, deberán estar colocadas de forma que la parte inferior de la barrera no esté colocada a más de 0,3 m (12 pulgadas) por encima de las superficies adyacentes a piso, y que la parte superior de la barrera no sea inferior a 1,5 m (60 pulgadas) por encima de las superficies adyacentes al piso, a menos que los dispositivos de protección adicionales se instalen para prevenir o detectar el acceso al peligro.

Según la norma ANSI/RIA en la cláusula 6.14 (Ver anexo A), el gripper seleccionado deberá ser diseñado y construido para que la pérdida de energía eléctrica, hidráulica, neumática o de succión no resulte un peligro. Si esto no es factible, otros métodos de protección deben de ser considerados para proteger contra peligros. En este caso, algunas instrucciones de programación de movimientos del robot son ejecutadas a velocidades de hasta 4000 m/s, por lo que el gripper podría causar un golpe fatal para el operador, por lo que ciertos dispositivos deben de ser considerados.

Los dispositivos de seguridad limitadores, en nuestro caso son las guardas de seguridad mencionadas en la selección de materiales, las cuales únicamente tienen que restringir el espacio

de paletizado del robot, respetando el espacio planeado que se tiene desde la solución de ingeniería ( $6m^2$ ) y apegándose a la cláusula 6.5 de la norma ANSI/RIA (Ver Anexo A). La integración de las guardas fue realizada igualmente dentro de la celda de paletizado, dentro de RobotStudio® (RS), como se muestra en la figura 3.87:

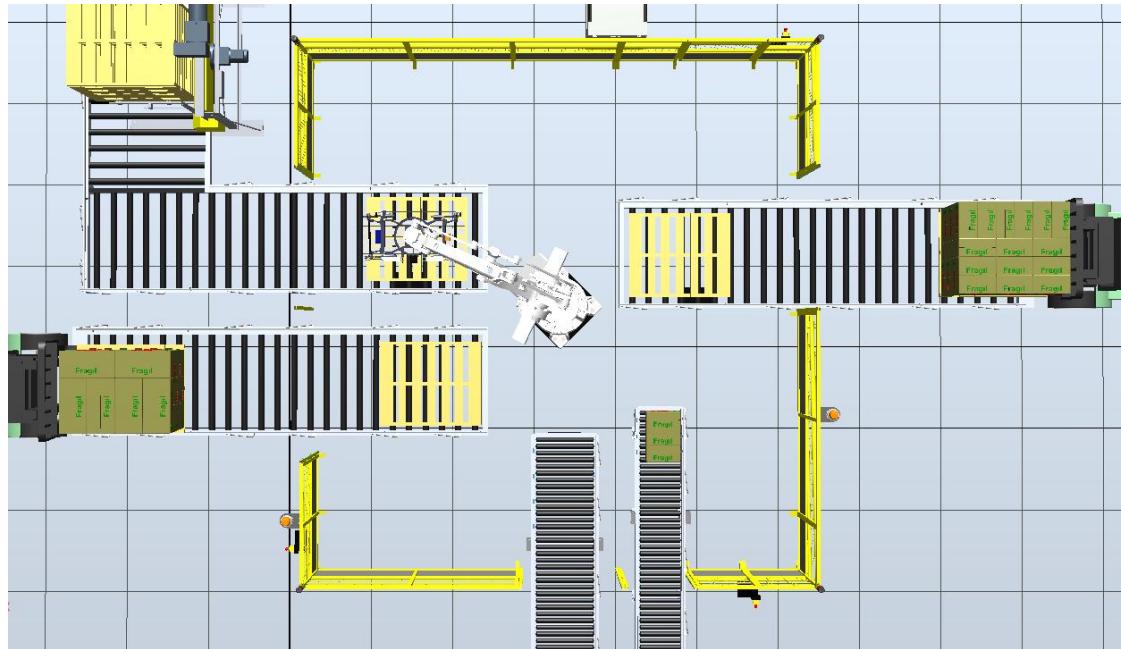


Figura 3. 91Vista superior de las guardas.

Con lo visto en la imagen queda cubierto a la vez el punto 6.6 de la norma ANSI/RIA que habla sobre la identificación del espacio de restricción (Ver Anexo A). Pero éste fue finalmente definido por los movimientos que el robot realiza a través del programa (Ver Anexo A, cláusula 6.7 de la norma ANSI/RIA), como nosotros tenemos puntos donde el robot realiza movimientos con su máxima extensión el espacio del robot queda como el mismo radio que genera el máximo alcance del robot visto en la figura.

### 3.9.2 Localización del Controlador

El controlador debe de ser localizado fuera de las guardas como lo menciona el punto 6.3 de la norma ANSI/RIA, (Ver anexo A), por lo que fue colocado como se muestra en la figura siguiente.

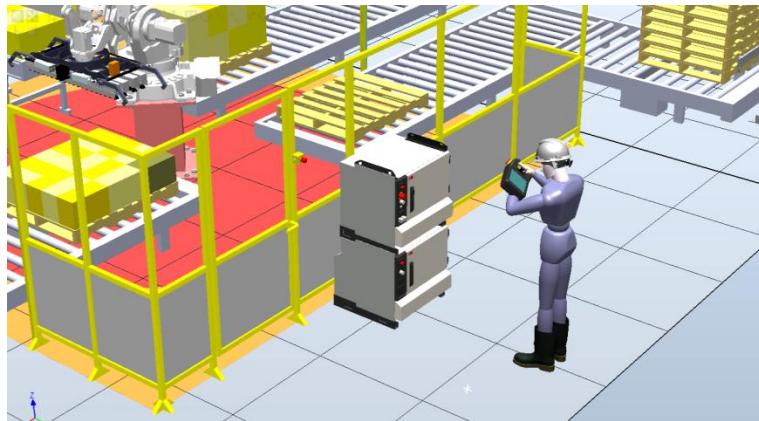


Figura 3. 92 Distribución correcta del controlador.

### 3.9.3 Botones de Paro

El sistema deberá tener un botón circuito de botones de paro y un circuito de paro por seguridad, que se colocarán después de haber hecho el análisis de riesgos del sistema.

El paro de emergencia deberá realizar ciertas funciones a la hora de ser activado por la seguridad del operario, deberá anular todos los demás controles, detener el movimiento peligroso del robot, quitar la unidad de alimentación de los actuadores del robot, y eliminar todas las demás fuentes de energía que puedan representar un riesgo, por lo que deberá tener una prioridad alta dentro del programa del robot, no se deberá utilizar el botón de paro de emergencia para cualquier otra función. Al realizar un paro por seguridad, se tendrá que seguir un procedimiento de restablecimiento del sistema, igualmente llevado a cabo desde fuera del espacio restringido.

Los botones de paro de emergencia deberán estar ubicados, por seguridad, en áreas de fácil acceso para el operario. La ubicación de nuestros botones de paro será cerca del infeeder de entrada, del infeeder de salida y a un costado de la puerta de acceso de celda de paletizado (Ver anexo A, norma ANSI/RIA, cláusulas 6.12, 6.12.1, 6.12.2, 6.12.4 y 6.12.5).

Como lo indica la norma ANSI/RIA en la cláusula 5.3 (Ver anexo A), un sistema que señaliza un paro debe proporcionar los medios para una indicación observable de que el



dispositivo esta operando y no debe ser afectados en su funcionamiento por las condiciones del ambiente para las cuales el sistema fue destinado. Estos sistemas tendrán un tiempo de respuesta máximo que no será afectado por los ajustes de la sensibilidad del objeto o cambios en el ambiente además, el dispositivo debe proporcionar los medios para un montaje seguro. Estos sistemas deben proveer los medios para la restricción de ajustes o configuraciones no autorizados, ya sea en software o hardware.

De acuerdo con la norma ANSI/RIA en la cláusula 11.3 (Ver anexo A), los dispositivos que señalan un paro deberán estar interconectados con el sistema de control del robot de tal forma que la detección de una intrusión activar el paro de un movimiento peligroso, deberá estar instalado y dispuesto como lo marca el punto 10.4.3 para que las personas no pueden entrar en la zona peligrosa sin la intrusión detectada correctamente, y no puede alcanzar un peligro antes de que las condiciones peligrosas hayan cesado, no se debe permitir la reanudación del funcionamiento automático por la eliminación de la intrusión sin una acción deliberada fuera del espacio protegido.

El robot no deberá de estar instalado en lugares donde el paro del sistema pueda ser peligroso, (Ver anexo A, norma ANSI/RIA cláusula 6.13).

### **3.9.4 Cortinas de Luz de Seguridad**

Como lo indica la norma ANSI/RIA en la cláusula 5.3.1 (Ver anexo A), las cortinas de luz deben estar etiquetadas con: tiempo de respuesta máxima, máximo ángulo de divergencia y aceptación para la máxima ganancia, sensibilidad del objeto mínima, además de proporcionar un método para prevenir o detectar reflexiones no deseadas.

Como lo indica la norma ANSI/RIA en la cláusula 5.3.1 (Ver anexo A), las cortinas de luz de seguridad deben cumplir con los requerimientos de acuerdo a la cláusula 11.3, , deben estar instaladas a una distancia que detecte la sensibilidad del objeto mayor, cuando el objetivo (fijo o variable) se utiliza meno, la apertura es completamente obstruida, las cortinas de seguridad deberán indicar el área fijada como blanco visiblemente, o el usuario debe verificar que el objetivo está siendo utilizado (o no se utiliza) como se pretende, incluyendo el número, tamaño y



ubicación de los haces del objetivo. Deberán ser instaladas de tal forma que las superficies reflectivas no causen que el dispositivo falle al responder a la presencia de personal.

### **3.10 Filosofía de Operación de la Celda Robotizada**

Primeramente la celda deberá ser segura, y ajustarse a la norma ANSI/RIA s15.6 1990.

La celda deberá tener un área de seguridad, contenida con vallas y cortinas de luz que eviten el acceso a la misma por parte de algún trabajador, esto como medida de seguridad y cumpliendo con la norma antes mencionada.

El robot deberá atender dos salidas de producto terminado simultáneamente, que a su vez son las alimentaciones de la celda, las características de los productos provenientes de cada banda se especifican en el capítulo 2 en la descripción del proceso de paletizado, el producto de cada una de estas entradas serán paletizadas en distintos pallets, de tal manera que se tendrá un pallet para cada producto. Los pallets necesarios para realizar el paletizado serán suministrados por un dispensador de pallets, el cual tiene capacidad para 15 pallets los cuales serán colocados cada que se terminen por un trabajador ayudándose de un montacargas y cuando el sensor de presencia de la banda que lleva los pallets dentro del área de seguridad del robot detecte que no hay pallet, el dispensador enviará un nuevo pallet a través de la banda. En el momento en el que un pallet es terminado por el robot, este deberá salir automáticamente del área de seguridad del robot, esto se llevará a cabo por medio de bandas, estas bandas permiten a los montacargas llevar los pallets al muelle de carga y descarga de la planta. Cuando los pallets salen de la celda, es necesario que se desactiven las cortinas de luz para permitir la salida de los pallets sin activar la alarma de seguridad, en otras palabras hacer un mutting en la seguridad, de igual manera cuando el alimentador de pallets envíe un nuevo pallet, se debe hacer un mutting en esa cortina de luz.

Cada que se realice un mutting en la seguridad deberá activarse una alarma visual que indique que en esa parte de la celda se ha desactivado la seguridad momentáneamente tal como lo indica la norma ANSI/RIA s15.6, también deben existir elementos de señalización visual y sonoros que informen al personal en caso de que exista una alerta de seguridad.



El robot atenderá las alimentaciones en función de las señales provenientes de los sensores de presencia encargados de detectar las cajas de producto terminado, de esta manera atenderá cada alimentación cuando exista el numero de cajas adecuado a la posición y la cama correspondiente, así cuando exista algún problema en el flujo de alguna de las alimentaciones, esto no influirá en la otra alimentación, permitiendo la continuación del paletizado.

La forma en la que el robot atenderá la alimentación correspondiente a las cajas grandes depende de igual manera de la configuración de las camas, tal como se muestra en la figura 2.3, se puede dividir la cama en dos partes una de 4 cajas y otra de 2 cajas, por lo que el robot deberá tomarlas de esta manera según corresponda con la cama, la manera en la que atenderá la alimentación de cajas chicas depende de la configuración establecida de las camas del pallet, que como se puede ver en la figura 2.1, la cama puede descomponerse en 5 partes iguales de 3 cajas cada una, por lo que es conveniente que el robot espere a tomar 3 cajas chicas para colocarlas en el pallet, así establecido esto, la condición principal para que el robot atienda la alimentación de cajas chicas es que los sensores de la banda detecten al menos 3 cajas chicas en posición, de otra manera atenderá la alimentación correspondiente a las cajas grandes si cumple con las condiciones propias de esta, o de lo contrario simplemente esperará en una posición segura.

### **3.11 Propuesta Económica**

En esta parte se hizo un presupuesto de lo que se va a gastara en esta propuesta de automatización en el caso de que se quiera implementar.

Primero se hizo una lista de todos los dispositivos y materiales para el desarrollo de la celda robotizada:



Tabla 3. 14 Cotización Final del Proyecto.

POS.	Cantidad	Descripción	Precio unitario en USD	Precio total en USD
1	1	Brazo robótico IRB460® de ABB <sup>1</sup>	\$ 50,000.00*	\$ 50,000.00
2	1	Gripper de vacío de ABB®	\$ 13,000.00*	\$ 13,000.00
3	21	Sensor Fotoeléctrico 24 VCD Marca Pepper+Fuchs® Modelo ML20-54/103/115	\$ 69.42	\$ 1,457.82
4	2	Par Transmisor modelo 440L-P4K0640YD y receptor modelo 440L-P4K0640YD marca Allen-Bradley® para una cortina de luz	3,395.70	\$ 6,791.4
5	3	Par transmisor modelo 445L-P4S1440YD y receptor modelo 445L-P4S1440YD marca Allen-Bradley® para una cortina de luz	\$ 3,395.70	\$ 10,187.1
6	4	Botón de paro de emergencia, salida a relevador marca Pilz® modelo PIT es1.11 operator, red	\$56.00	\$ 224.00
7	24	Guarda de seguridad marca ESPINDOOR	\$ 10,000.00*	\$ 1,000.00
8	3	Banda transportadora modelo FDSS12-144 marca DAIFUKU WEBB	\$ 3,030.3*	\$ 9,090.9



<b>9</b>	1	PLC CompactLogix marca Allen-Bradley®	\$ 7,000.00*	\$ 7,000.00
<b>10</b>	1	Modulo de Comunicación DeviceNet marca Allen-Bradley®	\$ 600.00	\$ 600.00
<b>11</b>	3	Módulo de 16 entradas digitales de 24 VCD Source para Compact I/O marca Allen-Bradley®.	\$ 254.15	\$ 762.45
<b>12</b>	1	Módulo de 16 salidas digitales de 24 VCD Source para Compact I/O marca Allen-Bradley®.	\$ 254.15	\$ 254.15
<b>13</b>	1	Fuente de Poder de 4A, 120 VAC, marca Allen-Bradley®	\$ 385.2	\$ 385.2
<b>14</b>	4	Alarma visual/ sonora	\$ 350.00*	\$ 1,400.00
<b>15</b>	3	Computadora DELL modelo XPS 8500	\$ 2,700.00	\$ 8,100.00
<b>Subtotal</b>				\$ 119,253.02

\*Datos obtenidos de la ExpoPack 2012

<sup>1</sup>Este precio ya contiene el controlador IRC5 del brazo robótico

Después se elaboró una lista con todos los costos de las licencias de software que se usaron:

Tabla 3. 15 Software Utilizado.

<b>POS.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario en USD</b>	<b>Precio total en USD</b>
<b>1</b>	1	Licencia de RobotStudio® 5.14 anual	\$ 1,600	\$ 1,600
<b>2</b>	1	Licencia de SolidWorks® 2011 versión estudiantil	\$0	\$0
<b>3</b>	1	Licencia de Autodesk AutoCAD® 2011 versión estudiantil	\$0	\$0



<b>4</b>	1	Licencias RS Logix 5000 estándar marca Allen Bradley®	\$ 3,150	\$ 3,150
<b>5</b>	1	Licencia RS Linx OEM en CD para procesadores marca Allen Bradley®	\$ 1,121.63	\$ 1,121.63
<b>Subtotal</b>				\$ 5,871.63

Lo siguiente fue hacer la lista de la mano de obra y de los materiales de papelería, así como computadoras usadas para el desarrollo de la ingeniería:

Tabla 3. 16 Mano de obra y consumibles.

POS.	Cantidad	Horas	Descripción	Precio por hora en USD	Precio total en USD
<b>1</b>	3 Ingenieros	80	Ingeniería	65.00	15,600.00
<b>2</b>	3 Ingenieros	80	Programación del brazo robótico	65.00	15,600.00
<b>3</b>	6 Técnicos	40	Instalación Mecánica	25.00	6,000.00
<b>4</b>	6 Técnicos	60	Instalación Eléctrica	25.00	9,000.00
<b>Subtotal</b>					46,200.00

Después se hizo la suma de los tres subtotales y se llegó al costo total del proyecto.

Tabla 3. 17 Costo final del proyecto.

Monto total de la propuesta	
<b>dispositivos y materiales para el desarrollo de la cerda robotizada</b>	\$ 111,153.02
<b>licencias se software</b>	\$ 1,121.63
<b>mano de obra y materiales para hacer ingeniería</b>	\$ 14,450.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 126,724.65</b>



### 3.12 Repercusiones Generadas por la Automatización del Paletizado

Son cambios difícilmente evitables que serán causa siempre de la automatización:

- Concentración de recursos: En lugar de tener almacenes lo más cerca del cliente, para mejorar el flujo físico debido a las nuevas redes de distribución, se tendrá un almacén central fuertemente tecnificado que permitirá reducción de inventarios y creación de economías de escala. Los vendedores tendrán que comunicar sus pedidos a dicha central.
- Re-estructuración de funciones: Diversos responsables y trabajadores de distintas AF de la empresa, que antes tenían funciones técnicas (cargadores, almacenistas, etc.) pasarán a tener funciones como en el área de mantenimiento del brazo, supervisión, o incluso se capaciten para colaborar en otras áreas totalmente distintas al área de estibado como lo es el departamento de ventas.
- Re-estructuración de los métodos contables: La contabilidad sobre los costes de las operaciones logísticas deberá reorientarse para poder conocer su rentabilidad.



## Resultados

Se realizó el análisis de tiempo solicitado para el proyecto de la celda de paletizado robotizada, cuyos resultados son los que se obtuvieron en la simulación con el software RobotStudio®.

Cabe hacer mención que los resultados obtenidos en la simulación fueron logrados conforme a la información proporcionada, por lo que puede haber variaciones con el mundo real; esto depende principalmente de la velocidad de la aceleración centrífuga de la caja al momento de ser trasladada de un punto a otro por el robot, por lo que se hicieron varios análisis con la velocidad del robot, considerando una sola pasada en la operación y la velocidad del paletizado constante. Esto se podrá comprobar cuando se realicen las pruebas físicas.

Para el análisis se consideró el layout descrito en el plano A5 (Ver anexo A), que muestra la distribución de dispositivos final en el área destinada para el proyecto, y como se mencionó en la el capítulo de desarrollo de ingeniería, se explicó que al tomar los tiempos para el paletizado de 17 cajas, a distintas velocidades se generó la tabla siguiente:

CASO	Velocidad del robot en mm/seg	Tiempo de ciclo en segundos
1	200	180.8
2	500	82
3	1000	47.8
4	2000	35.5
5	3000	30.8
6	4000	29.5
7	5000	28.7
8	6000	28.7
9	7000	28.7



## Conclusiones

De los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

La velocidad máxima que se puede usar en el robot para hacer el proceso (de ser posible si el proceso le permite) es de 5000 mm/s. Debido a que si aumenta la velocidad ya no hay un cambio significativo en el tiempo de ejecución del ciclo de paletizado para las 17 cajas, esto se debe a que las trayectorias que recorre el robot siempre son las mismas y la aceleración del robot es constante  $1\text{m/s}^2$  (aceleración máxima) por lo que al aumentar la velocidad debido a las trayectorias no le permite acelerar más y por consiguiente no se notarán cambios aun cuando aumente la velocidad del robot. Es como tener un corredor profesional que acostumbra a correr 100metros en 9.5 segundos, y que trate de correr una distancia de 3 metros, siempre lo hará en el mismo tiempo promedio ya que la distancia no le permite acelerar lo suficiente para alcanzar su máxima velocidad.

Con respecto al caso 1 que es el de menor velocidad 200 mm/s se obtendrían el mismo número de cajas que se paletizan actualmente de forma manual, pero de una manera continua, consistente y sin riesgos para el operador.

Para los casos 2 y 3 son velocidades que se podrían obtener buenos resultados aumentando la producción en 26% y 45%, adicionalmente a las ventajas ya mencionadas para el caso 1 que son continuidad, consistencia y reducción de riesgo para el operador.

Por último, en general se tienen ventajas con el empleo del robot en cualquiera de los casos con respecto a la producción manual. Por lo que la velocidad real para el paletizado deberá estar entre las velocidades mencionadas con anterioridad, la velocidad real se podrá obtener cuando se realicen las pruebas físicas para que el proceso de paletizado se lleve a cabo correctamente, pero estos resultados obtenidos en la simulación nos dan un panorama muy cercano a lo real.

## Recomendaciones

Al inicio de la utilización de RobotStudio® (RS) se tiene que haber realizado la selección de dispositivos, por lo menos del robot y del gripper para poder determinar en qué versión del



software se trabajará, por experiencia, utilizar RobotStudio® 5.13.03, pero revisar primero si el robot a utilizar se encuentra en la pestaña de Home<Build Station<Robot System, ya que si no aparece en esta librería, será imposible utilizar dicha versión, si es un robot de una generación más reciente, se deberá utilizar una versión más reciente de RobotStudio®, en nuestro caso seleccionamos el robot IRB460® y la versión que empezó a ser compatible con éste era la RS 5.14.02.01, se empleó la versión 5.14.03.01 por que mostró ser más estable que la anterior en su funcionamiento.

El acomodo de los elementos de la celda de paletizado se realiza más fácilmente en RS que en SolidWorks® (SW), ya que RS tiene herramientas más simples, pero que hacen el manejo de las piezas en 3D realmente sencillo. Tales funciones como Set Position, Rotate, Move linear etc.

Antes de realizar la programación de un paletizado, se debe de revisar primero el orden en que irán acomodadas las cajas de los palets, ya que cada orden deberá tener estructuras diferentes de ciclado dentro del programa de RAPID, en nuestro caso las camas de el palet de cajas grandes terminaba exactamente igual en tiempo, que el palet de cajas de cajas chicas, por lo que con un simple for, se solucionó el ciclado, pero en caso de que las camas no se terminen de realizar al mismo tiempo, se tiene que utilizar otro tipo de funciones para que el ciclado sea conforme a lo requerido. Al realizar cambios en el Event Manager a los eventos o creación de nuevos eventos, se tiene que volver a sincronizar el Controlador Virtual en Offline<Syncrhonize<Syncrhonize to Virtual Controller para poder hacer que el robot se mueva sobre el Path, con Move Along Path en Home<Paths&Targets<Click derecho sobre el path<Move Along Path.



Al enseñar al robot una nueva posición con Home<Path Programming<TeachTarget, se tiene que estar seguro de que en la pestaña de Home<Settings<Workobject este seleccionado el Workobject correcto. Al crear eventos con la función de Attach, para que una caja se quede junto al robot, simulando que la ha tomado por succión, se tiene que tomar en cuenta que la zona de los movimientos que haga el robot al ir a tomar la caja, debe de ser Fino, ya que puede darse el caso de que el robot tome las cajas antes de que llegue a ellas, por el espacio de holgura que se le da al no tener un movimiento fino, lo que hace que el programa piense que el robot ha llegado a la caja, pero, antes de tiempo.

Se puede ahorrar mucho trabajo en algunas partes de la programación de RobotStudio®, porque tiene la opción de copiar y pegar instrucciones, targets, paths, grupos de solidos, etc., solo tomando en cuenta los cambios generados. Por ejemplo cuando se copia y pega una instrucción de Move dentro del árbol de proyecto de Home<Paths & Target, RS pregunta si deseamos generar un nuevo Target, ya que el robot puede aprender una nueva posición en dicho movimiento, si se necesitan nuevos movimientos, que después serán cambiados de posición o rotados para nuevas camas, se tiene que decir que "si" a esa pregunta, para que se generen los respectivos targets, pero si solo se copia el move porque el robot realizará un movimiento igual, y únicamente se cambiarán las posiciones lineales (X, Y , Z) o de rotación. Cuando se crea un evento y se ha modificado su nombre en el Event Manager, pero tal evento ya se había utilizado en el árbol de Home<Paths & Targets, en el EventManager, el evento marcará un error, por lo que habrá que eliminar tales instrucciones del árbol de Paths y aplicar un Refresh en el Event Manager. Una vez seleccionados los dispositivos de seguridad según la tabla , los requerimientos y lo instalado de acuerdo con la cláusula 10, el proceso en 9.2 y 9.3, es decir, el método de la



evaluación de riesgos deberá de ser repetido para determinar si cada peligro identificado fue protegido para que el riesgo remanente sea tolerable.

Un Safety laser scanner sirve para la supervisión de determinadas zonas de un proceso las cuales son peligrosas o simplemente donde se requiere vigilancia constante porque el proceso así lo requiere. Estos sensores sirven para proteger áreas o para monitorear accesos, también sirven para la protección de áreas peligrosas en movimiento, en este proyecto no se tomaron en cuenta este tipo de sensores debido al alto costo que es un factor muy importante. En lugar del scanner, se consideró colocar guardas de seguridad, que en cuestiones de seguridad protegen la misma área que el safety scanner. En la norma ANSI/RIA, en la figura A.3 solo se recomienda colocar el scanner más no es un requerimiento estricto, (ver Anexo C).

Tabla A Principales criterios para la selección de un Safety laser scanner

Característica	Descripción
<b>Rango de campo de protección</b>	Es el máximo rango del campo de monitoreo.
<b>Angulo de escaneo</b>	Es el máximo ángulo de visión del scanner.
<b>Conjunto de campos</b>	Es el numero de conjuntos de campo que indica con que flexibilidad el scanner puede ser adaptado a diferentes fases de un proceso.
<b>Tamaño</b>	Cuanto más pequeño es sensor, mas fácil es integrarlo en un sistema.

Un sistema robótico esta totalmente resguardado utilizando un sistema SafetyEYE, como se muestra en la figura A.3 del Anexo C. el dispositivo sensor se monta de tal forma que este perpendicular a las zonas a monitorear. El acceso al robot esta protegido en tres lados, el cuarto lado restante estará protegido por la guarda de seguridad. Tan pronto como un operador entre a la zona de advertencia, una señal encenderá la alarma para alertar al operador y este se aleje de



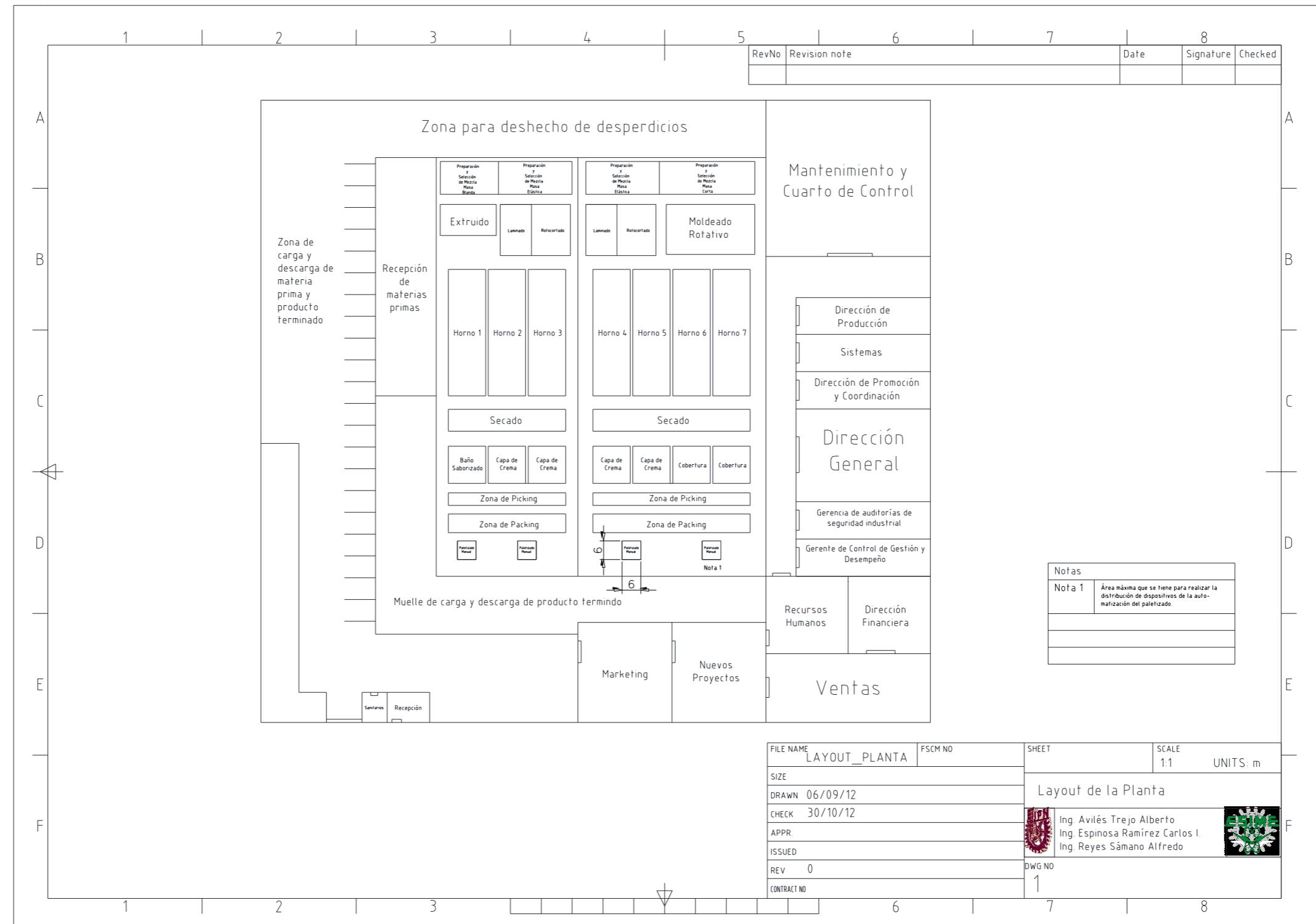
dicha zona, el robot reduce temporalmente su velocidad, a una que sea segura para la persona. Si el operador entra ala zona de detección, el robot se detendrá totalmente y el operador ya tiene el permiso para insertar la pieza de trabajo en la estación de alimentación. El robot permanece apagado hasta que el robot haya abandonado completamente la zona de peligro y en consecuencia opera el botón de iluminación en reconocimiento.

Tabla B comparativa con dos marcas que fabrican este equipo, SICK® y Pilz®.

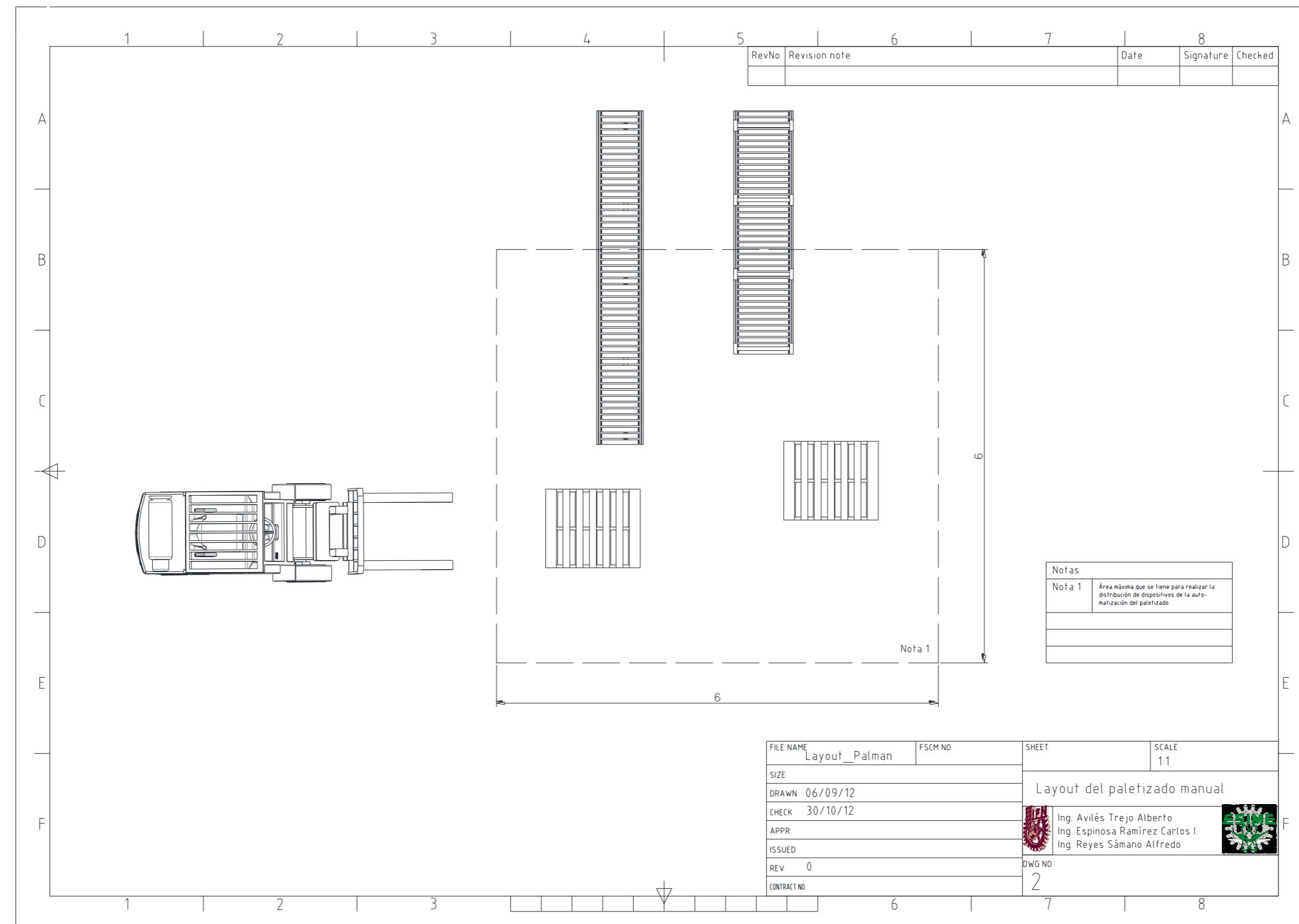
Marca	SICK	OMRON	Allen-Bradley
<b>Modelo</b>	S30A-7011BA	OSC32C	422L
<b>Rango de campo de protección</b>	7 m	3 m	5m
<b>Angulo de escaneo</b>	190°	270°	190°
<b>Conjunto de campos</b>	2 campos de protección 1 campo de advertencia	2 campos de protección 1 campo de advertencia	2 campos de protección 1 campo de advertencia
<b>Tamaño</b>	155 mm x 185 mm x 160 mm	133.0 x 104.5 x 142.7 mm	185.0 x 155 x 160 mm
<b>Rango de campo máximo de advertencia</b>	49m	10m	10m
<b>Tensión de alimentación</b>	16.8 VCD, 24VCD, 28.8VCD	24 VCD	24 VCD
<b>Protocolo de comunicación</b>	RS-422	Ethernet	RS-232
<b>Grado de protección</b>	IP65	IP65	IP65
<b>Precio unitario</b>			6166.16 USD



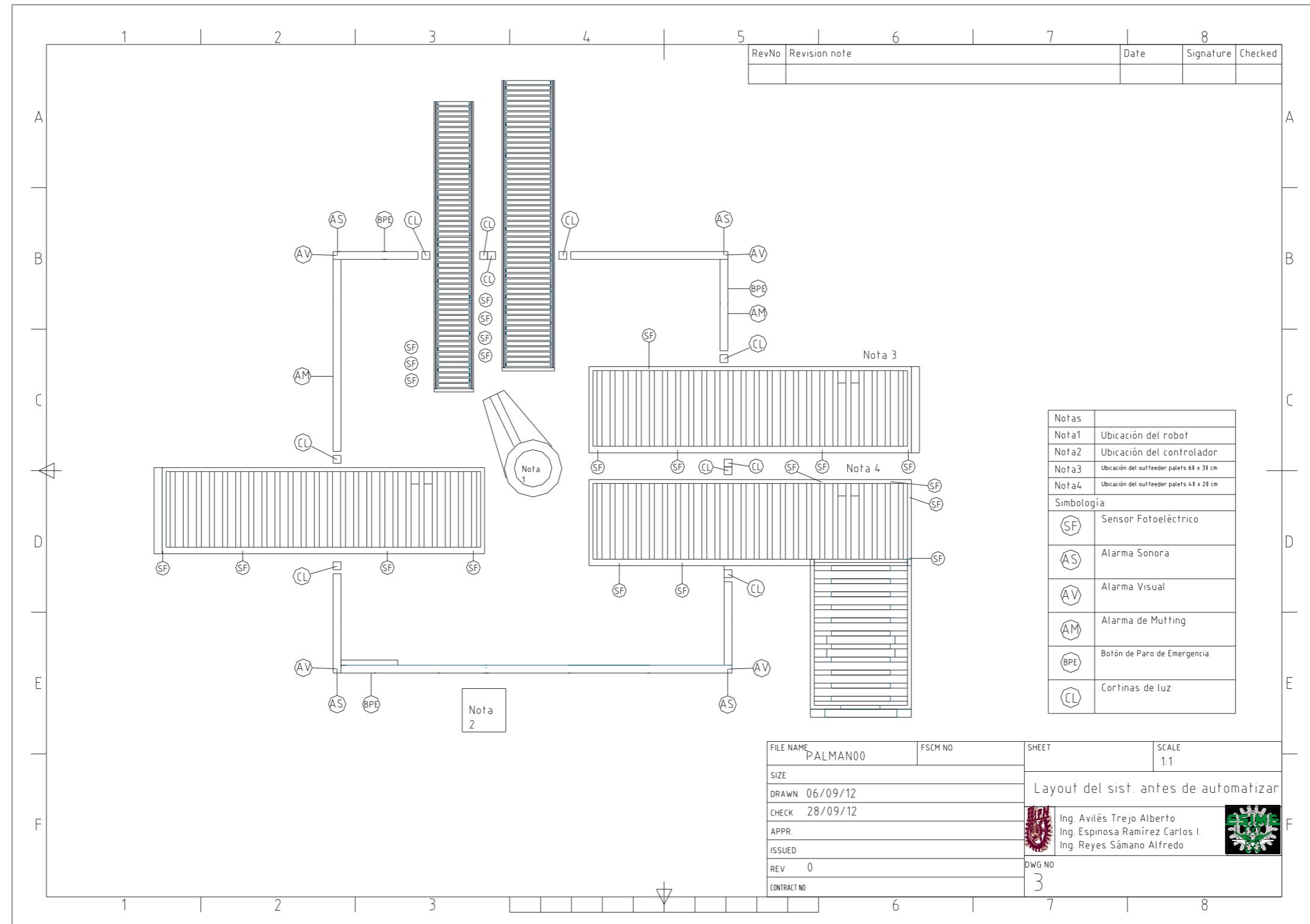
## Anexo A - Layouts



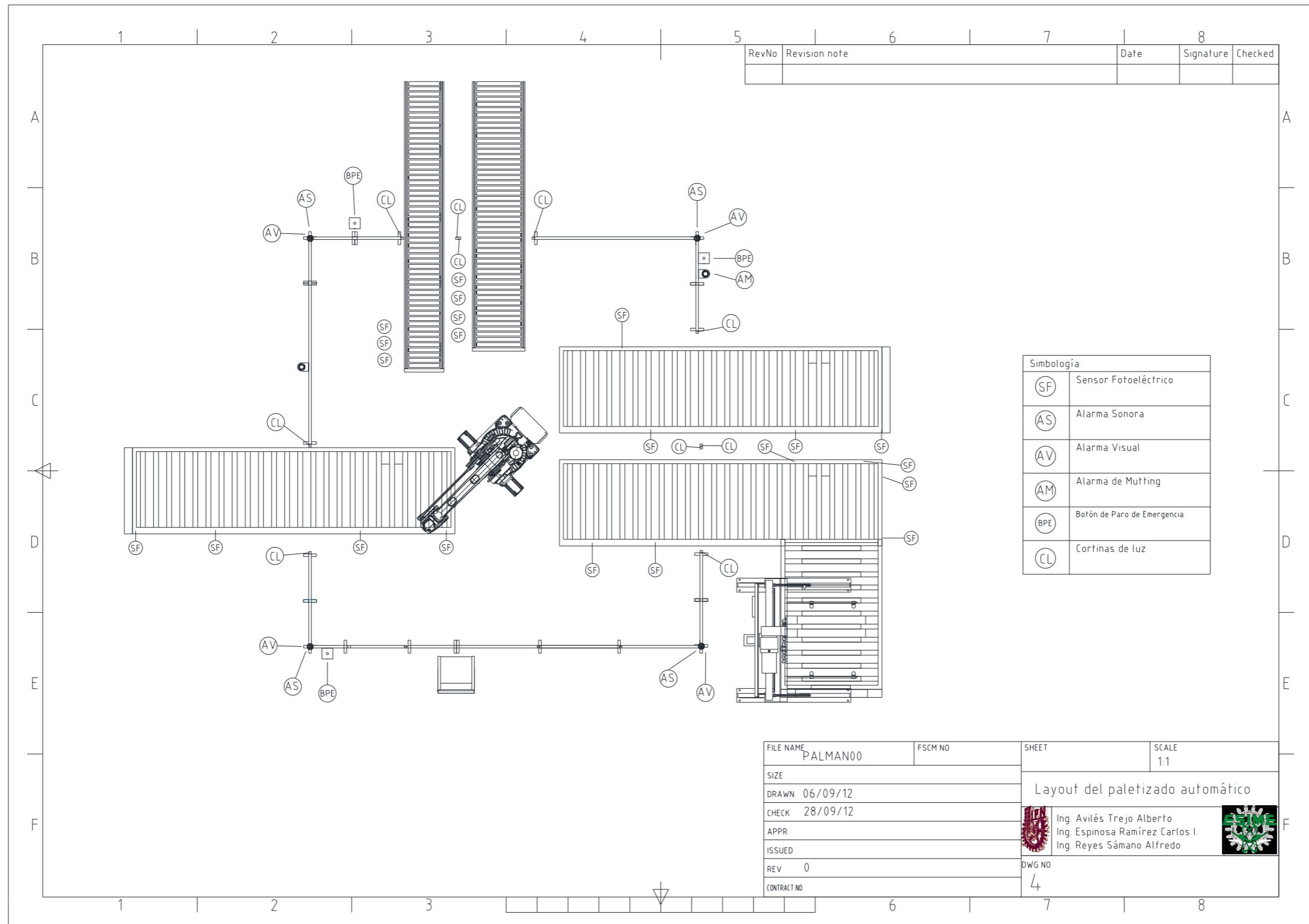
Plano A. 1: Layout de la planta de elaboración de galletas.



Plano A. 2: Layout del espacio con que se cuenta para realizar la automatización del paletizado.



Propuesta de Layout del paletizado, antes de automatizar



Layout del paletizado automático

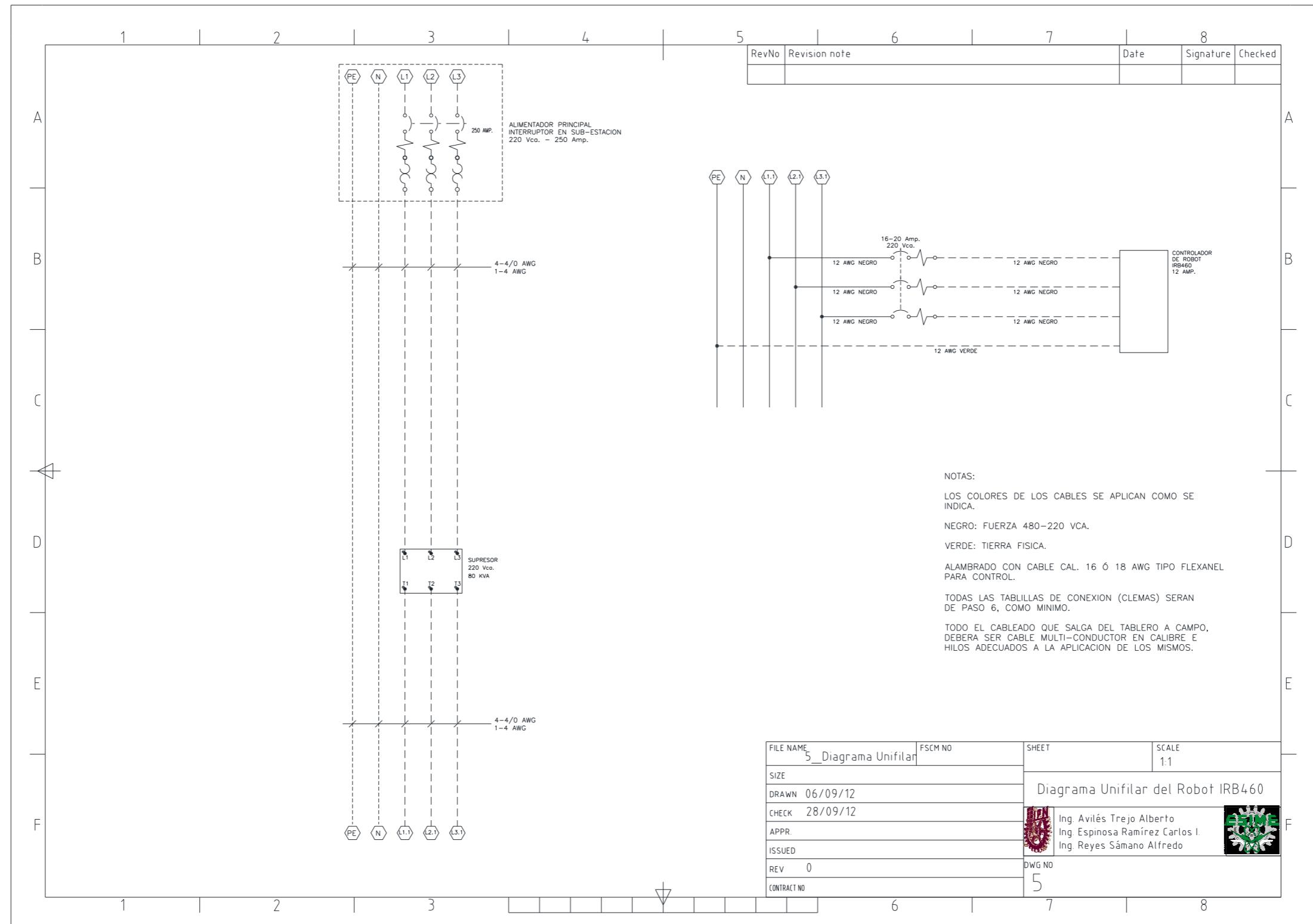


Diagrama unifilar para alimentación del Robot IRB460®.



## Anexo B – Hojas de Datos Técnicas y Cotizaciones

### IRB 460

#### Main applications

Palletizing, depalletizing, material handling

#### Specification

Handling capacity	110 kg
Reach	2.40 m
Number of axes	4
Protection	IP67
Mounting	Floor
IRC5 controller variants	Single cabinet
Integrated power signal supply	Optional
Integrated air supply	Optional

#### Physical

Dimensions robot base	1007 x 720 mm
Robot weight	925 kg

#### Performance (according to ISO 9283)

Position repeatability (RP)	0.20 mm
Path repeatability (RT)	0.11 mm

#### Movement

Axis movements	Working range	Maximum speed
Axis 1	+165° to -165°	145°/s
Axis 2	+85° to -40°	110°/s
Axis 3	+120° to -20°	120°/s
Axis 4*	+300° to -300°	400°/s

\* +150 rev. to - 150 rev. max

#### Electrical connections

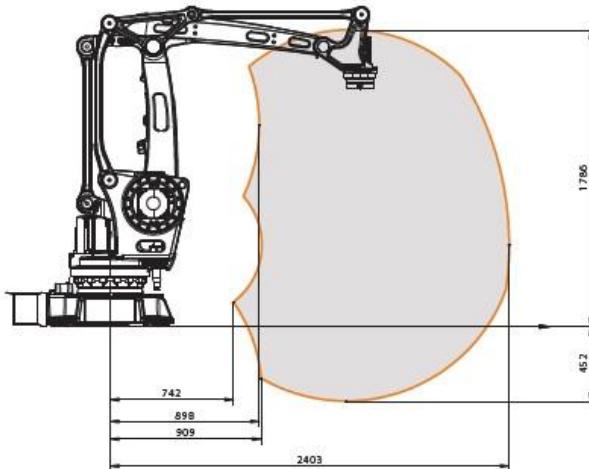
Supply voltage	200-600 V, 50-60 Hz
Power consumption	ISO cube 3.67 kW

#### Environment

Ambient temperature for mechanical unit:	
During operation	+- 0°C (32°F) to + 45°C (113°F)
During transportation and storage	- 25°C (- 13°F) to + 55°C (131°F)
For short periods (max 24h)	up to + 70°C (158°F)
Relative humidity	Max. 95%
Noise level	< 70 dB (A)
Safety	Double circuits with supervisions, emergency stops and safety functions, 3-position enabling device
Emission	EMC/EMI shielded

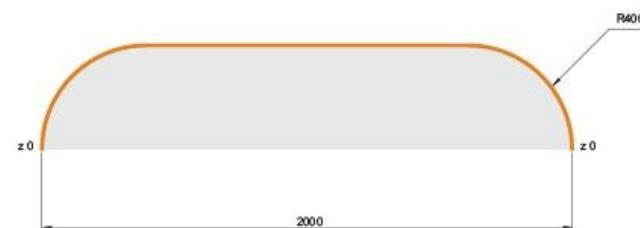
Data and dimensions may be changed without notice

#### Working range



#### Cycles per hour

Load	Cycles per hour
60 kg	2190
110 kg	2040



Standard palletizing cycle



## FlexGripper - Vacuum

### Highlighted features

- 10 separated controlled vacuum zones.
- Sensors to verify presence / absence of cases.
- Adjustable vacuum rails for different case sizes.
- Handles up to 5 products at one time.
- Built-in pallet gripper as an option.
- Robot mounting plate for IRB 460 and IRB 660 included.
- Completely assembled with hoses and cables and ready to plug and play.
- Graphical User Interface (GUI) provided on robot FlexPendant for easy gripper setup, tuning, and production monitoring.

### Main applications

Case palletizing

### Specification

Handled products	1-5
Max. weight per lift	40 kg
Gripper weight	75 kg

Maximum product size (LxWxH) 1200 x 500 x 300 mm

Minimum product size (LxWxH) 240 x 240 x 100 mm

Number of zones 10

Cable rotation range +/- 180°

Air pressure 4-6 bar

Handled pallet types GMA/AUS/EUR/ISO

### Remarks

1. The products to be lifted with the vacuum gripper must have a dense and smooth surface, and a rigid structure (e.g. cardboard case) on which the vacuum cups can grip.
2. Due to variations in size, weight, design, surface, rigidity, porosity and centre of gravity, an example of the type of product to be palletized should always be sent to LPG Robots and Applications in order to secure functionality.





## IRC5

Specification			User Interfaces continued
Control hardware:	Multi-processor system PCI bus Pentium® CPU Flash disk for mass memory Energy back-up power failure handling USB memory interface	Maintenance:	Status LEDs Diagnostic software Recovery procedures Logging with time stamp Remote Service enabled
Control software:	Object-oriented design High-level RAPID programming language Portable, open, expandable PC-DOS file format RobotWare software products Preloaded software, also available on DVD	Safety	Basis: Safety and emergency stops 2-channel safety circuits with supervision 3-position enabling device
<b>Electrical Connections</b>			Electronic Position Switches: 5 safe outputs monitoring axis 1-7
Supply voltage:	3 phase 200-600 V, 50-60 Hz Integrated transformer or direct mains connection  1 phase 220/230 V, 50-60 Hz (for Compact Controller only)	SafeMove:	Supervision of stand-still, speed, position and orientation (robot and additional axes)  8 safe inputs for function activation, 8 safe monitoring outputs
<b>Physical</b>			<b>Machine Interfaces</b>
Single cabinet	970 x 725 x 710 mm	Weight	Inputs/outputs: Up to 8192 signals
Dual cabinet	1370 x 725 x 710 mm		Digital: 24V DC or relay signals
Control module	720 x 725 x 710 mm	50 kg	Analogue: 2 x 0-10V, 3 x ±10V, 1 x 4-20mA
Drive module	720 x 725 x 710 mm	130 kg	Serial channel: 1 x RS 232/RS 422 with adapter
Empty cabinet for customer equipment	- small 720 x 725 x 710 mm - large 970 x 725 x 710 mm	35 kg 42 kg	Network: Ethernet(10/100 Mbits per second)
Panel Mounted *)			Two channels: Service and LAN
Control module	375 x 498 x 271 mm	12 kg	Fieldbus Master: DeviceNet™ PROFINET PROFIBUS DP
Drive module small *)	375 x 498 x 299 mm	24 kg	Ethernet/IP™
Drive module large *)	658 x 498 x 425 mm	40 kg	Fieldbus Slave: DeviceNet™ PROFINET PROFIBUS DP
Compact controller **)	258 x 450 x 580 mm	27.5 kg	Ethernet/IP™ Allen-Bradley Remote I/O CC-link
*) IRB 140, 340, 1600, 260			
**) IRB 2400, 2600, 4400, 4600, 6620, 6640, 6650, 7600, 660, 760			
**) IRB 120, 140, 260, 360, 1410, 1600			
<b>Environment</b>			
Ambient temperature:	0-45°C (32-113°F) option 0-52°C (32-125°F)		Conveyor encoder: Up to 8 channels
Relative humidity:	Max. 95% non condensing		Integrated PLC: AC500
Level of protection:	IP 54 (cooling ducts IP 33)		<b>Sensor Interfaces</b>
Fulfilment of regulations:	Panel Mounted and Compact IP 20 Machine directive 98/37/EC regulations Annex II B EN 60204-1:2006 ISO 10218-1:2006 ANSI/RIA R 15.06 - 1999 UL 1740-1998		Search stop with automatic program shift Seam/contour tracking Conveyor tracking Machine vision Force Control
Data and dimensions may be changed without notice.			
<b>User Interfaces</b>			
Control panel:	On cabinet or remote		
FlexPendant:	Weight 1 kg Graphical color touch screen Joystick Emergency stop Hot plug Support for right and left-handed operators USB Memory support		

© Copyright ABB Robotics, PR10258EN\_R13 September 2011.





## ML20 Series Long-Range Miniature Sensors

- Long-range miniature sensor
- Wide temperature rating
- Mode switch on housing bottom to prevent accidental change

### Photoelectric Sensors



#### Diffuse Mode

Specifications		Wide Beam		
SENSING RANGE	0-100 mm	0-100 mm	0-1 m	0-1 m
SENSITIVITY ADJUSTMENT	Yes	Yes	Yes	Yes
REFERENCE TARGET	100 x 100 mm white test card	100 x 100 mm white test card	300 x 300 mm white test card	300 x 300 mm white test card
MODEL NUMBER(S)	ML20-8-W-100/102/115 ML20-8-W-100/102/115b ML20-8-W-100/103/115	ML20-8-W-100/102/115 ML20-8-W-100/103/115b	ML20-8-1000/102/115 ML20-8-1000/102/115b ML20-8-1000/103/115	ML20-8-1000/102/115b ML20-8-1000/103/115b
OUTPUT: Transistor, Normally Open or Normally Closed	/102 /103	1 NPN 1 PNP	1 NPN 1 PNP	1 NPN 1 PNP
LOAD CURRENT	100 mA max.	100 mA max.	100 mA max.	100 mA max.
VOLTAGE DROP	≤ 3 VDC	≤ 3 VDC	≤ 3VDC	≤ 3 VDC
SHORT CIRCUIT AND OVERLOAD PROTECTION	Yes	Yes	Yes	Yes
REVERSE POLARITY PROTECTION	Yes	Yes	Yes	Yes
SUPPLY VOLTAGE	10-30 VDC	10-30 VDC	10-30 VDC	10-30 VDC
VOLTAGE RIPPLE	10%	10%	10%	10%
LED(s)	Yes (2)*	Yes (2)*	Yes (2)*	Yes (2)*
CURRENT CONSUMPTION	≤ 16 mA	≤ 16 mA	≤ 20 mA	≤ 20 mA
OPERATING MODE	Light on/dark on	Light on/dark on	Light on/dark on	Light on/dark on
RESPONSE TIME	≤ 0.5 ms	≤ 0.5 ms	≤ 0.5 ms	≤ 0.5 ms
SWITCHING FREQUENCY	1 kHz	1 kHz	1 kHz	1 kHz
PROTECTION (IEC)	IP67	IP67	IP67	IP67
LIGHT SOURCE	Infrared LED	Infrared LED	Infrared LED	Infrared LED
AMBIENT LIGHT RESISTANCE	≤ 40,000 lux (sunlight) ≤ 10,000 lux (incandescent)	≤ 40,000 lux (sunlight) ≤ 10,000 lux (incandescent)	≤ 40,000 lux (sunlight) ≤ 10,000 lux (incandescent)	≤ 40,000 lux (sunlight) ≤ 10,000 lux (incandescent)
TEMPERATURE RANGE	WORKING -22 °F to +140 °F	STORAGE -40 °F to +158 °F	WORKING -22 °F to +140 °F	STORAGE -40 °F to +158 °F
HOUSING MATERIAL	PBT	PBT	PBT	PBT
LENS	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA
WEIGHT	1.9 oz	1.0 oz	1.9 oz	1.0 oz
APPROVALS	 	 	 	 
ELECTRICAL CONNECTION	2-meter cable, PVC covered, 3-conductor, #24 AWG	300 mm pigtail, PVC covered, quick disconnect type V1	2-meter cable, PVC covered, 3-conductor, #24 AWG	300 mm pigtail, PVC covered, quick disconnect type V1
ADDITIONAL DATA	<i>See pages 490-492</i>			

\*See dimensional drawings for LED functions.

⚡ Stocked item

• Typical delivery 4 weeks or less  
Consult factory for all other models

Sensor Fotoeléctrico.



## SAO Series Liquid Ring Compressor



# TRAVAINI

PRESSURE RANGE : 30 to 150 PSIG  
CAPACITY : 38 to 106 CFM

FEATURES : Double acting liquid ring compressor providing oil free clean air. No internal lubrication required, air is free from carbon and teflon particles, no filter required, clean incoming air is scrubbed with water removing most dust particles; No reciprocating pistons and valves which reduces maintenance. Low vibration and low noise level, low starting torque; Re-greasable bearings

SHAFT SEALING  
OPTIONS  
ACCESSORIES

: Mechanical seal  
: Bareshaft compressor - Coupled to electric motor on baseplate - Mating flanges  
: (Optional) Intake silencer , discharge Air-liquid separator tank, non-return valve, pressure relief valve, pressure gauge; Piped service liquid line with isolating valve, Y-strainer, 1/60/120 solenoid valve, back-flow preventer, flow switch, regulating valve and compound gauge



### TECHNICAL DATA

PUMP TYPE		SAOE3U		SAOG2D		SAOG2G	
Speed	RPM	2900	3500	2900	3500	2900	3500
Motor - installed power	HP	20	25	25	30	30	40
Avg. service liquid flow	GPM	4.0	4.5	4.5	6.5	7.0	8
Noise level at 80 PSIG	dB(A)	65	67	68	70	68	70
Max. discharge pressure	PSIG	155	155	155	155	155	155

Standard Materials of Construction **							
Part No.	Description	GH	RA	A3			
106	Suction casing	Cast iron	Stainless steel AISI 316				
107	Discharge casing						
137	Port plate						
110	Impeller housing						
210	Shaft	Stainless steel AISI 420			Dimensions D = 60 mm G = 90 mm U = 46 mm		
357	Bearing housing	Cast iron					
230	Impeller	Bronze	Stainless steel AISI 316				

### MODEL DESIGNATION

SAO G 2 G / C - GH	
SA	Double acting liquid ring compressor
O	Design number
G	E = 32 mm diameter flange size - 1 1/4" G = 50 mm diameter flange size - 2"
2	2 = number of stages 3 =
G	D = 60 mm      Dimensions G = 90 mm      impeller U = 46 mm      1 <sup>st</sup> stage
C	Shaft sealing      C = Mechanical seal B = Packing seal
GH	Materials of construction (see table)

\*\*Special Materials Available Upon Request

-Request information on our fully engineered air compressor and vacuum systems  
-For further information please consult Premier Fluid Systems Inc.



**Premier Fluid Systems**  
Canadian Home Of Travaini Pumps

March/2002  
Page 11.4



# 36-CRRH

The Model 36-CRRH is a heavy-duty, chain driven roller conveyor. Its tough, rugged design allows it to provide service under demanding manufacturing operations. Use the 36-CRRH for conveying heavy pallets and drums.

## Heavy Duty Chain Driven Live Roller with Hex Shaft (Roll-to-Roll Type)

- 12 Bed Widths
- Center Drive
- Energy Efficient Motor - AC Variable Speed Controller
- Reversible
- Chain Driven Rollers
- Fixed HSF-Type Floor Supports Available

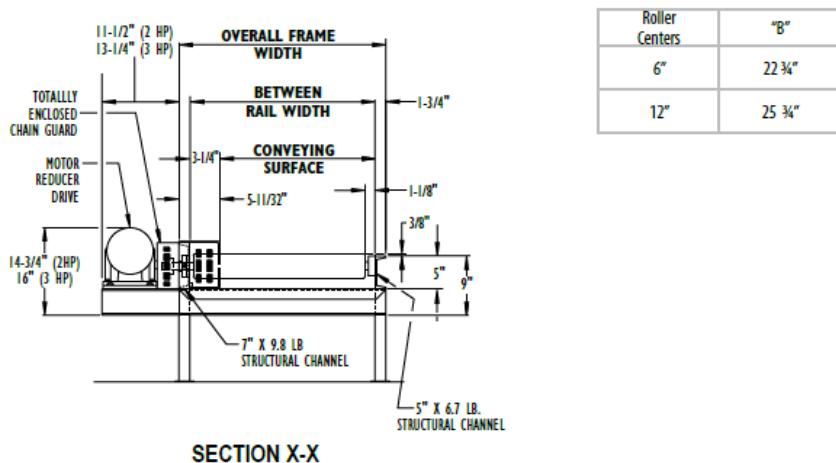
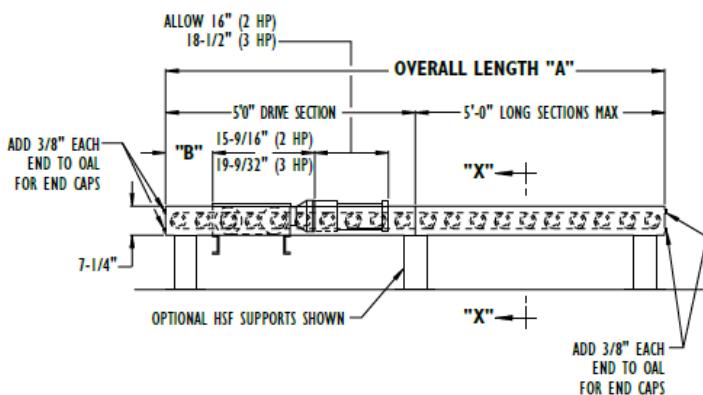


Conveyor shown with optional floor supports

SIZE TO ORDER Overall Length "A"	Conveying Surface	19 3/4"	21 3/4"	23 3/4"	27 3/4"	29 3/4"	33 3/4"	35 3/4"	41 3/4"	47 3/4"	53 3/4"	55 3/4"	63 3/4"	
		23"	25"	27"	31"	33"	37"	39"	45"	51"	57"	59"	67"	
10'	Overall Frame Width	26 27/32"	28 7/32"	30 27/32"	34 27/32"	36 27/32"	40 27/32"	42 27/32"	48 27/32"	54 27/32"	60 27/32"	62 27/32"	70 27/32"	
		6" R/C	1284	1336	1387	1490	1541	1644	1695	1849	2003	2157	2208	2412
10'	Per Foot	99	103	107	115	119	127	131	143	155	167	186	206	
		12" R/C	1044	1076	1108	1172	1204	1268	1300	1396	1492	1588	1620	1748
Per Foot		75	78	81	87	90	96	99	108	117	126	129	141	

All weights in catalog are conveyor weights only. Accessories, crating, etc., are not included.

HYTROL CONVEYOR COMPANY, INC.





## POC Type 4 Standard, Remote Teach & Cascadable Safety Light Curtains

### Description

#### Standard GuardShield

The Allen-Bradley Guardmaster GuardShield safety light curtain is an economical, fully featured, Type 4 safety light curtain in a uniquely styled housing. GuardShield safety light curtains are general-purpose presence sensing devices designed for use on hazardous machinery providing point of operation, as well as perimeter and access guarding. This self-contained, two-box, safety light curtain has DIP-switch selectable operating modes and is available in both 14 mm and 30 mm resolutions.

Modes of operation such as fixed and floating blanking, beam coding, start/restart interlock, external device monitoring (EDM), and machine test signal, are selected by DIP-switch settings. These DIP-switches are located beneath a security door, which are conveniently located on both the transmitter and receiver end caps.

The GuardShield's torsionally rigid, extruded aluminium, polyurethane powder-coated housing, combined with an environmental rating of IP65, allows the GuardShield to be used in guarding applications across a broad range of industries.



### Specifications

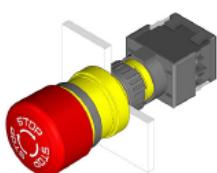
Safety Ratings	
Standards	IEC/EN 61496 Parts 1 & 2, UL 61496 Parts 1 & 2, UL 1998
Safety Classification	Type 4 per IEC/EN61496. Category 4 device per EN 954-1, SIL 3 per IEC 61508, PLe per EN/ISO 13849, EN/IEC 61496-1, -2, UL 61496-1, -2, UL 1998
Certifications	cULus, UL 61496, UL 1998, TÜV, and CE Marked for all applicable directives
Power Supply	
Input Power, Max.	24V DC ±20%
Maximum Residual Ripple	0.05 %ss
Power Consumption	0.4 A max (no load)
Outputs	
Safety Outputs	2 OSSD, 0.5 A, short-circuit protected
Non-Safety Outputs	Auxiliary output, 0.5 A max.
Output Voltage, Min.	(Uv) - 2V
Switching Current @ Voltage, Min.	500 mA @ 24V DC
Operating Characteristics	
Response Time	14 mm; 160 mm...1440 mm 20 ms, 1600 mm and 1760 mm, 25 ms. 30 mm; 20 ms. Add 10 ms when beam coding activated.
Status Indicators	ON State, OFF State, Blanking, Alignment, Interlock
Protected Height [mm (in.)]	See Product Selection tables.
Resolution [mm (in.)]	14 (0.55) or 30 (1.18)
Scanning Range/Resolution	0.3...7 m / 14 mm (0.98...22.9 ft / 0.55 in.) 0.3...16 m / 30 mm (0.98...52 ft / 1.18 in.)
Synchronization	Optical, first beam adjacent to LEDs.
Wavelength	870 nm
Environmental	
Enclosure Type Rating	IP65
Relative Humidity	15...95% (noncondensing)
Operating Temperature [C (F)]	-10...55° (14...131°)
Vibration	IEC60068-2-6: Frequency 10...55 Hz; Amplitude: 0.35 mm (0.01 in.)
Shock	IEC60068-2-29: Acceleration 10 g, pulse duration 16 ms 10...55 Hz
Physical Characteristics	
Mounting	End-cap brackets supplied
Weight	Varies by protective height
Housing Cross Section	40 mm x 50 mm (1.57 in. x 1.96 in.)
Connection Type	Transmitter: 4-pin M12 micro QD; Receiver: 8-pin M12 micro QD
Cable Length	30 m (100 ft) max.



## EAO – Your Expert Partner for **Human Machine Interfaces**

61-3440.4/2 - Emergency-stop switch actuator, foolproof EN IEC 60947-5-5

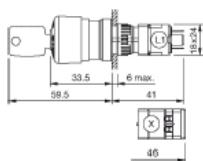
61-3440.4/2 - Emergency-stop switch actuator,  
foolproof EN IEC 60947-5-5



*Attention: The preview is based on a sample product. This can differ from your current configuration.*

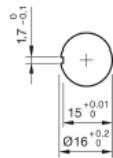
<b>Mounting</b>	
Mounting cut-out	Ø 16 mm
Design	raised
<b>Front</b>	
Front shape	round
Front dimension	Ø 27 mm
<b>Other Attributes</b>	
Marking	Stop + Arrows
Weight	0.02 kg
<b>Operating-/Indication part</b>	
Lens material	Plastic
Lens colour	red
Lens profile	Mushroom
<b>IP-Rating</b>	
Front protection	IP 65
<b>Actuator</b>	
Switching action	C
<b>Function</b>	
Emergency stop switch	

## Dimensions



L1 = Solder terminal 2.8 x 0.5 mm

## Mounting cut-outs



## Wiring diagram



Stand: 29.11.2012

## Botón de paro

eao



Dominion Industrial S.A. de C.V. COTIZACION No. 67269

MOSTRADOR

00000  
.MX

Atención a: PRUEBA  
Tel: \_\_\_\_\_  
Fax: \_\_\_\_\_

Cant	Número de artículo	Descripción	Precio Unit	Desc	Precio tras descuento	Importe	Tiempo de entrega
7	RLK28-55/31/116 SENSOR OPTICO SUPRESIVO	SENSOR PEPPERL + FUCHS	154.25 USD	1C %	138.83 USD	971.81 USD	5-10 DIAS
7	REF-H85-2 REFLECTOR CUADRADO 84.5 X 84.5 MM	REFLECTOR PEPPERL + FUCHS	17.14 USD	1C %	15.43 USD	108.01 USD	5-10 DIAS
7	CODIGO SAP INTERNO Photoelectric Sensors modelo ML20-54/103115.prf	CODIGO SAP INTERNO	77.13 USD	1C %	69.42 USD	485.94 USD	5-10 DIAS
Condiciones de pago: CONTADO MAT. SOBRE PEDIDO NO HAY DEVOLUCION NI CANCELACION						Subtotal	1,565.76 USD
						Fletes	
						Subtotal	1,565.76 USD
						Impuesto	250.52 USD
						Total	1,816.28 USD
						AURORA PEREZ HUERTA Ejecutivo de Ventas	

UN MIL OCHOCIENTOS DIECISEIS Dólares 28/100 USD



Cotización Sensor Fotoeléctrico.



RISOUL Y CIA., S.A. DE C.V.  
SUC. MEXICO  
Av. Tocatlí No. 323 - 3  
Col. Fracc. Ind. San Antonio  
Delegación Alcapotzalco  
Mexico, D.F. C.P.02760  
entre Av. Tezozomoc y calle Centeotl.  
Tel. (55) 5354-4100 con 20 líneas

## Cotización

Fecha	Folio
21/Sep/2012	MEX-199500

Cliente	M-11460	Observaciones	Referencia	AB
CALFER DE MÉXICO, S. A. DE C. V PONIENTE 134 No. 404 COL. NUEVA INDUSTRIAL VALLEJO MÉXICO, D.F. MÉXICO, 07750	CONTADO  PRECIOS EN DÓLARES MAS I.V.A.  SE REQUIERE 100% ANTICIPO.  EL TIEMPO DE ENTREGA CORRE A PARTIR DEL PAGO EN FIRME, SALVO BRADLEY	Atención a:  Condiciones  Forma Envío  Libre a Bordo  Vendedor	CONTADO  SU CONDUCTO  SU PLANTA  JOSUE RICARDO SEGURA	

Part.	Código	Descripción	UM	Cant	Precio	Total	Disponible	Tiempo de Entrega
1	46707	440L-P4K0960YD. JUEGO DE CORTINAS DE LUZ GUARDSHIELD DE 960 MM (37.8") DE ALTURA 30 MM DE RESOLUCIÓN MCA ALLEN BRADLEY	PIEZA	1	\$3,395.7000	\$3,395.70	0	2 Semana(s)

No se aceptan devoluciones sin la autorización de la compañía.  
En devoluciones autorizadas cargaremos el 30% por manejo de material.

**Total Dolares** \$3,395.70

### Observación

Precios + 16% de IVA  
Precios y condiciones sujetos a cambio sin previo aviso  
Tiempo de entrega válido salvo previa venta.

**Risoul y Cía S.A. de C.V.**

JOSUE RICARDO SEGURA  
josue.segura@risoul.com.mx

Fecha de Impresión : 21/09/2012

Hora: 9:13:00 AM

Página 1 de 1

Cotización Cortinas de Luz Allen-Bradley.



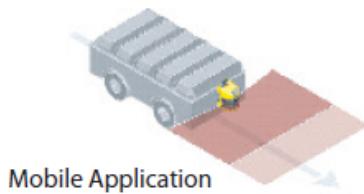
## Ordering Information

Images	Catalog Number	Description
	442L-SFZNSZ	<ul style="list-style-type: none"><li>• SafeZone Singlezone safety laser scanner</li><li>• 4 meter safety field range, single field set</li></ul>
	442L-CSFZNMZ-X	<ul style="list-style-type: none"><li>• Prewired memory module with 10 or 20 meter cable</li><li>• X is -10 or -20</li></ul>
	442L-ACRS232 442L-ACRS232-8	<ul style="list-style-type: none"><li>• RS232 Programming cable 2 meters</li><li>• RS232 Programming cable 10 meters</li></ul>
	442L-AMBSFZNMZ1	<ul style="list-style-type: none"><li>• SafeZone Mounting Bracket 1 for mounting the back of the scanner to a solid surface without adjustment</li></ul>
	442L-AMBSFZNMZ2	<ul style="list-style-type: none"><li>• SafeZone Mounting Bracket 2, for +/- 4 degrees of adjustability, requires bracket 1</li></ul>
	442L-AMBSFZNMZ3	<ul style="list-style-type: none"><li>• SafeZone Mounting Bracket 3, used for floor mounting, requires brackets 1 and 2</li></ul>

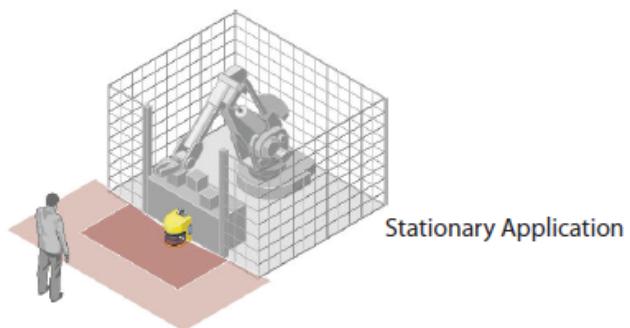
A complete SafeZone Singlezone system consists of the Singlezone scan head with I/O module, (442L-SFZNSZ) and a prewired memory module with either a 10 meter or 20 meter cable. Also required is an RS232 programming cable.

Mounting brackets are available, however the brackets are inter related so that bracket 1 is required if bracket 2 is to be used and brackets 1 and 2 are required if bracket 3 is to be used.

**The SafeZone Singlezone is a flexible presence sensing safety laser scanner that is easily programmed using the Safety and Diagnostic software.**



Mobile Application



Stationary Application

Allen-Bradley, Guardmaster and SafeZone are trademarks of Rockwell Automation, Inc.



AUTOMATIZACION+ EQUIPO ELECTRICO

RISOUL Y CIA., S.A. DE C.V.  
SUC. MEXICO  
Av. Tochtili No. 323 - 3  
Col. Fracc. Ind. San Antonio  
Delegación Acapotzalco  
Mexico, D.F. C.P.02760  
entre Av. Tezozomoc y calle Centeotl.  
Tel. (55) 5364-4100 con 20 líneas

## Cotización

Fecha	Folio
27/Sep/2012	MEX-200526

Cliente	4444	Observaciones		Referencia	AB			
ACA Automation Ing. Alberto Avilés Trejo Jefe de Proyectos ing.alberto.aviles@gmail.com Cel. 5544615065		CONTADO PRECIOS EN DOLARES MAS I.V.A. SE REQUIERE 100% ANTICIPO. EL TIEMPO DE ENTREGA CORRE A		Atención a:	ALBERTO AVILES			
Part.	Código	Descripción	UM	Cant	Precio	Total	Disponible	Tiempo de Entrega
1	86606	442L-AMBSFZNMZ3. KIT 3, SOPORTE MULTIZONA DE MONTAJE PARA SCANNER, REQUIERE KIT 1 Y 2 MCA ALLEN BRADLEY	PIEZA	1	\$237.1600	\$237.16	0	2 Semana(s)
2	106172	442L-SFZNMZW. VENTANA FRONTAL DE REMPLAZO PARA ESCANER LASER DE SEGURIDAD MCA ALLEN BRADLEY	PIEZA	1	\$115.3460	\$115.35	0	2 Semana(s)
3	68384	442L-SFZNMZ. ESCANER LASER DE SEGURIDAD CON MODULO DE ENTRADAS/SALIDAS, MULTIZONA MCA ALLEN BRADLEY	PIEZA	1	\$6,166.1600	\$6,166.16	0	4 Semana(s)

No se aceptan devoluciones sin la autorización de la compañía.  
En devoluciones autorizadas cargaremos el 30% por manejo de material.

**Total Dolares** \$6,518.67

### Observación

Precios + 16% de IVA  
Precios y condiciones sujetos a cambio sin previo aviso  
Tiempo de entrega válido salvo previa venta.

**Risoul y Cía S.A. de C.V.**  
JOSUE RICARDO SEGURA  
josue.segura@risoul.com.mx

Fecha de Impresion : 27/09/2012

Hora: 5:39:25 PM

Página 1 de 1

Cotización Scanner de Seguridad SafeZone®.



07/02/12

Relación de preguntas para realizar propuesta de Robots para aplicación de Paletizado en la planta del Cliente.

Questions relation for to do the proposal of The Robots in Palletize application.

Ing. De Ventas (ABB®)/ Account M. (ABB®):

Fecha/Date:

Datos del cliente/Data's client:

Cliente/Client:

Dirección/Address:

Nombre del Proyecto/Name of the Project:

Contactos/Contacts:

Teléfono/Phone:

Celular/Movil:

e-mail:

Preguntas/Questions

1. ¿Cual es la producción requerida por año?

What is the annual production capacity required to design the system for current needs?

Cajas por day/Cases per day.

\_\_\_\_\_

Cajas por min./Cases per min.

\_\_\_\_\_

2. Esta producción es neta (después de reparaciones, equipo en reparaciones etc.) o gruesa marque la casilla apropiada

Is this annual production capacity “net” (after repairs downtime, equipment set-up) or “gross”? (circle appropriate)



Gross                          or                          Net

**3. ¿Este sistema para este proyecto requiere considerar expansión a futuro o no?**

Is the system required to be expandable for future production capacity?

R.

A.

**4. ¿Cuantos días trabajan al año?**

How many days per year will the facility be operational?

Días por año/days/year  
\_\_\_\_\_

**5. ¿Cuántos turnos trabajan al día?**

How many shifts will the plant operate at day?

Turnos por día/shifts  
\_\_\_\_\_

**6. ¿Cuántas horas trabajan por día?**

How many hours per day will the facility be operational?

Horas por día/Hours/day  
\_\_\_\_\_

**7. ¿Cuál el tipo (s) de caja que producen en la planta indicar en su caso número de productos?**

Which is the part (s) that Customer produces?

R.

A.

**8. ¿Cuál es la (s) dimensiones exteriores de la cajas Largo, Ancho y Alto?**

Which is the dimension (s) of the cases L, W & H?



R.

A.

**9. ¿Cuál es el peso (s) de las cajas?**

Which is the weight of the case (s)?

R.

A.

**10. Comentarios de cliente / Client's comments**

**11. Requerimientos de información/ information required**

- Anexar dibujo en AutoCAD® 2007 del área donde se instalara el sistema vistas de planta y elevación.
- Anexar tipos de amarres del pale tizado.
- Anexar dimensiones de pallet (s).

Nota:

1. Las cajas pueden ser sacos, botellas, sobres, botes, etc. de un sistema de pale tizado..

**Cuestionario C. 1: Información básica requerida de un sistema de paletizado manual, para la correcta selección de un robot ABB®**



## Anexo C – Norma ANSI/RIA R15.06-1999

En este anexo usted podrá encontrar extractos de la norma ANSI/RIA R15.06-1999 para simple consulta y que se utilizarán a lo largo de los capítulos del trabajo.

### 1.1 Alcance

Esta norma de seguridad aplica para los requerimientos de manufactura, re-manufactura, reconstrucción, instalación, protección, mantenimiento, prueba, puesta en marcha y entrenamiento para los robots industriales y sistemas robóticos.

#### 1.3.3 Nuevos sistemas robóticos y celdas de manufactura.

Los requerimientos de este estándar deberán aplicar a todos los robots nuevos o celdas de manufactura dentro de los 36 meses después de la aprobación de este estándar.

### 1.4 Exclusiones

Este estándar aplica a robots industriales y sistemas de robots industriales únicamente. Ejemplos de aplicaciones donde no se utilicen robots industriales, pero no limitado a, son: robots espaciales y submarinos, robots tele-operados, manipuladores, prótesis y otros dispositivos para personas con diferentes capacidades, micro-robots (con desplazamientos de <1 mm/s), robots autónomos móviles, robots para cirugía y servicio médico.

### 6.1 Especificaciones de instalación

Los robots o sistemas robóticos deberán ser instalados de acuerdo con las especificaciones del fabricante del robot.



### 6.3 Localización del control

Controles y equipo que requieren acceso durante la operación automática, deberán ser localizados fuera del espacio salvaguardado para que la persona que use los actuadores de control deba estar fuera del espacio salvaguardado. La localización de los controles del robot y equipo deberán ser construidos para poder ver la restricción del espacio cuando aplique.

NOTA – Cuando los sistemas de robots son diseñados para dar una visibilidad clara del punto de operación o el área de trabajo, la probabilidad de que el equipo y la maquinaria sean operados mientras otra persona se encuentra en una posición de peligro es grandemente reducida. Esto no es un intento por disminuir la necesidad de un paro forzado pero es en lugar de reconocer que los daños podrían ocurrir cuando más de una persona esta trabajando cerca de la maquinaria.

### 6.5 Dispositivos limitadores

Cuando se utilicen, deberán establecer espacios restringidos para limitar los movimientos del robot. Los dispositivos de limitación no deberán causar riesgos adicionales en el espacio protegido.

Los dispositivos no mecánicos limitantes incluyen dispositivos tales como a: 1) topes mecánicos que se colocan eléctricamente, neumáticamente o hidráulicamente, 2) interruptores límite, 3) cortinas de luz, 4) dispositivos de láser de exploración y 5) cuando se utilizan cordones para limitar el recorrido del robot y definir el espacio restringido. Los dispositivos de límite no mecánicos que no detener físicamente el movimiento del robot se probará, después de la instalación, para determinar los límites del espacio restringido cuando el dispositivo se acciona. Las pruebas se efectuarán en la máxima velocidad y máximas condiciones de carga previstas con



la máxima extensión del brazo. Los dispositivos mecánicos de límite de control activo que físicamente detienen el movimiento del robot deberán ser diseñados para conocer el criterio de desarrollo de los topes mecánicos. El funcionamiento del circuito de control de los dispositivos de limitación no mecánicos deberá ser fiable (4.5.4) a menos que una evaluación del riesgo sea desarrollada la cual indique una menor exigencia. Métodos de ensayo y los resultados deben ser documentados.

Los dispositivos limitadores deben ajustados y luego de asegurados con sujetadores.

Cuando se usa un dispositivo de límite, un dispositivo no mecánico debe ser instalado con la consideración de dimensiones de la carga para la profundidad de penetración y la distancia de frenado.

#### 6.6 Identificación del espacio restringido

El espacio restringido debe de ser notablemente identificado.

#### 6.7 Espacio restringido dinámico

La lógica del robot puede ser tal que el espacio restringido es redefinido como el programa de tareas que el robot realiza.

#### 6.8 Espacio del sistema robótico

Los sistemas robóticos deben ser instalados para ofrecer los mínimos requerimientos de espacio como es especificado en 10.7.7 o 10.8.5. Los sistemas existentes deberán cumplir con la norma vigente en la fecha de instalación.



## 6.9 Requerimientos de alimentación

Todas las fuentes de energía que se suministran deberán cumplir las especificaciones de los fabricantes y las normas aplicables.

## 6.10 Puesta a tierra

La tierra eléctrica deberá ser proporcionada en conformidad con las especificaciones del fabricante y las normas aplicables.

## 6.12 Circuitos de paro del robot

Cada sistema robótico deberá tener un circuito de paro de emergencia y un circuito de paro por seguridad. Los circuitos de paro por seguridad (incluyendo el robot) deberán cumplir con el apartado 4.5.4 a menos que una evaluación de riesgos se lleva a cabo y otros criterios de operación sean determinados por el punto 9.5.

### 6.12.1 Paro de emergencia del robot

Este debe ser completamente compatible con NFPA 79, deberá anular todos los demás controles, detener el movimiento, quitar la unidad de alimentación de los actuadores del robot, y eliminar todas las demás fuentes de energía que puedan representar un riesgo.

### 6.12.2 Ubicación del sistema de paro de emergencia del robot

Cada sistema de la estación de trabajo de operación del robot y cualquier sitio desde donde pueda ser controlado el movimiento, deberán estar provistos de un fácil acceso y el dispositivo de paro de emergencia sin obstrucciones.



### 6.12.3 Diseño del dispositivo de paro de emergencia del robot

Los push-buttons que activan al sistema de paro de emergencia serán:

- De color rojo con un fondo amarillo
- Sin vigilancia
- Tipo palma o cabeza de hongo
- Del tipo que requieran reseteo manual
- Instalado de tal forma que resetear al botón no podrá iniciar un reset.

### 6.12.4 Función del paro de emergencia de a celda de trabajo del robot

- a) Los botones tipo cabeza de hongo o palma no deberán ser usados para alguna otra función, excepto paro.
- b) Siguiendo un paro de emergencia, el restablecimiento automático de la operación requerirá una acción deliberada para seguir un determinado procedimiento de arranque fuera del espacio protegido.
- c) Si los espacios restringidos de dos o más robots se superponen o si dos o mas robots son accesibles dentro de una celda de trabajo sin salvaguarda entre ellos, un circuito de paro de emergencia común deberá detener los robots y los riesgos dentro de la celda de trabajo.
- d) Cualquier dispositivo de paro que no detenga a todos los dispositivos en una área protegida común deberá ser claramente etiquetado como un paro local e indicar a qué equipo esta deteniendo.

### 6.12.5 Paros de emergencia



Cuando el robot esté en modo automático, el paro de seguridad causará un paro de todo el movimiento peligroso del robot, remover la fuente de alimentación de los actuadores y hacer cesar todos los demás riesgos. Este paro puede ser iniciado manualmente o por control lógico. Un circuito separado del paro de emergencia deberá ser utilizado para paros de emergencia iniciados por el controlador de la máquina o dispositivos de protección los cuales señalan un paro.

**NOTA** - Este tipo de paros permiten un paro ordenado que retiene la lógica del programa para resolver problemas y facilitar un restablecimiento. La energía podría ser restablecida para pequeños componentes como robots, montacargas, manipuladores, conveyor, etc.

#### 6.13 Apagado de equipo asociado

El robot deberá ser instalado de manera que el apagado (*shutdown*) de equipo asociado no deba resultar en un riesgo.

#### 6.14 Efectos de la perdida o cambio de la fuente del gripper o de la herramienta

Los grippers o herramientas deberán ser diseñados o construidos de tal forma que una perdida o cambio de alimentación eléctrica, neumática, hidráulica o de vacío no resulte en un riesgo, si esto no es factible, entonces otros métodos de salvaguarda deberán ser provistos para la proteger contra riesgos.

### 9. Seguridad del personal- Método de evaluación de riesgos

Cuando sea requerido por la cláusula 7.5 para nuevas instalaciones, una evaluación de riesgos se llevará a cabo. La evaluación del riesgo deberá tener en cuenta la etapa de desarrollo, el uso previsto del robot y los sistemas del robot, anticipando las habilidades y capacitación de los trabajadores, la exposición adicional a riesgos y procesos. Un número de metodologías están disponibles para hacer una evaluación de riesgos. Cualquier método



es aceptable el cual prescribe la protección equivalente o más estricta que los requisitos de esta cláusula.

### 9.1 Requerimientos

- La evaluación de riesgo se llevará a cabo por el usuario o el integrador a la hora de que el robot y los sistemas del robot inicien para determinar los requerimientos mínimos de seguridad y para desarrollar una estrategia de seguridad global (Fig. C.1).
- Adicionalmente la evaluación de riesgos deberá ser desarrollada por el usuario sobre la instalación y configuración final y otra vez cada vez que la configuración del sistema cambie. El usuario deberá mantener la documentación de la evaluación del riesgo más reciente (s).
- El primer paso de una evaluación de riesgos asumirá ningún tipo de seguridad se ha instalado e incluyen:
  - Identificación de tareas por 9.2;
  - Estimación de riesgos por 9.3;
- El segundo paso de una evaluación de riesgos deberá seleccionar la seguridad basado en los requerimientos de 9.4 y 9.5.
- El tercer paso de una evaluación de riesgos es para asumir que la seguridad está instalada y validar la selección (9.6).

### 9.2 Tareas e identificación de riesgos

- Describir la aplicación o el proceso y una definición de los límites asociados con su uso.
- Identificar todas las tareas razonablemente previsibles asociadas con el robot y con los sistemas del robot y con la etapa de desarrollo.



- Identificar riesgos asociados con cada tarea, excepto lo requerimientos especiales asociados con la enseñanza (ref. 10.7.4)

### 9.3 Estimación de riesgos

Para cada tarea y combinación de riesgos, determinar el nivel de riesgo utilizando severidad, la exposición y la prevención según la tabla 1. Dónde múltiples criterios se puedan aplicar, utilice los criterios más restrictivos.

Factor	Categoría		Criterio
Severidad	S2	Lesiones graves	Normalmente irreversible, o fatal, o requiere más que primeros auxilios tal como se define en OSHA § 1904.12
	S1	Lesiones leves	Normalmente reversible, o sólo requiere de primeros auxilios tal como se define en OSHA § 1904.12
Exposición	E2	Exposición frecuente	Normalmente, la exposición al peligro más de una vez por hora (ver nota abajo).
	E1	Exposición no frecuente	Normalmente, la exposición al peligro menos de una vez por día o turno (ver nota abajo)
Prevención	A2	No es probable	No se puede mover fuera del camino, o un tiempo de reacción inadecuado, o una velocidad del robot superior a 250 mm / seg
	A1	Probable	Se puede mover fuera del camino, o el tiempo de advertencia / reacción es suficiente, o la velocidad del robot de menos de 250 mm / seg

Tabla 1-Riesgo de gravedad / Exposición / Prevención Categorías

NOTA – La exposición puede ser afectada por algún cambio en la frecuencia en la tarea que es realizada o por la aplicación de la categoría R2 referida a la protección de reducción de daños o aplicaciones de secuencias de cierre para el control de peligro removiendo la fuente de energía que reduce la exposición al peligro. Determinando la frecuencia de acceso puede requerir



juicios o decisiones por la persona, realizando las valoraciones de riesgo. El rango de acceso puede ir desde la producción cíclica a las tareas de mantenimiento asociadas al mantenimiento preventivo. Cuando se determinan las debidas protecciones, debería de ser notado que las lesiones graves han resultado por tareas poco frecuentes.

#### 9.4 Determinación de la reducción de riesgo

Se usa el criterio de prevención, severidad y exposición para cada tarea y la combinación de peligros obtenidos de la tabla 1, ir a la tabla 2 para determinar la categoría de la reducción de riesgos.

Severidad de lesiones	Exposición		Prevención	Categoría de reducción de riesgos
<b>S2</b> Lesiones serias Más que primeros auxilios	<b>E2</b>	Exposición frecuente	<b>A2</b> probable	<b>R1</b>
			<b>A1</b> no probable	<b>R2A</b>
	<b>E1</b>	Exposición no frecuente	<b>A2</b> probable	<b>R2B</b>
			<b>A1</b> no probable	<b>R2B</b>
<b>S1</b> Lesiones ligeras Primeros auxilios	<b>E2</b>	Exposición frecuente	<b>A2</b> probable	<b>R2C</b>
			<b>A1</b> no probable	<b>R3A</b>
	<b>E1</b>	Exposición no frecuente	<b>A2</b> probable	<b>R3B</b>
			<b>A1</b> no probable	<b>R4</b>

Tabla 2-Riesgo matriz de decisión para salvaguardar la reducción previa de selección de protecciones

#### 9.5 Selección de la seguridad

Usando la categoría de reducción de riesgos determinada por la tabla 2. Se sigue a través de la tabla 3 para determinar el mínimo de requisitos de rendimiento de seguridad y desarrollo del



círculo. Cuando el asistente de verificación de programa (APV) se va a utilizar, la selección de la seguridad deberá ser según la requerida en 10.8.

CATEGORÍA	RENDIMIENTO DE SEGURIDAD	RENDIMIENTO DEL CIRCUITO
<b>R1</b>	Eliminación de riesgos o sustitución de riesgos (9.5.1)	Control fiable (4.5.4)
<b>R2A</b>	Controles de ingeniería previene el acceso a los riesgos o detiene a los riesgos (9.5.2), por ejemplo barrera de seguridad, cortinas de luz, alfombras de seguridad, u otros dispositivos de detección de presencia (10.4)	Control fiable (4.5.4)
<b>R2B</b>		De un solo canal con un seguimiento (4.5.3)
<b>R2C</b>		De solo un canal (4.5.2)
<b>R3A</b>	Barreras no bloqueadas, espacio, procedimientos y equipo (9.5.3).	Canal simple (4.5.2)
<b>R3B</b>		Simple (4.5.1)
<b>R4</b>	Medio de conciencia (9.5.4)	Simple (4.5.1)

Tabla 3- Matriz de selección de seguridad

#### 9.5.1 Categoría R1, reducción de riesgos

La reducción de riesgos se deberá lograr por la eliminación del peligro o por la sustitución del peligro, lo cual no crea un peligro igual o más grande. Cuando la eliminación o la sustitución de peligro no son posibles, todas las disposiciones de la categoría de reducción de riesgo R2 deberán aplicar y las disposiciones de las categorías R3 y R4 serán usadas para la seguridad de riesgos residuales.

#### 9.5.2 Categoría R2, reducción de riesgos



La seguridad deberá ser por medios que prevendrán el acceso al peligro, o hacer que el peligro cese. Las deposiciones de la categoría R3 y R4 podrán ser usadas para la seguridad de los riesgos residuales.

#### 9.5.3 Categoría R3, reducción de riesgos

La protección, por lo menos, deberá de

#### 9.5.4 Categoría R4, reducción de riesgos

La protección, por lo menos, deberá ser por medios administrativos, medios de conciencia incluyendo advertencias audio-visuales y capacitación.

### 9.6 Validación de la selección

Una vez que la seguridad fue seleccionada basada en los requerimientos de la tabla 3 e instalada en acuerdo con la clausula 10, el proceso en 9.2 y 9.3 debe ser repetido para identificar si cada riesgo detectado ha sido protegido tal que el remanente de riego es tolerable. Se revalúan los criterios de severidad, de prevención, y de exposición para cada tarea y combinación de riesgo usando la tabla 1. Después se sigue la tabla 4 para determinar la categoría de reducción de riesgo. Se aplica la seguridad adicional apropiada al control de los riegos residuales. Si la categoría de reducción de riesgo es ahora la R3 o una R4, la reducción de riesgo para la tarea y la combinación de riegos esta completa. Si la categoría de reducción de riesgos no es una R3 o a R4, se debe instalar la seguridad a adecuada y repetir éste paso.



EXPOSICION	PREVENCION	SEVERIDAD DE LAS HERIDAS	CATEGORIA DE REDUCCION DE RIESGOS
E2 Exposición frecuente	A2 No probable	S2 heridas serias	R1
		S1 heridas no graves	R2C
	A1 Probable	S2 heridas serias	R2A
		S1 heridas no graves	R3A
E1 Exposición no frecuente	A2 No probable	S2 heridas serias	R2B
		S1 heridas no graves	R3A
	A1 Probable	S2 heridas serias	R3B
		S1 heridas no graves	R4

Tabla 4- Matriz de validación de la selección de la seguridad con la seguridad instalada

Anexo A de la norma

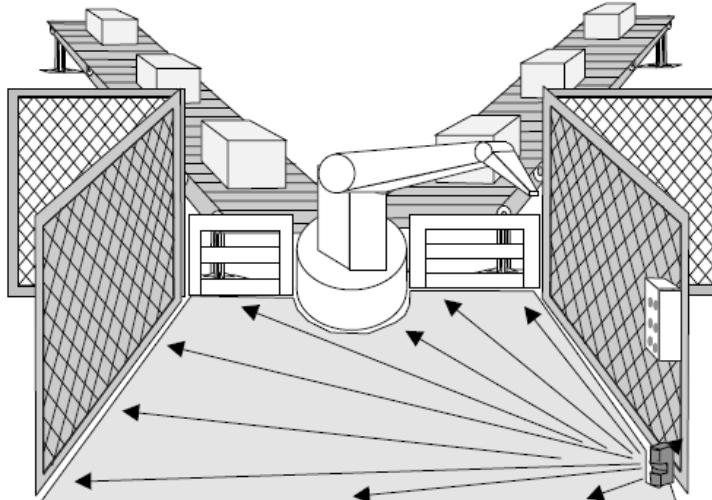


Fig. A.3 - Acceso al área de seguridad con escáner de proximidad de seguridad. Los dispositivos deberán ser utilizados para monitorear áreas no visibles desde el punto de restablecimiento del sistema.



## Anexo D – Código RAPID de la simulación

```
MODULE Module1
    VAR num i:=2;
    VAR num j:=0;

    CONST robtarget Target_10:=[[850.700075859,-
408.689474083,806.097242704],[0,0.227050653,0.97388295,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9
E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_30:=[[-
299.997351728,200.002177705,200.002009614],[-0.000000012,-
0.707106575,0.707106987,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_20:=[[-
299.999700831,200.000334919,0.000009614],[-0.000000012,-
0.707106618,0.707106945,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_50:=[[-
449.496577632,590.394807163,367.132471364],[0,0.000000637,1,0],[-2,0,-
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_40:=[[-880.777426446,626.195968417,-
651.834178142],[1,0,0,0.000000122],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_100:=[[-299.997810806,600.003901285,-
199.999834158],[0.707106184,0,0,-
0.707107379],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget
Target_60:=[[3142.82987837,2671.390514693,1264.353743228],[0,0.000002292,1,0],
[-1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_110:=[[-289.997279105,200.003593681,-
199.999834158],[0.707107269,0,0,-
0.707106293],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_70:=[[-
290.00000021,199.99999696,0],[0.707106782,0,0,-
0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_120:=[[-799.999455484,900.00295142,-
199.999834158],[1,0,0,0.000000071],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_80:=[[-
800.000000944,899.999999161,0],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,
9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_OCA:=[[-
499.995982684,200.003263201,200.0000281],[-0.000000012,-
0.707106557,0.707107005,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_OC:=[[-
499.997365766,200.002288022,0.000048462],[-0.000000012,-
0.707106575,0.707106987,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_130:=[[-799.999164733,500.002893287,-
199.999834158],[1,0,0,-0.000000122],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_90:=[[-799.999999915,499.999999161,0],[1,0,0,-
0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_30_4:=[[-
299.997338257,200.002177869,616.942009614],[-0.000000012,-
0.707106575,0.707106987,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
    CONST robtarget Target_20_3:=[[-
299.999700831,200.000334919,0.000009614],[-0.000000012,-
0.707106618,0.707106945,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
```



```
CONST robtarget Target_50_3:=[[-299.998810347,1000.002872962,-  
827.999834158],[0.707107144,0,0,-  
0.707106419],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_3:=[[-300.000001049,999.999999685,-  
500],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_100_3:=[[-299.997810806,600.003901285,-  
827.999834158],[0.707106184,0,0,-  
0.707107379],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_60_3:=[[-300.000000629,599.999999685,-  
500],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_110_3:=[[-289.997279105,200.003593681,-  
827.999834158],[0.707107269,0,0,-  
0.707106293],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_70_3:=[[-290.00000021,199.999999696,-  
500],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_120_3:=[[-799.999455484,900.00295142,-  
827.999834158],[1,0,0,0.000000071],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_80_3:=[[-800.000000944,899.999999161,-  
500],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_130_3:=[[-799.999164733,500.002893287,-  
827.999834158],[1,0,0,-0.000000122],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_90_3:=[[-799.999999915,499.999999161,-  
500],[1,0,0,-0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_290:=[[-200.000000849,899.99999979,-  
450],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_280:=[[-200.000000849,899.99999979,-  
250],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_310:=[[-200.00000062,499.99999979,-  
450],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_300:=[[-200.00000062,499.99999979,-  
250],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_330:=[[-700.000001049,999.999999266,-  
450],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_320:=[[-700.000001049,999.999999266,-  
250],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_350:=[[-700.000000629,599.999999266,-  
450],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_340:=[[-700.000000629,599.999999266,-  
250],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_370:=[[-700.00000021,199.999999266,-  
450],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_360:=[[-700.00000021,199.999999266,-  
250],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_90_2_1:=[[-300.000002238,299.998585468,-  
199.999997128],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_2_1:=[[-300,300,0],[1,0,0,0],[-1,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_100_2_1:=[[-  
899.999295171,299.99857308,340.64942359],[0,0.707106978,-0.707106584,0],[-  
2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_2_1:=[[-899.999679907,300,0],[0,-  
0.707106781,0.707106781,0],[-2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
```



```
CONST robtarget Target_110_2_1:=[[-  
599.999211833, 899.998764153, 340.64942359], [0, -0.70710661, 0.707106952, 0], [-  
2, 0, -2, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_60_2_1:=[[-600, 900, 0], [0, -  
0.707106781, 0.707106781, 0], [-2, 0, -2, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_130_2_1:=[[-  
299.999383263, 599.99869501, 339.999955674], [0, 1, 0.000000154, 0], [-2, 0, -  
3, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_80_2_1:=[[-300, 600, 0], [0, 1, 0, 0], [-2, 0, -  
3, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_50_1:=[[-299.998810347, 1000.002872962, -  
328.059834158], [0.707107144, 0, 0, -  
0.707106419], [0, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_40_1:=[[-  
300.000001049, 999.999999685, 0], [0.707106782, 0, 0, -  
0.707106781], [0, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_100_1:=[[-299.997810806, 600.003901285, -  
328.059834158], [0.707106184, 0, 0, -  
0.707107379], [0, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_60_1:=[[-  
300.000000629, 599.999999685, 0], [0.707106782, 0, 0, -  
0.707106781], [0, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_110_1:=[[-289.997279105, 200.003593681, -  
328.059834158], [0.707107269, 0, 0, -  
0.707106293], [0, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_70_1:=[[-  
290.00000021, 199.999999696, 0], [0.707106782, 0, 0, -  
0.707106781], [0, 0, 0, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_120_1:=[[-799.999455484, 900.00295142, -  
328.059834158], [1, 0, 0, 0.000000071], [0, 0, 1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_80_1:=[[-  
800.000000944, 899.999999161, 0], [1, 0, 0, 0.000000001], [0, 0, 1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_OCA_3:=[[-  
499.995982684, 200.003263201, 200.0000281], [-0.000000012, -  
0.707106557, 0.707107005, 0.000000011], [-1, 0, -1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_OC_3:=[[-  
499.997365766, 200.002288022, 0.000048462], [-0.000000012, -  
0.707106575, 0.707106987, 0.000000011], [-1, 0, -1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_130_1:=[[-799.999164733, 500.002893287, -  
328.059834158], [1, 0, 0, -0.000000122], [0, 0, 1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_90_1:=[[-799.999999915, 499.999999161, 0], [1, 0, 0, -  
0.000000001], [0, 0, 1, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_70_2_2:=[[-  
599.999999056, 900.000000629, 500], [0, 1, -0.000000001, 0], [-2, 0, -  
3, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_60_2_2:=[[-  
599.999999056, 900.000000629, 300], [0, 1, -0.000000001, 0], [-2, 0, -  
3, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_110_2_2:=[[-300.000319149, 900.000000315, 640], [0, -  
0.707106781, 0.707106782, 0], [-2, 0, -2, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];  
    CONST robtarget Target_100_2_2:=[[-300.000319149, 900.000000315, 300], [0, -  
0.707106781, 0.707106782, 0], [-2, 0, -2, 0], [9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9, 9E9]];
```



```
CONST robtarget Target_90_2_2:=[[0.000000315,300,640],[0,-0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_80_2_2:=[[0.000000315,300,300],[0,-0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_30_3:=[[-299.997351728,200.002177705,200.002009614],[-0.000000012,-0.707106575,0.707106987,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_120_2_1:=[[-299.999067312,899.998816645,200.000052155],[0,1,0.000000154,0],[-2,0,-3,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_70_2_1:=[[-300,900,0],[0,1,0,0],[-2,0,-3,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_50_2_2:=[[-599.99999371,600.000000629,640],[0,1,-0.000000001,0],[-2,0,-3,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_40_2_2:=[[-599.99999371,600.000000629,300],[0,1,-0.000000001,0],[-2,0,-3,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_290_2:=[[-200.000000849,899.99999979,-450],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_280_2:=[[-200.000000849,899.99999979,-250],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_310_2:=[[-200.00000062,499.99999979,-578],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_300_2:=[[-200.00000062,499.99999979,-250],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_330_2:=[[-700.000001049,999.999999266,-450],[0,707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_320_2:=[[-700.000001049,999.999999266,-250],[0,707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_350_2:=[[-700.000000629,599.999999266,-578],[0,707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_340_2:=[[-700.000000629,599.999999266,-250],[0,707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_370_2:=[[-700.00000021,199.999999266,-578],[0,707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_360_2:=[[-700.00000021,199.999999266,-250],[0,707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_20_4:=[[-299.999700831,200.000334919,0.000009614],[-0.000000012,-0.707106618,0.707106945,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_290_4:=[[-200.000000849,899.99999979,-1078],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_280_4:=[[-200.000000849,899.99999979,-750],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_OCA_4:=[[-499.995969213,200.003263365,616.942016075],[-0.000000012,-0.707106557,0.707107005,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_OCA_5:=[[-499.995961136,200.003263464,866.942016075],[-0.000000012,-0.707106557,0.707107005,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_OC_4:=[[-499.997365766,200.002288022,0.000048462],[-0.000000012,-0.707106575,0.707106987,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
```



```
CONST robtarget Target_310_4:=[[-200.00000062,499.99999979,-  
1078],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_300_4:=[[-200.00000062,499.99999979,-  
750],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_330_4:=[[-700.000001049,999.999999266,-  
1078],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_320_4:=[[-700.000001049,999.999999266,-  
750],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_350_4:=[[-700.000000629,599.999999266,-  
1078],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_340_4:=[[-700.000000629,599.999999266,-  
750],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_370_4:=[[-700.00000021,199.999999266,-  
1078],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_360_4:=[[-700.00000021,199.999999266,-  
750],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_30_5:=[[-  
299.996116559,200.003139104,866.941940347],[-0.000000012,-  
0.707106554,0.707107008,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_20_5:=[[-  
299.999700831,200.000334919,0.000009614],[-0.000000012,-  
0.707106618,0.707106945,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_5:=[[-299.998810347,1000.002872962,-  
1327.999834158],[0.707107144,0,0,-  
0.707106419],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_5:=[[-300.000001049,999.999999685,-  
1000],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_100_5:=[[-299.997810806,600.003901285,-  
1327.999834158],[0.707106184,0,0,-  
0.707107379],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_60_5:=[[-300.000000629,599.999999685,-  
1000],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_110_5:=[[-289.997279105,200.003593681,-  
1327.999834158],[0.707107269,0,0,-  
0.707106293],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_70_5:=[[-290.00000021,199.999999696,-  
1000],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_120_5:=[[-799.999455484,900.00295142,-  
1327.999834158],[1,0,0,0.000000071],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_80_5:=[[-800.000000944,899.999999161,-  
1000],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_OCA_6:=[[-  
499.995953059,200.003263562,1116.942016075],[-0.000000012,-  
0.707106557,0.707107005,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_OC_5:=[[-  
499.997365766,200.002288022,0.000048462],[-0.000000012,-  
0.707106575,0.707106987,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_130_5:=[[-799.999164733,500.002893287,-  
1327.999834158],[1,0,0,-0.000000122],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_90_5:=[[-799.9999999915,499.999999161,-  
1000],[1,0,0,-0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_30_6:=[[-  
299.997322103,200.002178066,1116.942009614],[-0.000000012,-  
0.707106575,0.707106987,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
```



```
CONST robtarget Target_30_6_2:=[[-  
299.997351728,200.002177705,200.002009614],[-0.000000012,-  
0.707106575,0.707106987,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_20_6:=[[-  
299.999700831,200.000334919,0.000009614],[-0.000000012,-  
0.707106618,0.707106945,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_290_6:=[[-200.00000849,899.99999979,-  
1450],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_280_6:=[[-200.00000849,899.99999979,-  
1250],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_OC_6_2:=[[-  
499.99625325,200.003289175,200.000088522],[-0.000000012,-  
0.707106558,0.707107004,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_OC_6:=[[-  
499.997365766,200.002288022,0.000048462],[-0.000000012,-  
0.707106575,0.707106987,0.000000011],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_310_6:=[[-200.00000062,499.99999979,-  
1450],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_300_6:=[[-200.00000062,499.99999979,-  
1250],[1,0,0,0.000000001],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_330_6:=[[-700.000001049,999.999999266,-  
1450],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_320_6:=[[-700.000001049,999.999999266,-  
1250],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_350_6:=[[-700.000000629,599.999999266,-  
1450],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_340_6:=[[-700.000000629,599.999999266,-  
1250],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_370_6:=[[-700.00000021,199.999999266,-  
1450],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_360_6:=[[-700.00000021,199.999999266,-  
1250],[0.707106782,0,0,-0.707106781],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_90_2C:=[[-300.000001952,299.998585468,-  
199.999997128],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_2C:=[[-300,300,0],[1,0,0,0],[-1,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_4C:=[[-300,0,0],[1,0,0,0],[-1,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_90_4C:=[[-300.000009152,-0.001414532,-  
199.999997128],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_D_3:=[[-900.000045148,799.997170501,-  
544.383403803],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_OC_2C:=[[-300.000002238,299.998585468,-  
544.383334627],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_2_3:=[[-599.999679593,300.000000629,940],[0,-  
0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_2_3:=[[-599.999679593,300.000000629,600],[0,-  
0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_70_2_3:=[[-899.999999056,900.000000944,940],[0,-  
0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_60_2_3:=[[-899.999999056,900.000000944,600],[0,-  
0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_OC_4C:=[[-299.999958468,-0.001506433,-  
544.383334627],[1,0,0,0.000000018],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
```



```
CONST robtarget Target_50_2_5:=[[-  
299.999999371,600.000000315,940],[0,0.000000001,1,0],[-2,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_2_5:=[[-  
299.999999371,600.000000315,600],[0,0.000000001,1,0],[-2,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_4C_55:=[[-300.000135289,-0.002936839,-  
844.383334627],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_90_4C_5:=[[-300.00009152,-0.001414532,-  
199.999997128],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_4C_5:=[[-300,0,0],[1,0,0,0],[-1,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_2_2_2:=[[-  
599.999999371,600.000000629,1240],[0,1,-0.000000001,0],[-2,0,-  
3,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_2_2_2:=[[-  
599.999999371,600.000000629,900],[0,1,-0.000000001,0],[-2,0,-  
3,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_2C_A_6_6:=[[-299.999995323,599.998585468,-  
844.383334627],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_90_2C_6_6:=[[-299.999994752,599.998585468,-  
199.999997128],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_2C_6_6:=[[-300,600,0],[1,0,0,0],[-1,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_90_2_2_6_6:=[[-  
299.99999685,300.000000424,1240],[0,-0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-  
2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_80_2_2_6_6:=[[-  
299.99999685,300.000000424,900],[0,-0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-  
2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_110_2_2_6_6:=[[-  
600.000319149,900.000000739,1240],[0,-0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-  
2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_100_2_2_6_6:=[[-  
600.000319149,900.000000739,900],[0,-0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-  
2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_OC_2C_6:=[[-300.00002238,299.998585468,-  
1044.383334627],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_90_2C_6:=[[-300.00001952,299.998585468,-  
199.999997128],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_2C_6:=[[-300,300,0],[1,0,0,0],[-1,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_2_3_6:=[[-  
599.999679593,300.000000629,1300],[0,-0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-  
2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_2_3_6:=[[-  
599.999679593,300.000000629,1200],[0,-0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-  
2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_70_2_3_6:=[[-  
899.999999056,900.000000944,1300],[0,-0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-  
2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_60_2_3_6:=[[-  
899.999999056,900.000000944,1200],[0,-0.707106781,0.707106782,0],[-2,0,-  
2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
```



```
CONST robtarget Target_40_2_C6:=[[-300.00031498,-0.004454605,-  
885.518570235],[1,0,0,-0.000000042],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_90_4C_2:=[[-300.00009152,-0.001414532,-  
199.999997128],[1,0,0,-0.000000012],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_4C_2:=[[-300,0,0],[1,0,0,0],[-1,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_2_5_2:=[-  
299.99999371,600.000000315,1300],[0,0.000000001,1,0],[-2,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_40_2_5_2:=[-  
299.99999371,600.000000315,1200],[0,0.000000001,1,0],[-2,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget P_Home:=[[850.700075859,-  
408.689474083,806.097242704],[0,0.227050653,0.97388295,0],[-  
1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_pf2_6:=[[-1618.607006457,500.005624918,-  
1450.000002081],[1,0,0,0.000000175],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_pf3_6:=[[-1607.397506231,1000.002987455,-  
1450.000006191],[0.707106511,0,0,-0.707107052],[0,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_pf4_6:=[[-1609.857222346,600.002922126,-  
1450.000000904],[0.707106479,0,0,-0.707107083],[0,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_pf5_6:=[[-1590.975827867,200.002715746,-  
1449.999996566],[0.707106468,0,0,-0.707107094],[0,0,-  
1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_50_pe2c_6:=[-  
599.997664386,899.999809723,1300.000026428],[0,0.707107273,-0.707106289,0],[-  
2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget  
Target_50gr4c_6:=[[63.767496416,897.373076279,1300.000032997],[0,0.000001144,1  
,0],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget  
Target_ag:=[[507.996866751,609.592919549,72.846074949],[0,-0.000000078,1,0],[-  
2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_pallet1:=[[-449.499680105,590.400002836,-  
227.154],[0,0,1,0],[-2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_pallet2:=[-  
501.999996651,600.400000207,177.154165842],[1,0,0,0],[-  
1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_ag_ar:=[[507.995594882,609.590219838,618.06],[0,-  
0.000000078,1,0],[-2,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
  
CONST robtarget Target_pallet2_ar:=[-501.998808207,600.402808395,-  
368.059834158],[1,0,0,0.00000022],[-1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
CONST robtarget Target_pallet1_ar:=[-  
449.496577632,590.394807163,318.06],[0,0.000000637,1,0],[-2,0,-  
2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];  
  
PROC main()  
  
Path_a;  
Path_1;  
Path_2;
```



```
Path_3;
Path_4;
Path_5;
Path_6;

ENDPROC

PROC Path_1()
    Reset cama1_p1;
    Reset cama1_p2;
    Reset cama1_p3;
    Reset cama1_p4;
    Reset cama1_p5;
    Reset cama2_p1;
    Reset cama2_p2;
    Reset cama2_p3;
    Reset cama2_p4;
    Reset cama2_p5;
    Reset cama3_p1;
    Reset cama3_p2;
    Reset cama3_p3;
    Reset cama3_p4;
    Reset cama3_p5;
    Reset cama4_p1;
    Reset cama4_p2;
    Reset cama4_p3;
    Reset cama4_p4;
    Reset cama4_p5;
    Reset cama5_p1;
    Reset cama5_p2;
    Reset cama5_p3;
    Reset cama5_p4;
    Reset cama5_p5;
    Reset cama6_p1;
    Reset cama6_p2;
    Reset cama6_p3;
    Reset cama6_p4;
    Reset cama6_p5;
    Reset Caja_60x30_bbb;
    Reset Caja_60x30_aaaa;
    Reset Caja_60x30_bbbb;
    Reset Caja_60x30_aaaaa;
    Reset Caja_60x30_bbbbb;
    Reset camal_4C_p2;
    Reset cama2_4C_p1;
    Reset cama3_4C_p2;
    Reset cama4_4C_p1;
    Reset cama5_4C_p2;
    Reset Caja_60x30_a;
    Reset Caja_60x30_b;
    Reset Caja_60x30_aa;
    Reset Caja_60x30_bb;
    Reset Caja_60x30_aaa;
    Reset do_Gripper_sucion;
```



```
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
Set RESET(CG2_a;
Reset RESET(CG2_a;
Set RESET(CG2_b;
Reset RESET(CG2_b;
Set RESET(CG_4C;
Reset RESET(CG_4C;
Reset g_suc_2c_a;
Reset g_suc_2c_b;
Reset g_suc_4c;
Reset Aparecer_2cg;
Reset Aparecer_4cg;
MoveJ P_Home,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=wobj0;
MoveJ Target_30,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_50_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_40_1,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set camal_p1;
MoveL Target_50_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_100_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_60_1,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set camal_p2;
MoveL Target_100_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set Aparecer_2cg;
MoveJ P_Home,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=wobj0;
MoveL Target_90_2C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_40_2C,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
Set g_suc_2c_a;
Set g_suc_2c_b;
MoveL Target_90_2C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveJ Target_100_2_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_50_2_1,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_2c_a;
Set Caja_60x30_a;
MoveL Target_100_2_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveJ Target_110_2_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_60_2_1,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_2c_b;
Set Caja_60x30_b;
MoveL Target_110_2_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
```



```
MoveL Target_20,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_110_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_70_1,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set camal_p3;
MoveL Target_110_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_120_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_80_1,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set camal_p4;
MoveL Target_120_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_OCA_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_OC_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_OCA_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_130_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_90_1,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set camal_p5;
MoveL Target_130_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
ENDPROC
PROC Path_2()
MoveJ Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_290_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_280_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama2_p1;
MoveL Target_290_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set Aparecer_4cg;
Set RESET_CG_4C;
Reset RESET_CG_4C;
MoveJ Target_90_4C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_40_4C,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
Set g_suc_4c;
MoveJ Target_90_4C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveJ Target_130_2_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_80_2_1,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_4c;
Set camal_4C_p2;
```



```
MoveL Target_130_2_1,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_OCA_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_OC_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_OCA_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_310_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_300_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama2_p2;
MoveL Target_310_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_330_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_320_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama2_p3;
MoveL Target_330_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_350_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_340_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama2_p4;
MoveL Target_350_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_370_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_360_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama2_p5;
MoveL Target_370_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CG_4C;
Reset RESET_CG_4C;
ENDPROC
PROC Path_3()
MoveL Target_40,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_90_4C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_40_4C,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
Set g_suc_4c;
MoveL Target_90_4C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
```



```
MoveL Target_50_2_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_40_2_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_4c;
Set cama2_4C_p1;
MoveL Target_50_2_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_50_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_40_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama3_p1;
MoveL Target_50_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_100_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_60_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama3_p2;
MoveL Target_100_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CG2_a;
Reset RESET_CG2_a;
Set RESET_CG2_b;
Reset RESET_CG2_b;
MoveJ P_Home,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=wobj0;
MoveL Target_90_2C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_40_2C,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
Set g_suc_2c_a;
Set g_suc_2c_b;
MoveL Target_90_2C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_90_2_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_80_2_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_2c_b;
Set Caja_60x30_aa;
MoveL Target_90_2_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_110_2_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_100_2_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_2c_a;
Set Caja_60x30_bb;
MoveL Target_110_2_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_110_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
```



```
MoveL Target_70_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_succión;
Set cama3_p3;
MoveL Target_110_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_succión;
MoveL Target_30_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_120_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_80_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_succión;
Set cama3_p4;
MoveL Target_120_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CG2_a;
Reset RESET_CG2_a;
Set RESET_CG2_b;
Reset RESET_CG2_b;
MoveL Target_40_D_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_40_OC_2C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_90_2C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_40_2C,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
Set g_suc_2c_a;
Set g_suc_2c_b;
MoveL Target_40_OC_2C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_50_2_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_40_2_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_2c_b;
Set Caja_60x30_aaa;
MoveL Target_50_2_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_70_2_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_60_2_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_2c_a;
Set Caja_60x30_bbb;
MoveL Target_70_2_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_OCA_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_OC_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_succión;
MoveL Target_OCA_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_130_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_90_3,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_succión;
Set cama3_p5;
MoveL Target_130_3,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
ENDPROC
PROC Path_4()
MoveJ Target_30_4,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_4,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
```



```
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_4,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_290_4,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_280_4,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama4_p1;
MoveL Target_290_4,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_OCA_4,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_OC_6_2,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_OC_4,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_OCA_4,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_310_4,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_300_4,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama4_p2;
MoveL Target_310_4,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30_4,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_4,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_4,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_330_4,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_320_4,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama4_p3;
MoveL Target_330_4,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CG_4C;
Reset RESET_CG_4C;
MoveL Target_40_OC_4C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_90_4C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_40_4C,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
Set g_suc_4c;
MoveL Target_40_OC_4C,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_50_2_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_40_2_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_4c;
Set cama3_4C_p2;
MoveL Target_50_2_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30_4,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_4,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_4,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_350_4,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_340_4,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama4_p4;
```



```
MoveL Target_350_4,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30_4,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_4,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_4,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_370_4,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_360_4,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama4_p5;
MoveL Target_370_4,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
ENDPROC
PROC Path_5()
    MoveJ Target_30_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_20_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    Set do_Gripper_sucion;
    MoveL Target_30_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveJ Target_50_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    MoveL Target_40_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    Reset do_Gripper_sucion;
    Set cama5_p1;
    MoveL Target_50_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    Set RESET_CC;
    Reset RESET_CC;
    MoveL Target_30_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_20_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    Set do_Gripper_sucion;
    MoveL Target_30_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveJ Target_100_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    MoveL Target_60_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    Reset do_Gripper_sucion;
    Set cama5_p2;
    MoveL Target_100_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    Set RESET_CG_4C;
    Reset RESET_CG_4C;
    MoveL Target_40_4C_55,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
    MoveL Target_90_4C_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
    MoveL Target_40_4C_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
    Set g_suc_4c;
    MoveL Target_40_4C_55,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
    MoveL Target_50_2_2_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
    MoveL Target_40_2_2_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
    Reset g_suc_4c;
    Set cama4_4C_p1;
    MoveL Target_50_2_2_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
    Set RESET_CC;
    Reset RESET_CC;
    MoveJ Target_30_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
```



```
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_110_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_70_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama5_p3;
MoveL Target_110_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_30,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_120_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_80_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama5_p4;
MoveL Target_120_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CG2_a;
Reset RESET_CG2_a;
Set RESET_CG2_b;
Reset RESET_CG2_b;
MoveL Target_40_2C_A_6_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_90_2C_6_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_40_2C_6_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
Set g_suc_2c_a;
Set g_suc_2c_b;
MoveL Target_40_2C_A_6_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_90_2_2_6_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_80_2_2_6_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_2c_b;
Set Caja_60x30_aaaa;
MoveL Target_90_2_2_6_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_110_2_2_6_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_100_2_2_6_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_2c_a;
Set Caja_60x30_bbbb;
MoveL Target_110_2_2_6_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_OCA_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_OCA_3,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_OC_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_OCA_5,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveJ Target_130_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_90_5,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama5_p5;
MoveL Target_130_5,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
```



```
    Reset RESET_CC;
ENDPROC
PROC Path_6()
    MoveJ Target_30_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_30_6_2,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_20_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    Set do_Gripper_sucion;
    MoveL Target_30_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveJ Target_290_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    MoveL Target_280_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    Reset do_Gripper_sucion;
    Set cama6_p1;
    MoveL Target_290_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    Set RESET_CG2_a;
    Reset RESET_CG2_a;
    Set RESET_CG2_b;
    Reset RESET_CG2_b;
    MoveL Target_40_OC_2C_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
    MoveL Target_90_2C_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
    MoveL Target_40_2C_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
    Set g_suc_2c_a;
    Set g_suc_2c_b;
    MoveL Target_40_OC_2C_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
    MoveL Target_50_2_3_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
    MoveL Target_40_2_3_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
    Reset g_suc_2c_b;
    Set Caja_60x30_aaaaa;
    MoveL Target_50_2_3_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
    MoveL Target_50_pe2c_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
    MoveL Target_70_2_3_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
    MoveL Target_60_2_3_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
    Reset g_suc_2c_a;
    Set Caja_60x30_bbbbb;
    MoveL Target_70_2_3_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
    Set RESET_CC;
    Reset RESET_CC;
    MoveJ Target_OCA_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_OC_6_2,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_OC_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    Set do_Gripper_sucion;
    MoveL Target_OCA_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_50_pf2_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    MoveL Target_310_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    MoveL Target_300_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    Reset do_Gripper_sucion;
    Set cama6_p2;
    MoveL Target_310_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
    Set RESET_CC;
    Reset RESET_CC;
    MoveJ Target_30_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_30_6_2,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    MoveL Target_20_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
    Set do_Gripper_sucion;
    MoveL Target_30_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
```



```
MoveL Target_50_pf3_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_330_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_320_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama6_p3;
MoveL Target_330_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_30_6_2,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_50_pf4_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_350_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_340_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama6_p4;
MoveL Target_350_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CC;
Reset RESET_CC;
MoveJ Target_30_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_30_6_2,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_20_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
Set do_Gripper_sucion;
MoveL Target_30_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_1;
MoveL Target_50_pf5_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_370_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveL Target_360_6,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset do_Gripper_sucion;
Set cama6_p5;
MoveL Target_370_6,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set RESET_CG_4C;
Reset RESET_CG_4C;
MoveJ Target_40_2_C6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_90_4C_2,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_40_4C_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
Set g_suc_4c;
MoveL Target_40_2_C6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_3;
MoveL Target_50gr4c_6,v4000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_50_2_5_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveL Target_40_2_5_2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset g_suc_4c;
Set cama5_4C_p2;
MoveL Target_50_2_5_2,v4000,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveJ P_Home,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=wobj0;
ENDPROC

PROC Path_a()
Reset PinzasC;
Reset TPallet_1;
Reset TPallet_2;
Set PinzasC;
Reset PinzasC;
```



```
MoveJ P_Home,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=wobj0;
MoveJ Target_ag_ar,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_5;
Set HomePose;
WaitTime i;
Reset HomePose;
MoveJ Target_ag,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_5;
Set TPallet_1;
Set Tomarpallet;
WaitTime i;
Reset Tomarpallet;
MoveJ Target_ag_ar,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_5;
MoveJ Target_pallet1_ar,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveJ Target_pallet1,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Reset TPallet_1;
Set Des_p1;
Set HomePose;
WaitTime i;
Reset HomePose;
MoveJ Target_pallet1_ar,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
Set PinzasC;
WaitTime i;
Reset PinzasC;
MoveJ Target_ag_ar,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_5;
Set HomePose;
WaitTime i;
Reset HomePose;
MoveJ Target_ag,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_5;
Set TPallet_2;
Set Tomarpallet;
WaitTime i;
Reset Tomarpallet;
MoveJ Target_ag_ar,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_5;
MoveJ Target_pallet1_ar,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_4;
MoveJ Target_60,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_5;
MoveJ Target_pallet2_ar,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
MoveJ Target_pallet2,v300,fine,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Reset TPallet_2;
Set HomePose;
WaitTime i;
Reset HomePose;
MoveJ Target_pallet2_ar,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=Workobject_2;
Set PinzasC;
WaitTime i;
Reset PinzasC;
MoveJ P_Home,v1000,z100,Tooldata_1\WObj:=wobj0;
ENDPROC
```

**ENDMODULE**



## Glosario

**Actuador:** Mecanismo usado para efectuar movimiento.

- a) Un mecanismo potencia que convierte la energía eléctrica, hidráulica o neumática para efectuar movimiento.
- b) Un mecanismo mecánico dentro de un dispositivo de control (por ejemplo, una varilla que abre los contactos).
- c) Un dispositivo (llave especializada, por ejemplo) que inicia una secuencia de (des)bloqueo.

**Barrera:** Medio físico que separa a las personas del peligro.

**Barrera de Percatación:** Medios físicos y visuales que advierten a una persona de un peligro presente o próximo.

**Cama:** Cada uno de los niveles de cajas que estarán contenidos en cada palet.

**Ciclo:** La sola ejecución de una tarea programada.

**Clasificación de seguridad:** Probado, evaluado y probado para que funcione de manera confiable y aceptable cuando se aplica en una función crítica para la salud y el bienestar del personal.

**Colimación:** Alineación correcta y precisa de una lente o espejo.

**Consola (*Pendant*):** Un dispositivo de mano conectado al sistema de control con el que un robot puede ser programado o movido. También se llama unidad de programación o consola de programación (*Teach Pendant*).



**Control de velocidad lenta:** Un modo de control de movimiento del robot donde se limita la velocidad a 250 mm / s (10 in / s) para permitir que las personas tengan tiempo suficiente para retirarse de cualquier movimiento peligroso o detener el robot.

**Conveyor:** Banda transportadora.

**Dispositivo de habilitación:** Un dispositivo de accionamiento manual que cuando se activa continuamente, permite el movimiento.

**Dispositivo de limitación:** Un dispositivo que restringe el espacio máximo al detener o hacer detener todo movimiento del robot, y es independiente del programa de control y los programas de tarea.

**Dispositivo de protección de detección de presencia:** Un dispositivo diseñado, fabricado e instalado para crear un campo de detección o área para detectar intrusión o presencia dentro de dicho campo o área por parte del personal, robots u otros objetos.

**Dispositivo de salvaguarda:** Un medio que detecta o impide el acceso a un peligro.

**Efecto final:** Un dispositivo accesorio o herramienta específicamente diseñada para su fijación a la muñeca del robot o en la placa de montaje de la herramienta para permitir que el robot realice su tarea prevista. (Ejemplos pueden incluir pinzas, pistola de soldadura por puntos, pistola para soldadura de arco, pistola de pintura, o cualquier otra herramienta de aplicación).

**Enclavamiento:** Un arreglo mediante el cual el funcionamiento de un control o mecanismo permite o impide el funcionamiento de otro.

**Envoltura:** El volumen tridimensional del espacio que abarcan los movimientos de todas las partes del robot.

**Eslabón:** cada uno de los elementos estructurales rígidos de los que consta un manipulador robótico.



**Espacio:** El volumen tridimensional que abarca los movimientos de todas las partes del robot a través de sus ejes

**Espacio de operación:** La parte del espacio restringido efectivamente utilizado por el robot en el desempeño de su programa de trabajo.

**Espacio máximo:** El volumen de espacio que abarca los movimientos máximos diseñados de todas las partes del robot, incluyendo el efecto final, la pieza de trabajo y los accesorios.

**Espacio protegido:** El espacio definido por el perímetro de los dispositivos de protección.

**Espacio restringido:** La porción máxima de espacio a la que está restringido un robot por los dispositivos de limitación. La distancia máxima que el robot, el efecto final, y la pieza de trabajo pueden viajar después que el dispositivo limitador se acciona, define los límites del espacio restringido del robot.

**Estibado:** Paletizado. Por lo general se utiliza este término al transportar cajas manualmente para su acomodamiento sobre tarimas.

**Evaluación del riesgo:** Una evaluación exhaustiva de las posibles lesiones o daños a la salud en una situación de riesgo con el fin de seleccionar las salvaguardas apropiadas.

**Flexibilidad:** Característica de un sistema de automatización, como lo es un robot o una maquina dedicada, en la cual, hay una adaptación por parte del sistema a nuevas necesidades requeridas.

**FlexController:** El armario del controlador de los robots se compone de un módulo de control y un módulo de accionamiento para cada manipulador de robot del sistema.

**FlexPendant (Unidad de programación, conectada al módulo de control):** Es la unidad de programación conectada al módulo de control. En este dispositivo se realiza la programación on-line.



**Flex Positioner:** Un segundo manipulador de robot que actúa como manipulador de posicionador. Se controla desde el mismo módulo de control que el manipulador de posicionador.

**Fuente de energía:** Cualquier tipo de alimentación eléctrica, mecánica, hidráulica, neumática, química, térmica, potencial, cinética o movimiento.

**Grado de libertad:** Los grados de libertad, también denominados DOF, por sus siglas en inglés (*Degree Of Freedom*), hacen referencia al número de movimientos independientes que se pueden realizar. En otras palabras, un grado de libertad es la capacidad de moverse a lo largo de un eje (movimiento lineal) o de rotar a lo largo de un eje (movimiento rotacional).

**Gripper:** Dispositivo que le permite al brazo robótico sostener o manipular objetos, este dispositivo puede ser un mecanismo especializado para sostener herramientas o piezas de formas determinadas.

**Herramienta estacionaria:** Un dispositivo que permanece en una posición fija. El manipulador de robot toma la pieza de trabajo y la acerca al dispositivo para hacer tareas concretas, como por ejemplo aplicar adhesivo, rectificar o soldar.

**Infeeder:** Banda transportadora de alimentación de cajas a la celda de paletizado.

**Instrucción:** Los comandos de código en sí que hacen que ocurra algo, por ejemplo el cambio de un dato a un valor determinado o un movimiento del robot. Las instrucciones sólo pueden ser creadas dentro de una rutina.

**Junta (*Joint*) ó Articulación:** Son los puntos por los cuales se encuentran conectados dos o más eslabones y que permiten el movimiento relativo entre ellos.

**Layout:** Distribución.

**Logística:** Es hacer que las cosas lleguen a donde necesitan estar.



**Logística Comercial:** Es la correcta administración de el flujo y almacenamiento de bienes, servicios e información desde el punto de origen hasta el punto de consumo para satisfacer las necesidades del cliente.

**Logística Integral:** es la administración y optimización de los flujos de materiales e información en la actividad productiva, es decir, de la coordinación de todos los procesos implicados en el movimiento de materiales a través de las diferentes responsabilidades funcionales de la empresa, desde el aprovisionamiento de los materiales necesarios para la producción, hasta la distribución del producto al cliente.

**Manipulador de robot:** Robot industrial.

**Modo automático:** El modo de funcionamiento en que el sistema de control opera de acuerdo con la tarea programada.

**Modo de enseñanza (Teach Mode):** El estado de control que permite la generación, el almacenamiento y la reproducción de los puntos de datos de posición mientras está bajo el control de velocidad lenta.

**Maestro (Teacher):** Una persona que proporciona al robot con un conjunto específico de instrucciones para llevar a cabo una tarea.

**Manipulador sobre track:** Soporte móvil que sostiene al manipulador de robot para dotarle de un área de trabajo más grande. Si el módulo de control controla el movimiento de un manipulador sobre track, se conoce como un “eje externo de track”.

**Manipulador de posicionador:** Un soporte móvil que suele sostener una pieza de trabajo o un útil. Si el módulo de control controla el movimiento de un manipulador de posicionador, se conoce como un “eje externo”.

**Módulo:** Conjunto de declaraciones de datos, seguido de un conjunto de rutinas. Los módulos pueden ser guardados, cargados y copiados en forma de archivos. Los módulos se dividen en módulos de programa y módulos de sistema.



**Módulo de control:** Sistema que contiene los componentes electrónicos que alimentan los motores de un manipulador.

**Movimiento coordinado:** Control en el que los ejes del robot llegan a sus puntos extremos respectivos simultáneamente, dando una apariencia uniforme al movimiento. Control en el que los movimientos de los ejes son tales que el punto central de la herramienta (TCP) se mueve a lo largo de una trayectoria prescrita (línea, círculo, u otro).

**Movimiento peligroso:** Cualquier movimiento que pueda causar daño físico.

**Operación automática:** El estado en el que el robot se encuentra ejecutando su tarea programada como pretende.

**Operador:** La persona designada para iniciar, supervisar y detener el funcionamiento previsto de un robot o un sistema robótico. El operador también puede interactuar con un robot para fines de producción.

**Outfeeder:** Banda transportadora de salida de palets terminados desde la celda de paletizado.

**Palet:** Conjunto de cajas de cartón estibadas sobre una tarima.

**Paletizado:** Estibado. Por lo general se utiliza este término al transportar cajas automáticamente para su acomodamiento sobre tarimas.

**Paro de seguridad:** Un tipo de interrupción de la operación que permite a un cese ordenado de movimiento para la salvaguardia de los propósitos de seguridad. Esta parada conserva la lógica del programa para fines de resolución de problemas y para facilitar el reinicio.

**Paro de emergencia:** El funcionamiento de un circuito que anula todos los mandos del robot, quita la potencia de accionamiento, hace que todas las partes móviles se paren, y desconecta la energía de otras funciones peligrosas presentes en el espacio protegido, pero no causa peligros adicionales.



**Peligro:** fuente potencial de daño.

**Potencia de accionamiento:** La fuente o fuentes de energía para los actuadores del robot.

**Producción diferida:** Cuando se deja de producir, por alguna circunstancia, en la empresa.

**Programación (Teach):** La programación realizada por:

- a) conducción manual del efecto final del robot, o
- b) conducción manual de un dispositivo de simulación mecánica, o
- c) uso una unidad de programación para mover el del robot a través de las acciones deseadas.

**Programa de control:** Es el conjunto inherente de instrucciones de control que definen las capacidades, acciones y respuestas del sistema robótico. Este programa normalmente no se destina a ser modificado por el usuario.

**Programa de la tarea:** Conjunto de instrucciones para el movimiento y las funciones auxiliares que definen la tarea específica prevista del sistema robótico.

**Programación de tareas:** El acto de proveer el programa de trabajo.

**Programación on-line:**

**Programación off-line:**

**Punto central de la herramienta (TCP):** El punto definido para una aplicación dada con respecto al sistema de coordenadas de la interfaz mecánica.

**Punto de operación:** La ubicación dentro del espacio protegido donde el trabajo es realizado con el material o la pieza de trabajo.

**Rack:** Estructura que funge como área de almacenamiento de palets.

**Recurso “cuello de botella”:** Es un recurso cuya capacidad es igual o inferior a la demanda ejercida sobre él.



**Recurso “no cuello de botella”:** Aquel recurso en el que la capacidad es superior a la demanda ejercida sobre él.

**Riesgo:** Combinación de la probabilidad y la gravedad de las posibles lesiones o daños a la salud en una situación peligrosa.

**Riesgo residual:** El riesgo que permanece después de que los dispositivos de protección se han aplicado.

**Robot industrial:** Dispositivo programable, multifuncional, manipulable, y manipulante para mover material, piezas, herramientas o aparatos especializados con movimientos programados variables para el desempeño de diversas tareas.

**Ruta de programa:** El camino trazado por el TCP durante la ejecución de un programa de tarea.

**Rutina:** Conjunto de declaraciones de datos, seguido de un conjunto de instrucciones utilizadas para implementar una tarea. Las rutinas pueden dividirse en tres categorías: procedimientos, funciones y rutinas TRAP.

**Guarda de Seguridad:** Una barrera de guarda, dispositivo o procedimiento de seguridad diseñado para la protección del personal.

**Salvaguardar:** El acto de ofrecer al personal de protección de un peligro.

**Sensor:** Elemento electrónico que mide, analiza y procesa algún cambio en una línea de producción.

**Señal de percatación:** Dispositivo que advierte a una persona de un peligro presente o que se aproxima a través de medios audibles o visibles.

**Shutdown:** Paro o apagado de algún equipo ó dispositivo.

**Singularidad:** Una condición causada por la alineación colonial de dos o más ejes del robot que resulta en el movimiento del robot impredecible y velocidades.



**Sistema robótico industrial:** El equipo que incluye el robot (hardware y software) que consta de la fuente de alimentación del manipulador y del sistema de control; el efecto final; y cualquier otro equipo y maquinaria asociada dentro del espacio protegido.

**Trap:** Conjunto de instrucciones que es disparado por una interrupción.

**Único punto de control:** La capacidad de operar el robot de tal manera que la iniciación de movimiento del robot a partir de una fuente de control sólo es posible a partir de esa fuente y no se puede remplazar por otra fuente.

**Usuario:** Una entidad que utiliza robots, y es responsable del personal relacionado con el funcionamiento del robot.

**Verificación del programa:** La ejecución de las instrucciones de ruta con el fin de confirmar la trayectoria del robot y el rendimiento del proceso. La verificación puede incluir la ruta del programa total o un segmento de la ruta. Las instrucciones pueden ser ejecutadas en una sola instrucción o secuencia de instrucciones continuas. Se utiliza en aplicaciones nuevas y en sintonía fina / edición de los ya existentes.

**Verificación de programa asistida:** El acto cuando una persona dentro del espacio protegido verifica las tareas programadas del robot a la velocidad programada.

**VirtualRobot:** Cualidad de RobotStudio® con la cual todo el programa de robot puede transferirse al sistema real sin necesidad de ninguna conversión.



## Referencias

- ABB® Robotics. *Manual del operador RobotStudio® 5.14*, 2011, v. a3, Rev. F
- Behna m Kam rani & Viktor Berbyuk , “*Optimal robot placement using response surface method*”, Springer-Verlag London Limited, 2008
- Calleja Bernal, Francisco Javier, *Contabilidad de costos*, México, Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2001, p. 4.
- D. Fang, S. Deng, H. Liao, and C. Coddet , “*The Effect of Robot Kinematics on the Coating Thickness Uniformity*”, Journal of Thermal Spray Technology, 2010, 19(4),
- González Maestro Diego, *Ergonomía y Psicología*., España, FC Editorial, 2008
- ISA, “ABB® trae a México su robot más pequeño”, *México InTech Automatización*, 2012, núm. 01, año 11, p. 6.
- J. Norberto Pires, “*Industrial Robots Programming*”, Springer, p. 103.
- Jara Bravo, Carlos Alberto. *Diseño de Herramientas para la Interacción Remota On-line de Robótica Industrial*. Escuela Politécnica Superior de Alicante, 2007.
- Li, Xiongzi, y Zhang, Biao, “*Toward General Industrial Robot Cell Calibration*”, International Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), 2011, núm. 5, pp. 137- 142.
- López Cajún, Carlos S. y Ceccarelli, Marco, *Mecanismos, Fundamentos Cinemáticos para el Diseño y Optimización de Maquinaria*, México, Editorial Trillas S.A. de C.V., 2008, p. 28.
- Monsó i Bustio, Julià, *Sistemas de identificación y control automáticos (I): El sistema y su entorno*, España, MARCOMBO, S.A., 1993, pp. 7-10.



- Muñoz Negrón, David F. *Administración de operaciones: Enfoque de administración de procesos de negocios*. CENGAGE Learning Editores. México, 2009. pp. 3.
- Oborne J. David, *Ergonomía en Acción*, México, Trillas, 1987, pp. 19-22
- Robótica Industrial, *Curso Programación Básica I*, 2012.